

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа новых производственных технологий
 Направление подготовки 15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение
 машиностроительных производств» –
 Отделение школы Машиностроения

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Исследование кинематики шестистепенного вибрационного стенда с параллельной кинематикой

УДК 620.178.5:531.1

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4НМ01	Черниченко Алексей Владимирович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Крауиныш П.Я.	д.т.н., профессор		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Рыжакина Т.Г.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Антоневич О.А.	к.б.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП 15.04.05 Материаловедение	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМ ИШНПТ	Мартюшев Н. В..	к.т.н.		

РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

по основной образовательной программе подготовки магистров по направлению 15.04.05
«Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств», профиль подготовки
«Конструирование технологического оборудования»

ИШНПТ ТПУ, Отделение Машиностроения, руководитель ООП Мартюшев Н. В

Код Резуль- тата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P1	Применять <i>глубокие естественнонаучные и математические знания</i> для создания нового технологического оборудования и машин.	Требования ФГОС ВО (ОПК 1, ПК-2, 3). Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P2	Применять <i>глубокие знания</i> в области современного машиностроительного производства для решения <i>междисциплинарных инженерных задач</i>	Требования ФГОС ВО (ПК-1-4). Критерий 5 АИОР (п.2.1, п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P3	Ставить и решать <i>инновационные задачи инженерного анализа</i> , связанные с созданием и обработкой новых изделий с использованием системного анализа и моделирования объектов машиностроительного производства	Требования ФГОС ВО (ПК-5-9). Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P4	<i>Разрабатывать</i> и использовать <i>новое</i> оборудование и инструменты для обработки материалов и изделий, конкурентоспособных на мировом рынке машиностроительного производства	Требования ФГОС ВО (ПК-15-17). Критерий 5 АИОР (п.2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P5	Проводить теоретические и модельные <i>исследования</i> в области машиностроительного производства	Требования ФГОС ВО (ОПК 1, ПК- 16.). Критерий 5 АИОР (п.1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P6	Внедрять и обслуживать современные высокотехнологические линии автоматизированного производства, обеспечивать их <i>высокую эффективность</i> , соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на машиностроительном производстве, выполнять требования по защите окружающей среды	Требования ФГОС ВО (ОК-2, ПК-9, ПК-11, 12,13,14). Критерий 5 АИОР (п.1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .
<i>Универсальные компетенции</i>		
P7	Использовать <i>глубокие знания</i> для ведения <i>инновационной инженерной деятельности</i> с учетом юридических	Требования ФГОС ВО (ОПК -4, ПК-2, ПК-3, ПК-13, ПК-14, ПК-18).

	аспектов защиты интеллектуальной собственности	Критерий 5 АИОР (п.2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P8	<i>Активно владеть иностранным языком</i> на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности	Требования ФГОС ВО (ОПК-3, ОПК-4, ПК-13, ПК-18). Критерий 5 АИОР (п.2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P9	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена и руководителя группы, состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.	Требования ФГОС ВО (ОПК-1, ПК-18). Критерий 5 АИОР (п. 2.13), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P10	Демонстрировать глубокие знания социальных, этических и культурных аспектов, компетентность в вопросах устойчивого развития.	Требования ФГОС ВО (ОК-2). Критерий 5 АИОР (п.2.14), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P11	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности	Требования ФГОС ВО (ОК-3). Критерий 5 АИОР (п.2.14), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа Инженерная школа новых производственных технологий
 Направление подготовки 15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение
 машиностроительных производств»
 Отделение школы Машиностроения

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ Мартюшев Н. В.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
4НМ01	Черниченко Алексею Владимировичу

Тема работы:

Исследование кинематики шестистепенного вибрационного стенда с параллельной кинематикой	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	Приказ № 38-25/с от 07.02.2022

Срок сдачи студентом выполненной работы:	25.05.2022
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Разработка конструктивной схемы шестистепенного вибрационного стенда с параллельной кинематикой и ее исследования Провести ее кинематическое и динамическое исследование с использованием виртуальных моделей.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Литературно-патентный обзор конструкций механизмов с параллельной кинематикой; описание конструктивной схемы устройства; необходимые расчеты по конструктивной схеме устройства, исследование кинематики движения исполнительного механизма и динамики

	конструкции с построением математических моделей.
Перечень графического материала	Конструктивная схема, графики кинематики движения, математические модели, графики переходного процесса.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Рыжакина Татьяна Гавриловна, доцент ОСГН, к.э.н.
«Социальная ответственность»	Антоневич Ольга Алексеевна, доцент, к.б.н.
"Иностранный язык"	Зяблова наталия Николаевна, доцент
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
«Литературный обзор»	
Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	08.02.2022

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Крауиньш Пётр Янович	д.т.н., профессор		08.02.2022

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4НМ01	Черниченко Алексей Владимирович		08.02.2022

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа новых производственных технологий
 Направление подготовки 15.04.05 Машиностроение
 Отделение школы «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»
 Период выполнения 2020/2021 – 2021/2022 учебные года

Форма представления работы:

магистерская диссертация

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	31.05.2022
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
11.02.2022	Обзор источников информации	20
11.02.2022	Формулирование целей и задач работы, формулирование предмета и объекта разработки	10
25.02.2022	Проведение инженерных расчетов, разработка конструкции объекта	20
20.03.2022	Разработка плана эксперимента и его проведение экспериментов, интерпретация результатов эксперимента	20
14.05.2022	Анализ полученных результатов и выводы о достижении цели в основном разделе ВКР	10
14.05.2022	Разработка разделов «Социальная ответственность», «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение», "Иностранный язык"	10
20.05.2022	Оформление ВКР и презентационных материалов	10

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Крауиньш П.Я.	Д.Т.Н., профессор		08.02.2022

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
4НМ01	Черниченко Алексей Владимирович

Школа	ИШНПТ	Отделение школы (НОЦ)	И. Н. Бутакова
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	15.04.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость ресурсов принять как среднюю по г.Томску, заработную плату принять по окладу ТПУ
2. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления во внебюджетные организации принять 30 %

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив разработки проекта с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Потенциальные потребители результатов исследования, Анализ конкурентных технических решений, SWOT-анализ, Определение возможных альтернатив проведения научных исследований
2. Планирование и формирование бюджета разработки	Структура работ в рамках научного исследования, Определение трудоемкости выполнения работ, Разработка графика проведения научного исследования, Расчет материальных затрат разработки, Основная заработная плата, Дополнительная заработная плата, Отчисления во внебюджетные фонды, Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта
3. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности разработки	...

Перечень графического материала(с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. График проведения и бюджет проекта
4. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности разработки

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	02.02.22
---	----------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Рыжакина Татьяна Гавриловна	к.э.н.		02.02.22

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4НМ01	Черниченко Алексей Владимирович		02.02.22

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа 4НМ01		ФИО Черниченко Алексей Владимирович	
Школа	ИШНПТ	Отделение (НОЦ)	И. Н. Бутакова
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	15.04.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств

Тема ВКР:

<i>Исследование кинематики шестистепенного вибрационного стенда с параллельной кинематикой</i>	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
Введение – Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения. – Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации	<i>Объект исследования:</i> шестистепенной вибрационный стенд с параллельной кинематикой <i>Область применения:</i> машиностроение, строительство, медицина. <i>Рабочая зона:</i> производственное помещение <i>Размеры помещения:</i> 7×7 м. <i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны:</i> приводы, вибраторы и ПК (для проектирования, расчёта и моделирования). <i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне:</i> контроль параметров и исправности приводов и механизмов вибрационного стенда, во время плановых обходов установки.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности <u>при эксплуатации</u> : – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	Трудовой кодекс Российской Федерации (с изменениями на 22 ноября 2021 года) (редакция, действующая с 1 марта 2022 года) ГОСТ 12.2.032-78 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования
2. Производственная безопасность <u>при эксплуатации</u> : – Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов – Расчет уровня опасного или вредного производственного фактора	Вредные факторы: 1. Аномальные микроклиматические параметры воздушной среды 2. Превышенный уровень шума 3. Превышенный уровень вибрации 4. Отсутствие или недостатки необходимого искусственного освещения Опасные факторы: 1. Повышенное напряжение в электрической цепи, замыкание которой, может произойти

	через тело человека
3. Экологическая безопасность <u>при эксплуатации</u>	<i>Воздействие на селитебную зону:</i> разрушение фундамента вибрационными воздействиями. <i>Воздействие на литосферу:</i> изменение почвы путём постоянных вибрационных воздействий <i>Воздействие на гидросферу:</i> загрязнение маслами в процессе утилизации масел <i>Воздействие на атмосферу:</i> загрязнение газами, частицами масла и их отходами
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях <u>при эксплуатации</u>	Возможные ЧС: взрыв, обрушение здания, авария на энергетических сетях, возникновение пожара Наиболее типичная ЧС: возникновение пожара
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Антоневич Ольга Алексеевна	к.б.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4НМ01	Черниченко Алексей Владимирович		

Реферат.

Выпускная квалификационная работа 169 страницы., 108 рисунков., 51 таблицу, 53 источника, 1 приложение.

Ключевые слова: шестистепенной вибрационный стенд. вибрационный стенд, шестiosевой вибрационный стенд, шестикомпонентный вибрационный стенд, параллельная кинематика. кинематика движения

Объектом исследования является шестистепенной вибрационный стенд

Цель работы – разработка и исследование движения шестистепенного вибрационного стенда с параллельной кинематикой,

В процессе исследования проводились поиск необходимых конструктивных решений для вибрационного стенда. Разработка рабочей модели устройства в программном продукте SolidWorks. Проведение исследований при перемещении толкателей и получение смещения точки верхнего основания относительно точки расположенной на нижнем основании. Запись в таблицу координат точек по основным осям от различных смещений толкателей вибрационного стенда. Поиск зависимостей по полученным точкам и составление уравнений.

В результате исследования получены графики движения толкателей, получены таблицы перемещения толкателей, найдены зависимости движения и составлены уравнения на основе движения толкателей

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: Вибрационный стенд с движением по шести осям: X, Y, Z, A, B. С использованием параллельной кинематики

Степень внедрения: данное устройство возможно внедрять в современные предприятия

Область применения: авиастроение. машиностроение, разработка спутников

Экономическая эффективность/значимость работы определена путем анализа и оценки научно-технического уровня исследования.

Report.

Final qualifying work 169 pages., 108 figures., 51 tables, 53 sources, 1 appendix.

Keywords: Six-stage vibration stand. vibration stand, six-axis vibration stand, six-component vibration stand, parallel kinematics. motion kinematics

The object of the study is: a six-stage vibration stand

The purpose of the work is to develop and study the movement of a six-stage vibration stand with parallel kinematics

In the course of the research, the search for the necessary design solutions for the vibration stand was carried out. Development of a working model of the device in the SolidWorks software product. Conducting research when moving pushers and obtaining the displacement of the point of the upper base relative to the point located on the lower base. Entry into the table of coordinates of points along the main axes from various displacements of the pushers of the vibration stand. The search for dependencies on the obtained points and the compilation of equations.

As a result of the study, graphs of the movement of pushers were obtained, tables of the movement of pushers were obtained, motion dependencies were found and equations based on the movement of pushers were compiled

Main design, technological, technical and operational characteristics: vibration stand with movement along six axes: X, Y, Z, A, B. Using parallel kinematics

Degree of implementation: this device can be implemented in modern enterprises

Scope of application: aircraft industry. mechanical engineering, satellite development

The economic efficiency/significance of the work is determined by analyzing and evaluating the scientific and technical level of the study.

Оглавление

Введение.....	14
1. Литературный обзор	17
2. Объект и методы исследования	51
3. Расчёты и аналитика	54
3.1 Исследовательская часть.....	54
3.1.1 Описание устройства и составных элементов	56
3.2 Исследование кинематики	66
3.2.1 Описание устройства алгебраически с помощью геометрии.....	66
3.3 Получение уравнений движения	85
3.3.1. Схема проекций.....	87
3.3.2. Взаимосвязь ускорения, скорости и перемещения при синусоидальной вибрации	95
3.3.3. Три частотных интервала.....	96
3.4 Выводы.....	99
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение .	103
4.1. Предпроектный анализ	103
4.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования	103
4.1.2. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	104
4.1.3 SWOT - анализ	105
4.1.4. Оценка готовности проекта к коммерциализации	107
4.1.5. Методы коммерциализации результатов научно- технического исследования	109
4.2 Инициация проекта	110
4.3 Планирование управления научно-техническим проектом	112
4.3.1 Иерархическая структура работ проекта.....	112
4.3.1. План проект	113
4.4. Бюджет научного исследования.....	116
4.4.1 Организационная структура проекта.....	123
4.4.2. План управления коммуникациями проекта.....	123
4.4.3. Реестр рисков проекта	123

4.5. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности	124
4.5.1. Оценка абсолютной эффективности исследования	124
4.5.2. Оценка сравнительной эффективности исследования.....	129
5. Социальная ответственность	134
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	135
5.2 Производственная безопасность, анализ вредных и опасных факторов .	137
5.3. Экологическая безопасность.....	146
Заключение	152
Список публикаций студента.....	153
Список использованных источников	153
Приложение А	162

Введение.

В последнее время всё больше требуется механизмов, требующих больших скоростей движения от рабочих органов, а также молниеносного быстродействия. Благодаря чему всё больше распространяются механизмы с параллельной кинематикой [10, 11]. В зависимости от задач, которые необходимо выполнить устройству, подбираются различные количество степеней свободы. В данной работе рассматривается вибрационное устройство с 5 степенями свободы движение происходит по основным осям, кроме оси C . Координаты приводов являются зависимыми, когда происходит движение по одной из декартовых координат, поэтому положение точки на рабочем органе зависит от всех управляемых координат приводов – это является основной особенностью механизмов параллельной кинематики.

Актуальность работы.

Целью данной работы является разработка и исследование движения шестистепенного вибрационного стенда с параллельной кинематикой. Решаются задачи кинематики, динамики и вибрации, выбираются условия для равновесия, устойчивости положения и масштабы рабочей зоны. Широкое использование в машиностроении подобных механизмов приводит к постановке вышеизложенных задач кинематики, динамики, устойчивости. Данный стенд возможно использовать при тестировании различных устройств на вибрационную устойчивость к примеру: различные конструкции самолёта, спутники. Детали, которые транспортируют изначально можно исследовать на данном вибрационном стенде, воссоздав дорожные вибрации для понимания устойчивости механизмов различных устройств к вибрации. Это позволит сэкономить значительную часть вложений при неуспешном исследовании устройств на вибрационную устойчивость, а также поможет сохранить жизни людей при использовании механизмов подверженных вибрации. Решение этих задач, основанных на методах аналитической механики, имеют практическую значимость, поэтому настоящая работа является актуальной.

Цель работы.

Разработка шестистепенного вибрационного стенда и исследование кинематики шестистепенного вибрационного стенда с параллельной кинематикой.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить задачи:

- 1) поиск необходимых конструктивных решений для вибрационного стенда
- 2) разработка рабочей модели устройства в программном продукте SolidWorks.
- 3) проведение исследований при перемещении толкателей и получение смещения точки верхнего основания относительно точки расположенной на нижнем основании.
- 4) запись в таблицу координат точек по основным осям от различных смещений толкателей вибрационного стенда.
- 5) поиск зависимостей по полученным точкам и составление уравнений.

Достоверность полученных результатов.

Логичное решение вышеописанных задач от более простых к ложным обеспечит правдивость результатов, полученных при исследовании, путём применения методов аналитической механики, теории дифференциальных уравнений и математического анализа. Значения, полученные при исследовании с программной моделью шестистепенного вибрационного стенда, согласуются с результатами авторов, проводивших подобные исследования, что также обеспечит верность полученных результатов.

1 Литературный обзор

1. Литературный обзор

Основные типы вибростендов

Электродинамические вибростенды - (по сути это большие электромагниты или динамики на которые подаётся сигнал, заставляющие двигаться подвижный стол вибростенда на которое крепится изделие) вибрации осуществляется за счёт электромагнитного эффекта (взаимодействия постоянного магнитного поля, а также, создаваемого в подвижной катушке, переменного тока). Через платформу (стол) от катушки испытуемому образцу посылается движение.

Преимущества: если параметры вибрации должны изменяться гораздо гибко, широкий частотный диапазон от единиц Гц до нескольких килогерц, характеризуются гибким управлением, подачей разных сигналов (синусоидальные, случайные, ударные, или более сложные).

Недостатки: относительно небольшой ход рабочего стола (порядка 50 мм), небольшой размер рабочего стола. Если необходимо испытывать большие и не сильно тяжелые изделия, необходимо ставить специальные устройства, которые добавляют лишнюю балластную массу.



Рисунок 1.1.1 – Внешний вид электродинамического вибростенда

Гидравлический вибростенд – при помощи масляного цилиндра подаётся масло под высоким давлением, при переключении клапанов создаётся перемещение стола стенда вверх и вниз.

Преимущества: если параметры вибрации должны изменяться гораздо гибко, имеют более большие размеры рабочего стола, большой ход по амплитуде рабочего стола (до метра и более), возможность работы на низких частотах (вплоть до долей герц).

Недостаток: ограниченный частотный диапазон верхней области (обычно работают в диапазоне до 100 Гц [отдельные модели до 200 Гц или 300 Гц]).



Рисунок 1.1.2 – внешний вид гидравлического вибростенда

Механический вибростенд – где при помощи моторов (одного, двух, и тд.) вращаются два дисбаланса, приводящая к вибрации подвижности стола.

Преимущества: самый простой, имеет относительно низкое энергопотребление (сравнимо с электропотреблением только потребления катушки подмагничивания), на достаточно большом рабочем столе можно получить большой уровень вибраций.

Недостаток: низкая гибкость управления, можно получать синусоидальные вибрации, маленький частотный диапазон.

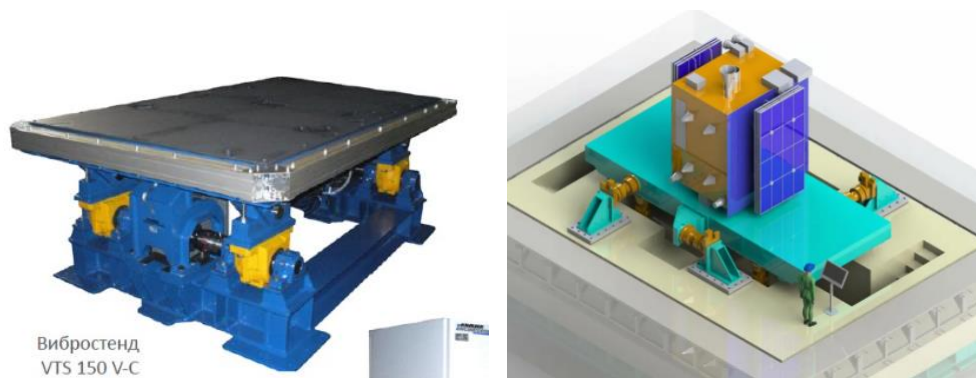


Рисунок 1.1.3 – Внешний вид вибростенда механического

Характерные свойства механизмов с вибрацией:

- максимальная движущая сила;
- предельная нагрузка в статике;
- наибольшая и наименьшая частоты;
- ограничения движения, ускорения и скорости;
- коэффициент гармонических колебаний;
- коэффициент поперечных компонентов;
- частотные резонансы вибрационных механизмов



Рисунок 1.1.4 – Внешний влияющий фактор

1.1 Литературно-патентный анализ механизмов с параллельной кинематикой.

Устройства с параллельной кинематикой обобщенно возможно поделить: по виду управления, по типу привода, по количеству степеней свободы выходного звена и по области применения.

Степень свободы колебательной системы — это минимальное количество координат, необходимое для однозначного указания положения каждой массы в системе. Единственная масса, прикрепленная к пружине при вибрации только вдоль оси, считается системой с одной степенью свободы, поскольку должна быть указана только одна координата X как функция времени. Режим вибрации показывает, как будет выглядеть система в динамическом состоянии.

В любой колебательной системе число степеней свободы будет равно числу собственных частот. Когда системе придается заданное начальное смещение, система будет вибрировать на одной из своих собственных частот. Форма системы при вибрации на одной из собственных частот является формой моды.

Одна степень свободы

Данные вибрационные устройства содержат в себе шток 2 и вибратор 3, пружины 4, испытуемый объект и платформа 1 находятся на подвижной части (рис. 1.1.5).

Вибратор состоит из двух параллельных валов, которые вращаются в разные стороны. Центробежные силы инерции появляются при вращении двух стальных секторов, такие сектора находятся на каждом конце вала. Данная конструкция имеет наибольшее распространение и применяется при испытаниях. Работает данный стенд в частотном диапазоне от 1-20 до 60-100 Гц, работа ведётся за счёт вертикальной прямолинейной синусоидальной вибрации.

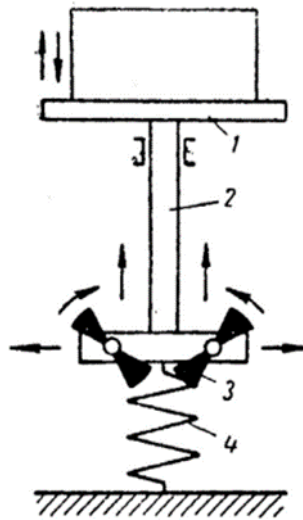


Рисунок 1.1.5 – Вибрационный стенд с центробежным приводом

На рис. 1.1.6 показана конструктивная схема вибрационного стенда с эксцентриковым приводом. Наиболее приемлемая частота работы находится в диапазоне от 50 до 60 Гц. Преимуществами данной схемы стенда являются: постоянство амплитуды смещения посредством вибрации при любой частоте, а также очень низкие частоты.

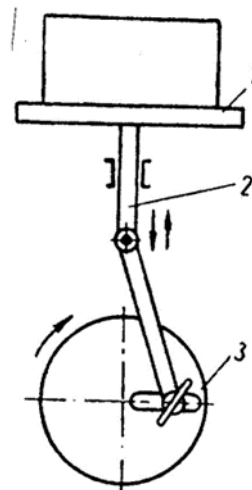


Рисунок 1.1.6 – Вибрационный стенд на основе эксцентрикового привода:
1 – рабочий стол с тестируемым объектом; 2 – шток; 3 – переменный эксцентриситет с эксцентриком.

Для примера можно рассмотреть усложнённую схему на рис. 1.1.7. На данном рисунке присутствует реактивная масса и упругие элементы. Чтобы уравнивать вибрационные силы (силы инерции), которые действуют на основание

в схеме присутствует реактивная масса 2. Пружины 3 - основные. От эксцентрика 6 осуществляется привод к платформе 1 через пружину 4; подвесными являются пружины 5. При помощи регулирования длины пружин можно изменять величину амплитуды колебаний. Чистой вертикальной прямолинейной вибрации можно добиться в стенде с такой схемой исполнения. Работающая, по синусоидальному закону в диапазоне вибрационных частот от 20 до 85 Гц

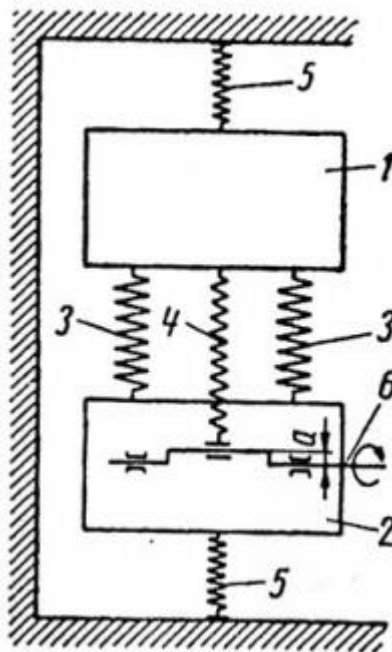


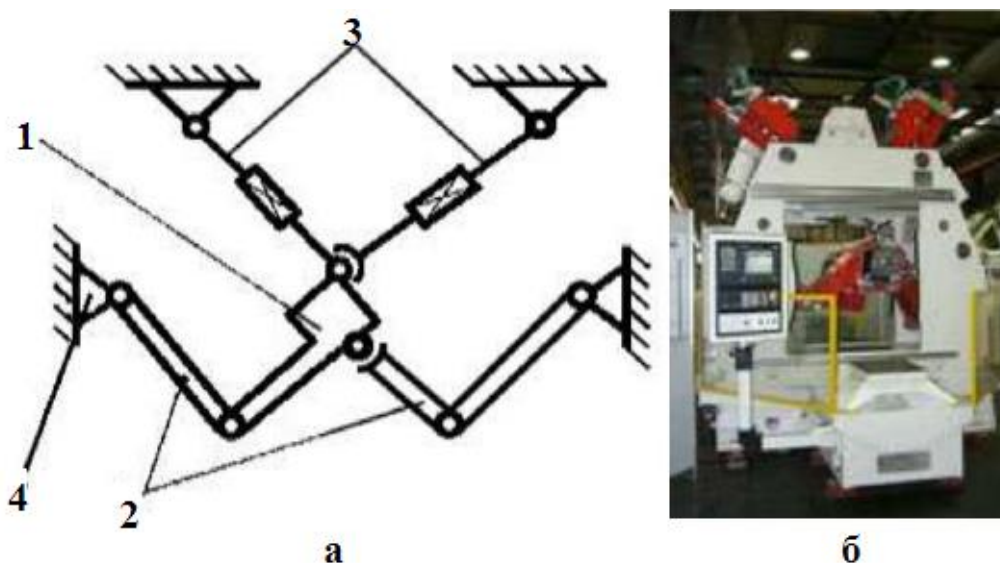
Рисунок 1.1.7 – Принципиальная схема стенда с реактивной массой, упругими элементами и эксцентриковым приводом.

Устройства с двумя степенями свободы с параллельной кинематикой.

Созданы на базе механизмов с параллельной структурой, имеют наиболее простой механизм. Представляют из себя две параллельные-кинематические цепи с механизмами параллельной структуры. В них используются два привода управления, находящихся в цепях кинематики в каждой по одному. Такие приводы перемещают выходные звена по двум точкам в пространстве.

Станок Dyna - M (Dynamil - Project) (рисунок 1.1.8, а) схема данного механизма выполнена при помощи двух дополнительных кинематических цепей и переменных длин штанг, такие цепи не содержат приводов.

По конструкции такой многоцелевой станок имеет выходной элемент 1, который соединенный динамическими цепями в виде стержня переменной длины с основанием и с приводным устройством 3 и динамическими цепями без приводного устройства 2 (рис. 1.1.8, б). Кинематическая цепь 2 необходима для увеличения жесткости в направлении, перпендикулярном плоскости цепи, для увеличения жесткости конструкции и для регулирования движения выходного соединения. Параметр рабочей зоны машины составляет $630 \times 630 \times 500 \text{ м}^3$, наибольшая скорость машины в рабочем состоянии составляет 89 метров в минуту, ускорение равняется 2 g.



а – кинематическая схема; б- общий вид станка

Рис. 1.1.8 - Многоцелевой станок Дуна – М.

Двухосевой вибрационный стенд

Также кроме устройств, имеющих движение по двум осям. В области вибрационных устройств также имеются механизмы, работающие в двух направлениях. Примером может послужить вибростенд Японской фирмы Shinken серии G-8 (рис. 1.1.9). Данное устройство способно двигаться в координатных направлениях X (вправо и влево), а также Y (назад и вперед). Данный вибрационный стенд идеально подходит для испытания крупногабаритных и тяжёлых объектов. В сравнении с одностепенными механизмами. Двухосевые способны создать условия вибрации наиболее

приближенные к реальным. Это более точно позволит произвести испытания объектов [1].



Рис. 1.1.9 – Двухкоординатный вибрационный стенд Shinken серии G-8
Трехступенной механизм с параллельной кинематикой.

Данное устройство представляет собой выходное звено перемещается по трем независимым координатам благодаря параллельно-кинематическим механизмам.

Дельта – механизм.

Данный манипулятор содержит три степени кинематически-поступательной свободы. Такой манипулятор с 3 степенями поступательной свободы выполняет функции подъёма, транспортировки, и резки. Наиболее распространённым роботом среди данных механизмов является Delta, созданный Клавелем [12] и Федеральной политехнической школы Лозанны.

В виде подвесной конструкции вверху, прикреплены три манипулятора к основанию, при помощи карданного редуктора данные манипуляторы приводятся в движение. Платформа в виде треугольника соединена под сходящимся манипулятором, работа производится по трём осям, а дополнительное вращение свободы выполняется при помощи центрального рычага.

Такие роботы продаются различными компаниями. Одной из таких компаний является Robotox, а также компания Fanuc выпускает дельта манипуляторы модели M – 3 iA 6A (рис. 1.1.10). Их особенностью является высокая скорость и жесткость, маленький вес элементов робота, хорошие динамические характеристики. Высокая скорость перемещения, несколько циклов в секунду. Конструкция робота и используемые в сборке детали позволяют добиться высокой точности работы.

К основанию базовой конструкции прикреплен привод, при производстве захвата используются лёгкие композитные материалы. Робот такой конструкции может выполнять до 9000 захватов в час или 150 захватов в минуту. Чаще всего роботы выполняют задачи по упаковке, сортировке, перемещению, отбраковке, сборке, нанесению начинки, и брендированию продукции. Также данный робот может комплектоваться различными дополнительными навесным оборудованием для ваших задач, а также интегрироваться с системой машинного зрения.



а



б



в

а – схема дельта – механизма; б - robotox D800; в - дельта-робот FANUC М-3 iA 6A

Рисунок 1.1.10 - Промышленная реализация дельта роботов.

Микроманипулятор с тремя степенями свободы.

Робот манипулятор представлен на рисунке 1.1.11, данный манипулятор имеет три степени свободы. Данный микроманипулятор был создан Кантом и изучен разными изобретателями: Уолдроном [18], Ли [19], Пэриэттом [20] (как микроробот Орион), Госселином [21]. Поворотным шарниром с основанием соединена опора, для линейного изменения длины опоры с помощью подвижной платформы используется шаровой шарнир. Данные механизмы имеют вертикальной оси, две вращательные и поступательные степени свободы. Для автобалансировки стыковки космического аппарата был использован такой робот Цзаном [22], а Хатиб и Уолдрон использовали его как микро-робот (так называемый «Артисан»).



Рисунок 1.1.11 - Использование трёх подвижного манипулятора предложенный Хантом и Ли в качестве детского аттракциона.

Трипод.

The Tripod.

На рис. 1.1.12 показан tripod. Он представляет собой механизм с тремя осями, его задача линейное перемещение по трём координатам исполнительного звена. «Более простой» моделью гексапода является трипод. Но для того чтобы создать достаточную угловую жёсткость трёх стержней мало, по этой причине используется четвёртый стержень, который вставляется в середину основания, четвёртый стержень уменьшает напряжение на изгиб.

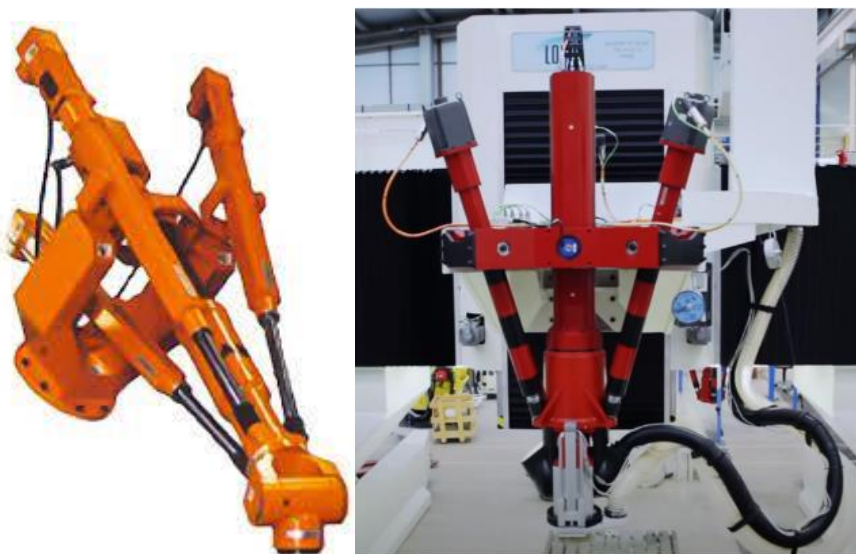


Рисунок 1.1.12 - Промышленные роботы линейки Tricept

Трёхкоординатные вибрационные стенды

Помимо устройств способных двигаться в трёх координатах. В области вибрационных стендов в этом вопросе также преуспели. Вибрационный стенд фирмы Shinken серии G-6 (рис. 1.1.13) способны двигаться в трёх направлениях. А именно по оси X, Y (горизонтально, вертикально) и Z (по высоте). В данной системе находятся четыре комплекта системы трёхосевых вибрационных генераторов. Данная система позволяет моделировать условия неровности дорожного покрытия. Для создания комфортной езды или транспортировки объектов. Также возможно исследования кузовов. В данной системе благодаря высокой точности сигнала возможно добиться более высокой точности в сравнении с гидравлическими шейкерами.



Рис. 1.1.13 – Трёхосевой вибрационный стенд Shinken серии G-6

Четырехстепенные механизмы с параллельной кинематикой.

Расчетная схема легкового автомобиля представлена на рисунке 1.1.14. Данная схема демонстрирует свойства движения сил колебательных механических систем с четырьмя степенями свободой и имеет рычажные связи, которые формируют пространственные системы соотношений координат движения точки системы. Такие расчетные схемы реализуют связь движений парциальных систем, можно изучить специфичные режимы, различные связи, включая инерцию, диссипацию, упругость и, включая, рычажные, возникающих из-за наличия колеблющегося твердого тела, обладающего массой M и моментом инерции J .

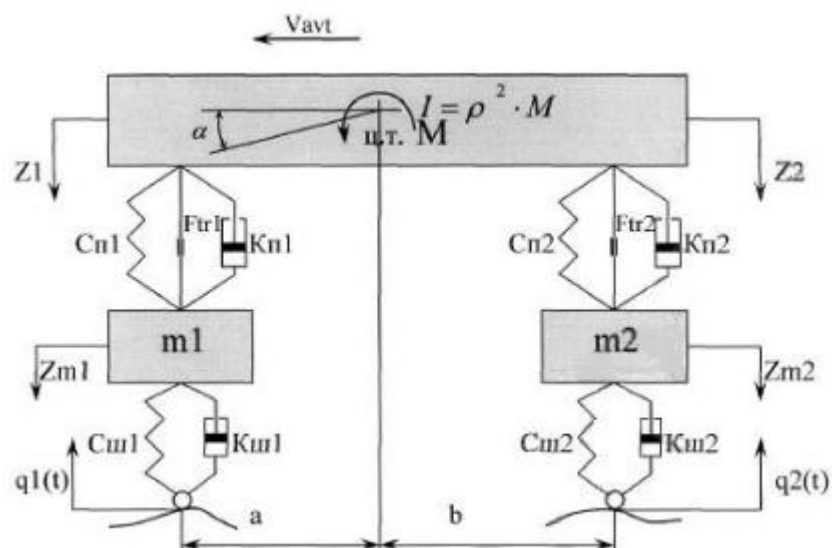


Рисунок 1.1.14 - Расчетная схема колебаний с четырьмя степенями свободы: m_1 , m_2 - массы; $C_{п1}$, $C_{п2}$, $C_{ш1}$, $C_{ш2}$ – демпфирование в передней и задней подвесок шин; $K_{п1}$, $K_{п2}$, $k_{ш1}$, $k_{ш2}$ – демпфирование в передней и задней подвесках, в шинах; $F_{т1}$, $F_{т2}$ – силы сухого трения; Z_1 , Z_2 , $Z_{м1}$, $Z_{м2}$ – координаты перемещения центров масс; α – угол поворота кузова относительно поперечной оси; $q_1(t)$ и $q_2(t)$ – возмущение от дороги; $V_{авт}$ – скорость автомобиля [34].

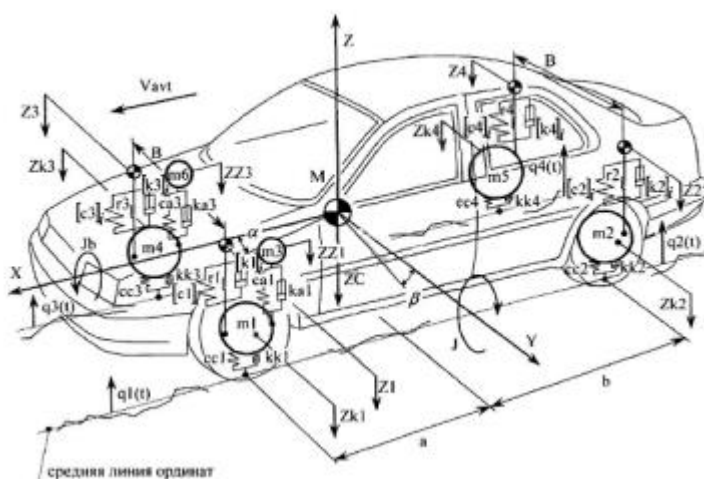


Схема 1.1.15 – Пространственная расчетная схема колебаний

Устройство с четырьмя степенями [24] перемещения было изучено давным-давно. В 1975 году Куверманс [23] представил устройство моделирующее полёт, который использует ограничения движения (рис. 1.1.16).

Его работа выполнялась по трём степеням свободы вращения, а также одну поступательную по оси Z

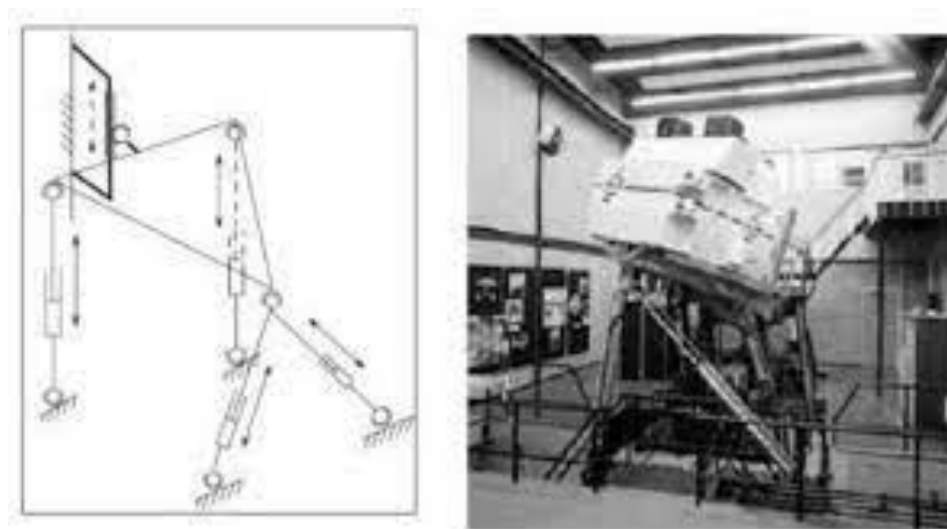
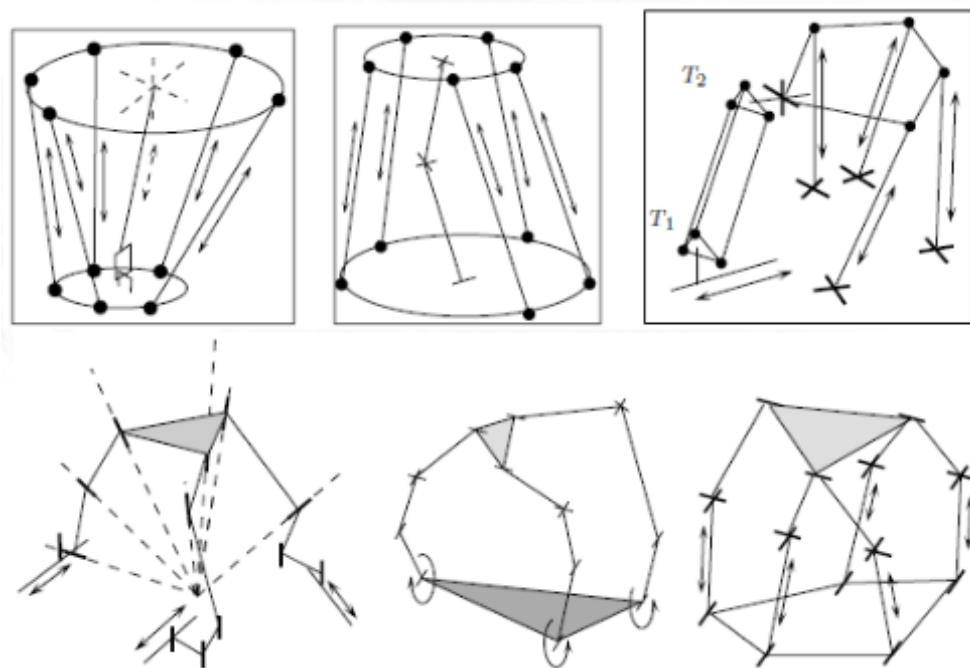


Рисунок 1.1.16 - Механизм Кувермана с четырьмя степенями свободы и пример его использования в качестве симулятора полета в NLR.

Для механизма с четырьмя степенями свободы возможно использовать менее четырёх стержней или путем необходимого позиционирования привода, либо путем соответствующего позиционирования шарнирной оси [13].

Пятистепенные механизмы с параллельной кинематикой.

Если вы разрабатываете устройство с пятью степенями перемещения, вам придётся полагаться на ограничения движений или специфичные конструкции. Такие роботы представляют интерес в строительстве станков для обработки по пяти осям. Фактически, в этом процессе вращение шпинделя является первой степенью свободы, поэтому нет необходимости в шести степенях свободы. Прототип машины, на базе параллельного пятиступенчатого механизма – разработанное устройство «Триомакс» (рис. 1.1.17). При помощи карданных шарниров, три кинематических цепи похожими на стойки регулируемой длины, выходное звено соединено с основанием. По два привода содержится в каждой цепи, один из них меняет длину стержня, второй изменяет угловое направление шарнира по окружности оси стержня. Таким образом, работа штанг основана на сжатии, растяжении и кручении [14].



а



б

а - проекты пятистепенных механизмов; б - станок с пятью степенями перемещения

Рисунок 1.1.17 – Пятистепенные механизмы.

Шестистепенные параллельные кинематические механизмы.

Механизмы с двумя степенями свободы, тремя степенями свободы и т.д. ранее рассмотренные механизмы, имеют меньше преимуществ в сравнении с шестистепенными механизмами [25, 26, 27, 28]. Кроме того, шестистепенной механизм содержит в себе все значимые качества параллельных кинематических

механизмов с параллельной структурой. Это устройство включает в себе такие преимущества:

- высокая жесткость,
- проста конструкции
- позволяет выравнивать выходное соединение по шести степеням свободы.

Ротопод.

Ещё одним примером шестистепенного устройства может послужить Ротопод (рис. 1.1.18). На рисунке ниже показан приводной двигатель находится на поворотном шарнире основания, а длина стержней равняется константе. Благодаря этому по части снижается масса механизма и увеличивается скорость движения исполнительного блока, чем у механизма гексапод.



Рисунок 1.1.18 - Ротопод серии R.

Манипулятор – трипод с шестью степенями подвижности.

Устройство включает в себя рабочий элемент и три одинаковые параллельные кинематические приводные цепи его движения и ориентации. Из двух универсальных шарниров (УШ) состоит каждая из цепей, каждая из

которых соединена промежуточным валом. Наружные оси крестовин УШ соединены с выходными валами блоков приводов на входах кинематических цепей. С рабочими органами цилиндрическими шарнирами связаны наружные оси крестовин УШ на выходах кинематических цепей. Параллельно расположена внутренняя ось крестовин УШ. Два шарнира с осями установлены на наружных осях крестовин двух УШ каждой кинематической цепи на равных расстояниях от центров УШ. Данные шарниры параллельны внутренним осям крестовин универсальных шарниров и соединены жестким звеном. Расстояние между центром крестовин УШ является длиной звена. С наружными осями крестовин УШ на выходах кинематических цепей соединены ведущие валы дополнительно установленного механизма ориентации рабочего органа. С выходными валами блоков приводов связаны дополнительно ведущие валы механизма ориентации рычажными механизмами, обеспечивающими параллельность осей пар валов о которых шла речь. Механизм выравнивания рабочего звена выполнен с параллельной кинематикой в виде сферического рычажного механизма.



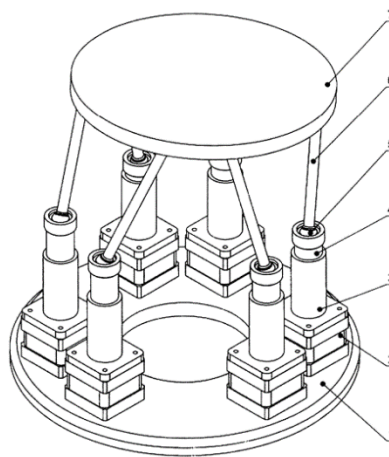
Рисунок 1.1.19 – Пример использования трипода с шестью степенями подвижности в промышленности.

Шестистепенные вибрационные стенды

Уже давно созданы устройства вибрации на основе шести степеней подвижности [29]. При этом исследования всё ещё продолжаются [30,31,32]; также проводятся исследования активных промышленных виброгасителей.

Также существует система VISS (Vibration, Isolation, Suppression and Steering System). Необходима разделения корпуса спутника от измерительных систем на борту (лазерных, оптических и т.д.). Успешно применяют эту систему на спутниках [33].

В области шестистепенных вибрационных стенов также существует патенты в этой области. Примером может послужить патент шестисевого вибрационного стенов рис. 1.1.20. Разработанного в Томском политехническом университете. Далее в своей дипломной диссертации работа будет осуществлена с упором на данный вибрационный стенов. Такой механизм позволяет перемещать объекты по шести осям X, Y, Z, а также по из производным A (наклон стенов относительно X), B (наклон стенов относительно оси Y), C (поворот стенов относительно оси Z). Это позволит воссоздать наиболее приближенные условия как при реальной эксплуатации объекта, при моделировании таких условий на данном вибрационном стенов. Воссоздать можно практически все вибрационные воздействия при эксплуатации объекта. Вопрос лишь в максимальных углах поворота [3].



1 – несущая платформа; 2 – вибратор; 3 – обойма; 4 – толкатель; 5 – шаровая опора; 6- соединительная штанга; 7 – рабочий стол

Рис. 1.1.20 – Патент шестистепенного вибрационного стенов

Ещё одним примером шестистепенного вибрационного стенда может послужить устройство фирмы PI рис. 1.1.21 [4]. Данное устройство обеспечивает быструю динамику и установку. Данное устройство было разработано для быстрого моделирования движения по шести осям. Для имитации дрожания и вибрации. Использовалось для тестирования камер смартфона Google Pixel 2 для тестирования алгоритмов активного подавления вибрации и стабилизации изображения в смартфоне рис. 1.1.22 [5].



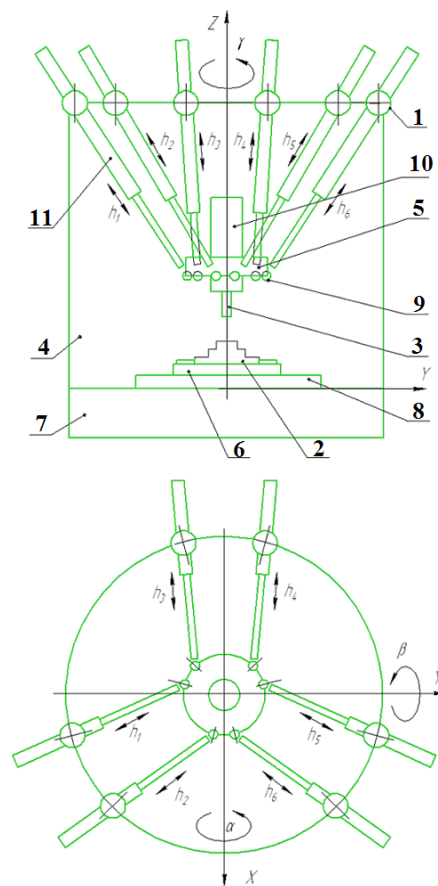
Рис. 1.1.21 - Шестистепенной вибрационный стенд фирмы PI



Рис. 1.1.22 - Проверка алгоритмов стабилизации изображения при помощи вибрационного стенда

Гексапод.

Проект, показанный на рисунке 1.1.23 является наиболее распространенным. Данный вид устройства в основном имеет название платформа Гауффа или гексаподом. Нехарод имеет возможность перемещения по шести степеням направлений для выходного элемента (платформы) и представляет собой устройство с наибольшей достоверностью расположения. Нижние и верхние платформы гексаподов соединены при помощи шести стержней, каждый такой стержень реализует поступательную пару. Стержень соединен с нижней и верхней платформой при помощи шарового шарнира, имеет ограничения при повороте относительно продольной оси. Проект гексапода показан на рисунке 1.1.23.



1 – шарнир основания; 2 – заготовка; 3 – инструмент; 4 – основание; 5 – платформа; 6 – приспособление; 7 – станина; 8 – стол; 9 – шарнир, платформы; 10 – шпиндельный узел; 11 – штанга

Рисунок 1.1.23. Принципиальная схема станка-гексапода

Первая разработка такого вида параллельно кинематического механизма была разработана Маккаллионом из Университета Кентербери в качестве роботизированной монтажной станции. В данном устройстве мотор находится на фиксированном основании, и он устанавливал винт шарика мотора через всеобщее соединение. Шариковые винты теперь могут регулировать высоту опоры, соединяющей нижнюю платформу и рабочую платформу (рис. 1.1.24).

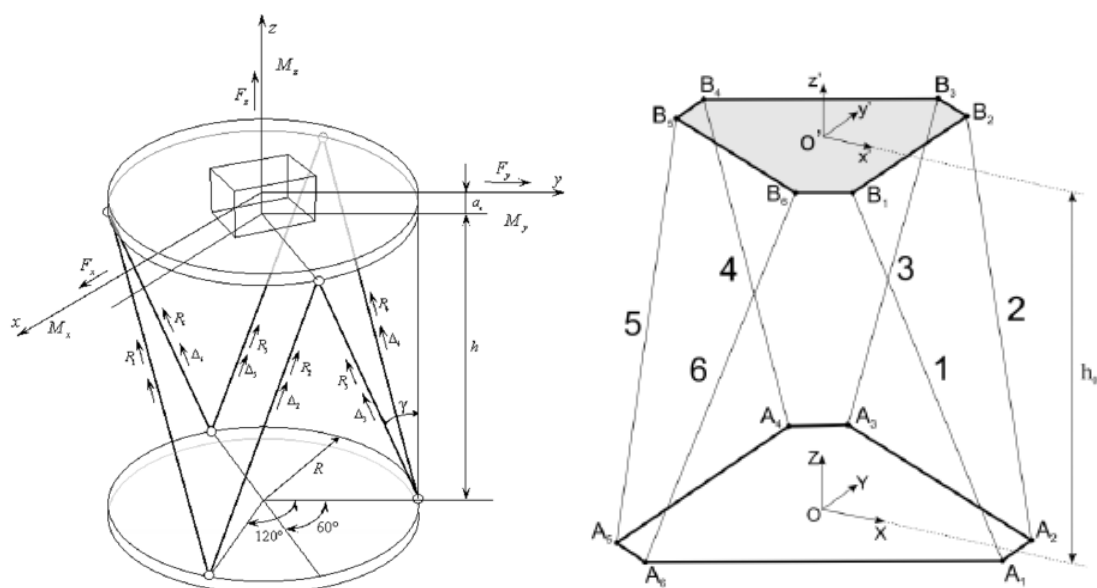


Рисунок 1.1.24 - Обобщенные схемы гексаподов

На рисунке 1.1.25 показана реализация гексапода на практике — координатно-измерительные машины «Космо Центр ПМ – шестьсот» (рисунок 1.1.25 слева) и «ХегсаМ» представлены на рисунке 1.1.25 производства японских корпораций «Кавасаки Хэви Индастриас» и «Фанук».



Рисунок 1.1.25 - Модели гексаподов «Космо Центр ПМ – шестьсот» и «ХегсаМ»

Пассивные пары на нижней и верхней платформе расположены различно. На рисунке 1.1.26 представлены прототипы гексаподов, данные гексаподы различаются по креплению стержней: 6х6, 6х3, 3х3. По расчётам первая структура наиболее жёсткая. Но как показывает практика такое крепление стержней не всегда удобно для доступа к рабочей зоне. Ниже более подробно представлены достоинства и недостатки различных видов компоновки гексаподов.

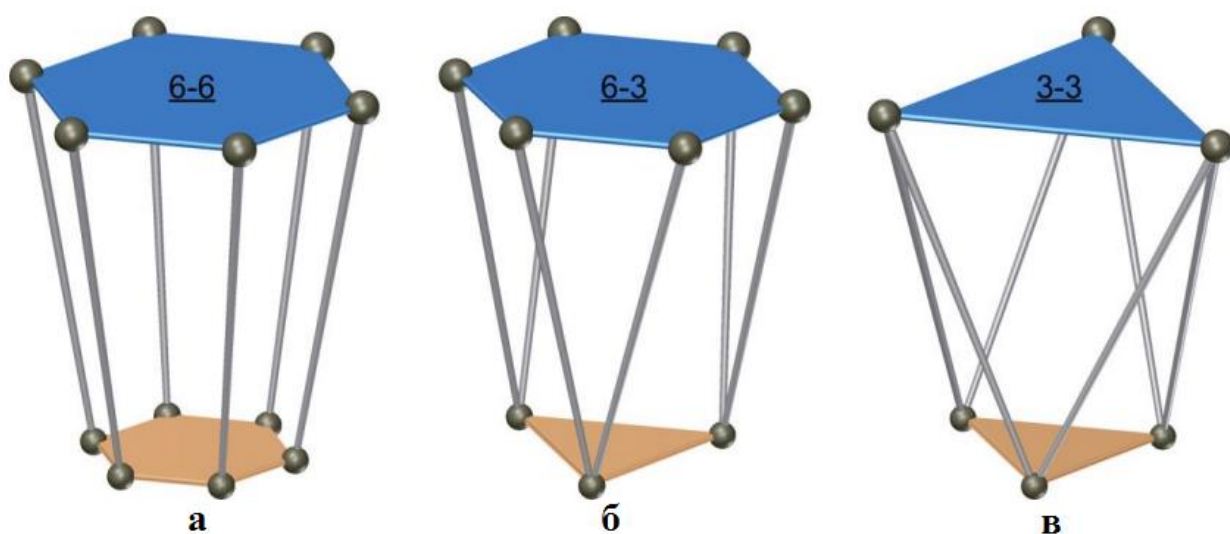


Рисунок 1.1.26 - Различные возможности компоновки гексапода

Гексапод в симуляции движения видеоигр

Данные платформы нашли применение в области симулятора движения платформы во время видеоигр рис. 1.1.27. При помощи программного обеспечения создается сигнал, который посылается на гексапод и он в свою очередь принимает необходимое положение, а также воссоздает имитацию дрожания. В дальнейшем эта платформа будет увеличена. У людей, сидящих в такой платформе во время игры будет создаваться эффект полного погружения в игру [6].



Рис. 1.1.27 – Пример симуляции гексапода для игры

Применение гексаподов в телескопах

В телескопах также активно используются механизмы с шестью степенями свободы рис. 1.1.28. Большой вклад в данные внесла ALMA (Atacama Large Millimeter/Submillimeter Array), которая насчитывает 66 радиотелескопов, расположенных в чилийской пустыне, Атакама. Вспомогательные отражатели ALMA оснащены специальными системами выравнивания гексаподов с 6 степенями свободы, разработанными PI. Еще один телескоп, оснащенный системой выравнивания PI, — Atacama Pathfinder Experiment (APEX).

Экстремальные погодные условия в этом районе (перепад температур до 50 °C, пыль, дождь, снег, сильный ветер и низкое атмосферное давление из-за высоты более 5000 м) были решены PI с помощью индивидуальных конструкций

для механические и электронные компоненты систем гексаподов. Эти гексаподы позволяют точно совместить вспомогательные отражатели с большими основными отражателями с помощью программного обеспечения и помогают улучшить чувствительность и производительность радиотелескопов [7].



Рис. 1.1.28 - Инженеры устанавливают систему выравнивания PI hexapod 6-DOF в дополнительный рефлектор телескопа ALMA.

Гексаподы обеспечивают точное 6-осевое позиционирование кушеток для лучевой терапии

В устройствах на базе LINAC пациент точно позиционируется по отношению к записанным 3D-данным и источнику излучения путем наложения ранее снятых изображений рис 1.1.29. Операционный стол (кушетка пациента) с несколькими степенями свободы (DOF) играет ключевую роль в точности всего процесса. Прежде чем можно будет начать лучевую терапию, кушетку необходимо сдвинуть и сориентировать пациента в правильное положение в пространстве.

Также можно динамически регулировать 6-осевую кушетку во время лучевой терапии, чтобы противодействовать нежелательным движениям. Требуется очень высокая точность и высокая грузоподъемность >180 кг. Эти требования, наряду со свободно программируемым движением с 6 степенями

свободы, достигаются шестиосевыми системами параллельного кинематического позиционирования при помощи гексаподов [8].

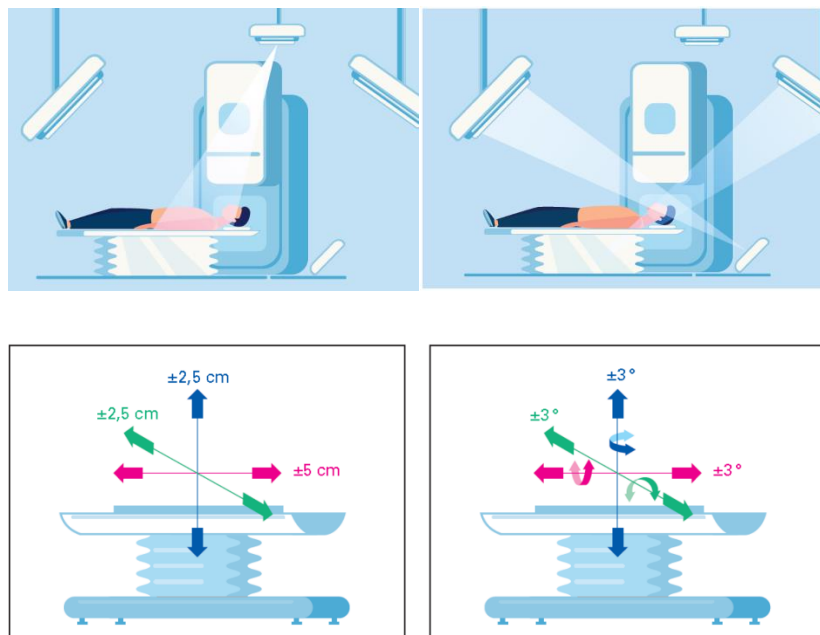


Рис. 1.1.29 - Для правильного расположения пациента к источнику излучения операционный стол необходимо перемещать с шестью степенями свободы: три линейных направления (X, Y, Z) и три направления вращения (A, B, C). Требуется точность лучше 0,1 мм, а также грузоподъемность 200 кг или выше

Имитация морской качки

Гексаподы также нашли применение в морском деле. При погрузке или выгрузки контейнеров судно колеблется на волнах. При помощи гексаподов можно стабилизировать площадку для размещения груза рис. 1.1.30 [9].



Рис. 1.1.30 - Стабилизация платформы во время качки

Гексапод 6х6.

Достоинства данной компоновки гексапода можно отнести следующие параметры:

1) данная компоновка является более экономичной. Стойки соединяющие нижнюю и верхнюю платформы выполнены при помощи универсальных или стандартных шаровых шарниров.

2) Угловая подвижность рабочей платформы имеет больший угол наклона к плоскости верхней платформы в сравнении с другими видами компоновок, что сильно сказывается на изменении положения гексапода в пространстве при малейшем изменении их длины.

К недостаткам следует отнести сложность математического построения уравнений. Данная компоновка имеет системы уравнений с наибольшим числом неизвестных переменных. Что усложняет составление и решение неизвестных в таких уравнениях.

Гексапод 6х3.

К достоинствам этой компоновки относятся:

1) наиболее простое математическое описание кинематики гексапода. Узловых соединений стоек только три на нижней платформе, это уменьшает число неизвестных переменных в уравнениях. Что значительно упрощает решение таких уравнений.

2) требуется наименьшее число шарниров на рабочей платформе. Что приводит к уменьшению массы конструкции, увеличению скорости и ускорения перемещений по сравнению с компоновкой гексапода 6х6.

3) потери на трение уменьшаются из-за меньшего числа шарниров на нижней платформе.

К недостаткам компоновки можно отнести высокую стоимость. Также специальные шарниры (вильчатые шарниры) труднодоступны и выпускаются специализированно ограниченным числом производителей.

Гексапод 3х3.

К достоинствам данной компоновки относятся:

- 1) наименьшее число шарниров из трёх рассмотренных компоновок гексапода. Что приводит к уменьшению общей массы механизма.
- 2) более простое позиционирование и управление гексаподом, благодаря простому математическому описанию кинематики гексапода.
- 3) потери на трение в данной компоновке наименьшие по сравнению с предыдущими двумя.

К недостаткам относятся:

- 1) стоимость данной компоновки высокая из-за шести специализированных шарниров.
- 2) чувствительность рабочей платформы снижена к увеличению или уменьшению размера опор. Для изменения ориентации и положения верхней платформы требуется большее изменение длины опор, в сравнении с ранее описанными компоновками.

Характеристики гексаподов

Достоинства гексаподов

У гексаподов имеются множество достоинств:

- 1) *шесть степеней свободы*. Наибольшая степень свободы перемещений у гексаподов с шестью стойками. Кроме линейных перемещений в ортогональном направлении по осям X, Y и Z платформа

имеет возможность совершать угловые перемещения (наклоняться и закручиваться). Такие сложные детали как: лопатки турбин, штампы, пресс-формы и другие детали, требующие высокой точности. Шпиндель может вращаться на произвольные углы при обработке деталей сложной формы.

2) *адаптивность и гибкость*. Возможна непрерывная работа гексаподов для адаптивного или гибкого производства. Для гибкого или адаптивного производственного процесса гексаподы имеют возможность работать без перерывов. Под гибкостью имеется ввиду способность реагировать на запланированные изменения, а под адаптивностью понимается – способность реагировать на незапланированные изменения. Быстрая реконфигурация оборудования если произошли изменения на линии производства, также возможность хранения разобранных станков, когда в них нет необходимости. Все эти возможности даются пользователю благодаря механической простоте устройства и отсутствию потребности в специальном фундаменте.

3) *производительность*. Высокая производительность будет обеспечена благодаря:

а) непрерывной обработке за счёт применения челночной системы паллет, она может автоматически вносить заготовку в рабочую зону и удалять её из неё.

б) применению для запрограммированной смены инструмента высокоскоростного устройства

с) большой мощности шпинделей, обладающих высокоточными и высокоскоростными параметрами.

д) быстрым ускорениям и замедлениям до 0,5-1 G за счёт снижения массы подвижных деталей (рис.1.1.31а). При сохранении

точности обработки многие конструкции таких механизмов обеспечивают скорость подач до 30 м/мин (рис. 1.1.31б). В обычных станках скорость намного меньше из-за заготовки, которая перемещается вместе с массивной базовой деталью.

4) *устойчивость и жёсткость*. Жесткий каркас, который обеспечивает отсутствие значительных деформаций под действием нагрузок. Это является условием хорошей конструкции гексапода. Продольные стойки могут подвергаться изгибу, поэтому важно при проектировании гексапода учитывать этот момент. Критическая продольная нагрузка пропорциональна четвертой степени диаметра стойки и обратно пропорциональна квадрату её длины. Таким образом, необходимы стойки небольшого диаметра для создания устойчивости конструкции. Высокие скорости резания возможны благодаря чрезвычайно высоким собственным частотам, которые обеспечиваются высокой жесткостью и устойчивостью элементной базы гексапода. На сегодняшний день жёсткостью обычных пятикоординатных обрабатывающих центров в 3-4 раза ниже, по сравнению с жёсткостью современных гексаподов того же класса.

5) *точность и надёжность*. При помощи волюмометрической погрешности возможно оценить точность гексапода. При работе гексапода появляются нагрузки, которые затем преобразуются в растяжение или сжатие. Влияние изгибающих моментов влияет на точность обработки, чем меньше влияние, тем точность обработки выше. Параллельное расположение стоек усредняет погрешности позиционирования. Более плавной траектории движения способствует малое трение скольжения, это приводит к меньшей величине мертвого хода, также гексаподы легче традиционных станков. В некоторых видах гексаподов возможно обеспечивать перемещение с субмикронной точностью. В остальных гексаподах при использовании специального программного продукта возможно управлять перемещением гексапода с точностью до 2,5 мкм.

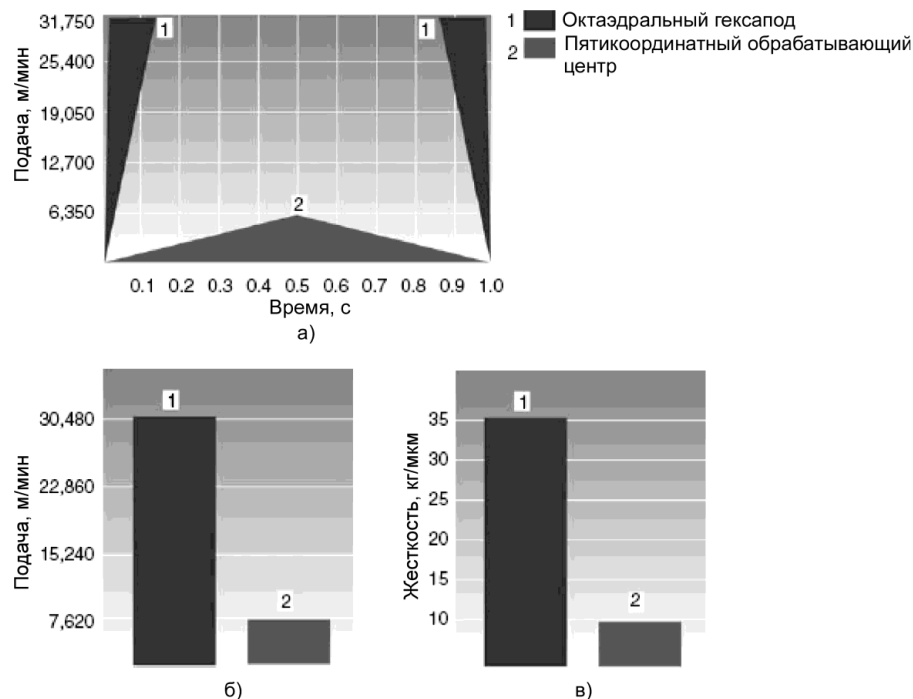


Рисунок 1.1.31 - Свойства гексаподов

6) *влияние внешних условий.* Отсутствует необходимости в специальном фундаменте для работы гексапода, все силы, возникающие в процессе обработки, концентрируются в замкнутой системе гексапода. Что в свою очередь экономит бюджет, так как нет нужды в установке фундамента. При этом возможно использовать гексапод, к примеру, на корабле в открытом море, работающем на боку или подвешенным к стене без снижения точности – всё это позволяет успешно функционировать вне зависимости от окружающих условий.

7) *простота.* Лёгкость производства и простота конструкции без сомнений является ещё одним преимуществом гексаподов. Количество деталей в обычном станке составляет порядка 1000 штук в то время как в гексапode используется в среднем 300 штук, что более чем в 3 раза меньше. Сборка гексапода проста и такой механизм может продаваться в разобранном виде как конструктор, это возможно за счёт большого числа одинаковых деталей.

8) *мобильность.* Возможно использовать станок как на предприятиях различных компаний, так и перевезти его для работы на отдельные нефтяные месторождения и использовать его непосредственно на месте. Это характеризует

гексапод как достаточно мобильное устройство, которое можно перевозить с собой.

9) *высокая нагрузочная способность.* Достаточно важной характеристикой гексапода является высокая номинальная нагрузка (мощность/вес). При резании, силы, действующие на верхнюю платформу, распределяются одинаково по шести параллельным стержням. Только 1/6 нагрузки подвержена каждая из стоек гексапода от полной нагрузки. Детали традиционных станков крупноразмерные, массивные, но в гексаподах детали меньше по своим габаритным значениям, так как испытывают только сжимающие или растягивающие усилия.

10) *масштабируемость.* Спектр применения гексаподов достаточно широк: от окрасочных и измерительных работ, фрезерных, сварочных, сверлильных, токарных, до хирургии и микросборки. Все эти работы требуют различных габаритных размеров гексаподов, поэтому размеры гексаподов масштабируются. Габаритные значения могут быть от больших таких, что их октаэдрическая рама выполнена из строительной конструкции, так и маленькими состоящими из нескольких модулей для полупроводниковой промышленности.

11) *маневренность.* Сложное рабочее пространство, которое имеют гексаподы (усеченный шестигранный конус) который определяется степенью угловой подвижности, а также определенным полярным размахом стоек между их максимальным удлинением и укорочением. Все эти параметры дают сложное рабочее пространство гексаподам. При добавлении в конструкцию двухкоординатной поворотной головки маневренность гексапода существенно возрастает.

12) *улучшенные системы управления.* Для управления стойками гексаподов появились программные продукты, способные выполнять сложные алгоритмические действия. Это стало ключевым шагом в проектировании гексаподов. При вычислении программы движения гексаподов от компьютеров

требуется значительная мощность процессоров, такая мощность сравнима с мощностью нескольких стационарных персональных компьютеров. Также программное обеспечение должно учитывать температурные деформации и компенсировать смещения и т. п.

13) *стоимость*. Традиционные станки всё больше вытесняются гексаподами. На рисунке 1.1.19 показаны цены современных станков и гексаподов, но по прогнозам аналитиков цена в ближайшем будущем на гексаподы уменьшится на 20%, такая цена будет сопоставима с ценой станков с ЧПУ. Такие механизмы просты в проектировании и сборке. При уменьшении времени сборки потребность в инвентаре уменьшается, трудовые затраты также уменьшаются, рабочее пространство уменьшается. Снижаются затраты на техническое обслуживание, обеспечивается лёгкая сборка за счёт шести идентичных стоек, которые упрощают конструкцию гексапода. Никаких проблем не вызывает замена поврежденных деталей, подверженных износу. Поверка и обеспечение управления облегчены благодаря новейшему программному продукту. Потребление энергии в традиционных станках выше, чем в гексаподах. Сравнение обычных станков и гексаподов показано на рисунке 1.1.32.

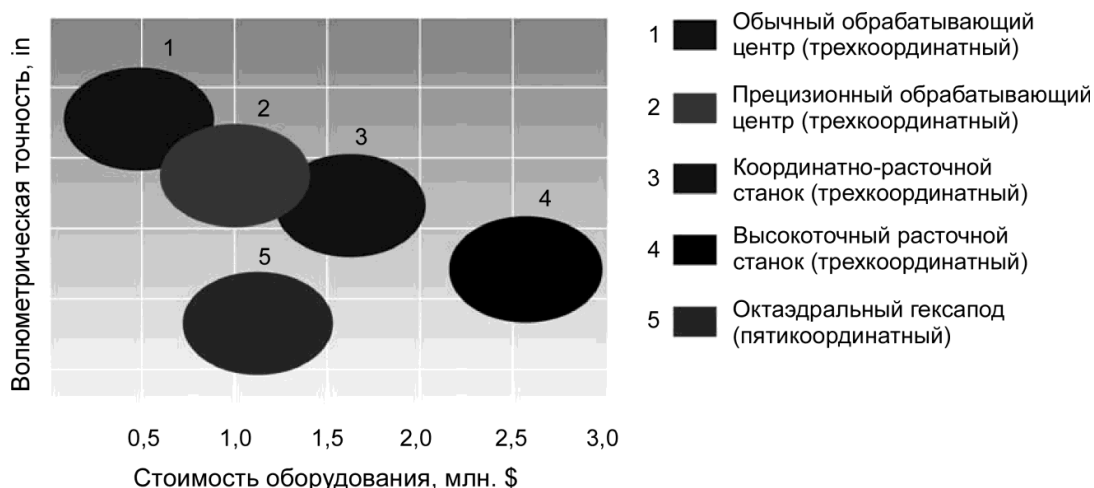


Рисунок 1.1.32 - Сравнение обычных станков и гексаподов в стоимостном выражении

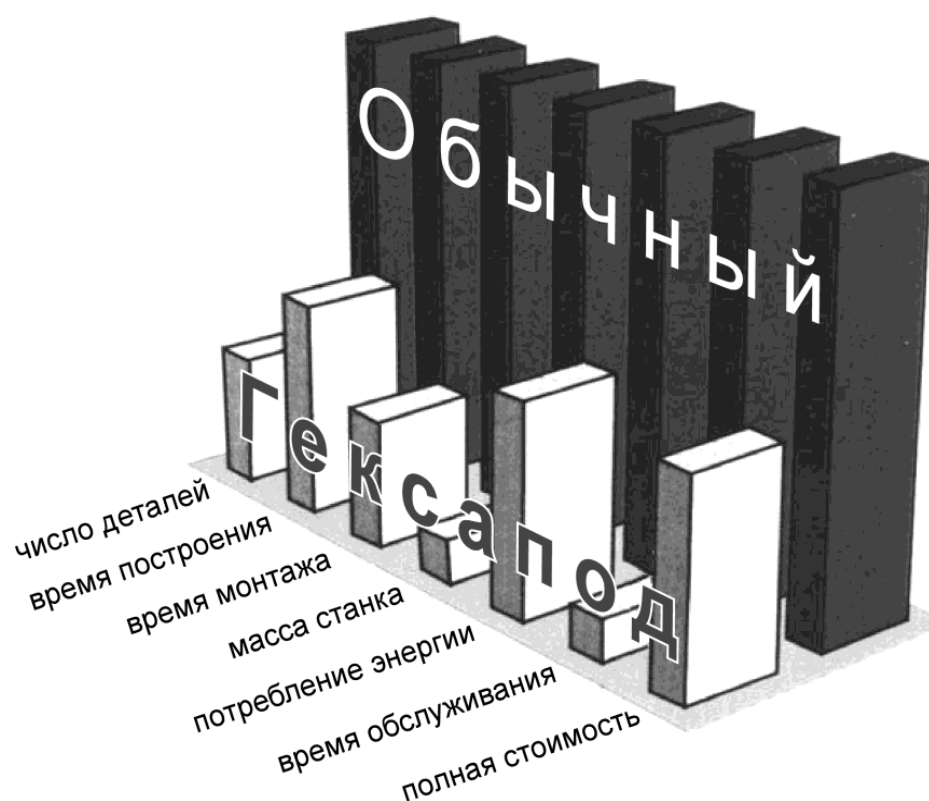


Рисунок 1.1.33 - Разница характерных показателей обычных станков и гексаподов

Недостатки гексаподов.

Несмотря на отмеченные выше преимущества гексаподов у них также имеются недостатки, что требует разработок и улучшений их конструкции. Основные недостатки гексподов:

- 1) *трение*. Высокие коэффициенты трения в узлах ($\mu=0,8$) негативно влияют на точность и повторяемость, данный недостаток является ключевым недостатком гексаподов. Но при использовании керамических покрытий и смазочных материалов, коэффициент трения возможно уменьшить до 0,2, чаще всего такое используется в современных конструктивных решениях.

2) *длина опор.* Опоры могут иметь кривизну, поэтому точность гексапода обратно пропорциональна длине опор. Но данный недостаток возможно исправить, контролируя погрешности формы, перед закреплением в механизме, предварительно каждой стойки.

3) *температурные деформации.* При высоких скоростях вращения шпинделя (40000-50000 об/мин), а также резком изменении положения координат опор, в следствии этого в гексаподах наблюдаются температурные деформации. Решить данную проблему возможно при контроле в реальном времени температуры стоек и применении алгоритма полученного из выводов предварительного анализа. Программа по автоматической компенсации температурного удлинения стоек устраняет температурные изменения, применяя технологии температурной компенсации, основанной на использовании лазерной системы обратной связи, такие технологии применяются в гексаподах компании «DS Technology». В программном продукте, прилагаемом вместе со станком.

4) *поверка.* Кроме точного контроля длины стоек точность гексапода также зависит от информации о геометрических характеристиках стоек. Многие факторы в совокупности влияют на конечную точность стоек, различные параметры должны быть указаны для описания геометрических характеристик механизмов. Все эти параметры должны быть прописаны в допусках на изготовление опор для гексаподов. Данная процедура осуществляется при помощи поверка (калибровка), а данная проблема всё ещё является актуальной для гексаподов. Требуется система поверки, гарантирующая достаточно высокую точность, при этом у гексаподов появится возможность выполнять обработку деталей с заданным допуском многократно. Появится возможность контролировать собственные характеристики

гексаподов и корректировать любые обнаруженные погрешности благодаря такой внутренней системе поверки.

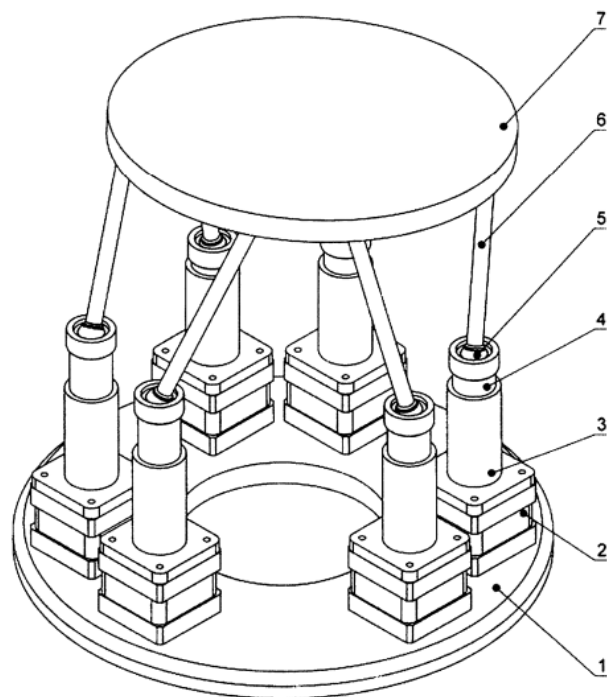
2. Объект и методы исследования

Объектом исследования в данной работе является шестистепенной вибрационный стенд с параллельной кинематикой при расположении управляющих приводов над основанием вблизи вибраторов. Вибраторы расположены под толкателями.

В данной работе проводятся исследования вибрационного стенда с позиции кинематики в компьютерной программе, при создании виртуальной модели устройства. Использование программного продукта для реализации виртуальной модели используется SolidWorks 2021.

Исходными данными являются: конструктивная схема вибрационного стенда с параллельной кинематикой (рис. 2.1), габаритные значения стенда: диаметр нижнего основания равен, диаметр рабочего стола равен, Высота стенда без выдвинутых толкателей, высота стенда с максимально выдвинутыми толкателями, выдвижение толкателей равно 15 мм. Параметры рабочей зоны равны: $[x]=\pm 20\text{мм}$, $[y]=\pm 20\text{мм}$, $[z]=\pm 20\text{мм}$, $[A]=\pm 20^\circ$, $[B]=\pm 20^\circ$, $[C]=\pm 20^\circ$. Точность позиционирования равна $\Delta = 0,2\text{ мм}$ и $0,1^\circ$.

Стандарты: ГОСТ Р 52545 (ГОСТ Р 52545.1(2)-2006 (ИСО 15242-1:2004)), МИ ИЦ ЕПК001-11, ГОСТ 6134-2007, ISO 9906-2015 по 1, 2 и 3 классам точности., ГОСТ Р ИСО 10813-1-2011.



1 – несущая платформа; 2 – вибратор; 3 – обойма; 4 – толкатель; 5 – шаровая опора; 6- соединительная штанга; 7 – рабочий стол

Рисунок 2.1 - Представление исходной модели шестистепенного
вибрационного стенда

3 Расчёты и аналитика

3. Расчёты и аналитика

3.1 Исследовательская часть

С помощью математических взаимозависимостей можно решить кинематическую задачу, связав семантические позиции устройства с зависимостями выходных позиций: прямое решение связано с определением выходных позиций по известным суммарным; поиск суммарных месторасположений по заданным выходным - главная цель решения обратной задачи.

Составление кинематических уравнений рассматривается во многих изданиях, например, [15, 16]. Эти уравнения могут быть использованы при анализе пространства рабочего механизма параллельной кинематикой и при решении задач по траектории применительно к производству технологического оборудования, работающем на таких механизмах [17]

Верхняя рабочая платформа предназначена для испытания объектов на вибрационные воздействия. Испытание производится путём изменения положения верхней платформы относительно нижней платформы, по трём декартовым координатам, и добавочными наклонами стола по координатам А и В (повороты вокруг оси X и Y), можно создать вибрационные условия близкие к реальности, которой будет подвергаться объект в процессе эксплуатации путём движения сложной пространственной ориентации испытуемого объекта. Число необходимых управляемых координат для обеспечения пространственного ориентирования рабочего места зависит от ориентации привода координат и его вида (линейных или угловых перемещений), а также от степени подвижности, обеспечиваемых шарнирными креплениями (2 и 3 степеней).

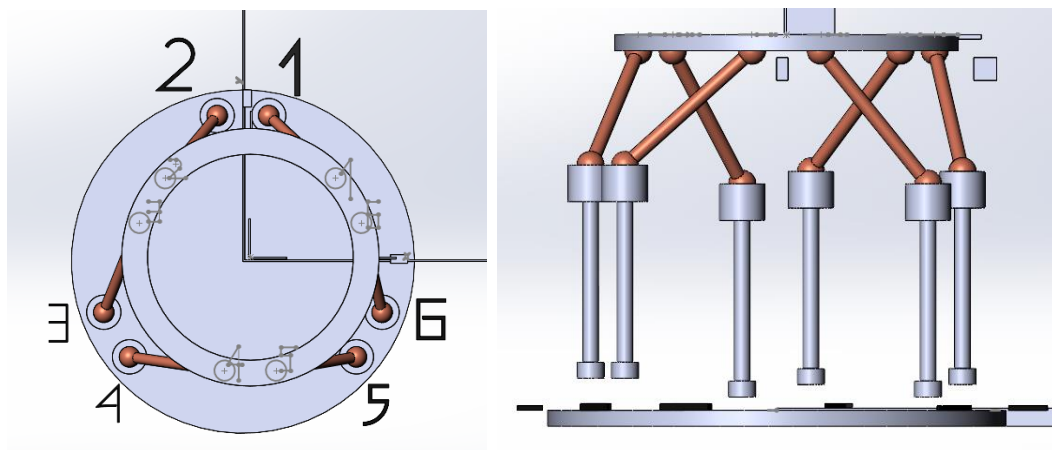


Рис. 3.1.1 - Трехмерная схема кинематики вибрационного стенда.

В предложенной схеме все опоры шарового типа имеют три степени подвижности, каждый привод обеспечивает линейное перемещения ползунов по оси Z и располагается на цилиндре с постоянным радиусом. Ползуны сгруппированы попарно, а пары, в угловой зависимости, находятся под углом от 120 градусов. На подвижном столе попарно сгруппированы опоры. Длина одинаковая у шатунов и шаровых опор.

При помощи программного продукта SolidWorks была проанализирована кинематика 3D модели вибрационного стенда, результаты данного исследования показали, что опоры и ползуны, а также шатуны в определенном положении во всем рабочем объёме обеспечивается устойчивое положение рабочего стола. А сектора в данной системе координат имеют свойство симметрии.

В большинстве исследований по анализу механизма параллельного кинематика решается прямой задачей: задано направление точки в рабочем столе, а аналитические зависимости требуют установления связи этих координат и координат управляемых цилиндров:

$$\bar{M}(x, y, z, A, B) = \bar{P}(P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6)$$

Где вектор $\bar{M}$ связан с координатами точки на рабочем столе и вектор $\bar{P}$, с каждым из проводов.

На основе этой системы уравнений разработаны алгоритмы настройки контроллеров и вводятся элементы корректировки для индивидуального управления механизмом при отклонениях размеров и положений звеньев. Программа для контроллера таким образом усложняется.

Для значительного снижения вычислений на контроллере необходимо измерить каждую заданную позицию вектора $\bar{M}$ или вектора $\bar{P}$ априори и записывать их в два взаимосвязанных, многомерных массива: массив $\bar{M}$ с компонентами (x, y, z, A, B) и массив $\bar{P}(P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6)$. Тогда в алгоритме управления следует просто искать в массиве P , связанный с массивом M , используя указатель, требуемых компонент p_i ($i=1\dots6$). Координату z можно опустить из-за ориентации оси приводов на оси Z , поэтому для нового требуемого значения z необходимо изменить координаты p_i , ($i=1\dots6$) на одинаковую величину.

Каждый из этих параметров определяется функцией приводов $P_1 - P_6$:

$$x = f_x(P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6);$$

$$y = f_y(P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6);$$

$$z = f_z(P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6) + z_0;$$

$$A = f_A(P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6);$$

$$B = f_B(P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6);$$

3.1.1 Описание устройства и составных элементов

Внешний вид устройства шестистепенного вибрационного стенда представлен на рисунке ниже. Работа толкателей основана на схеме винт – гайка.

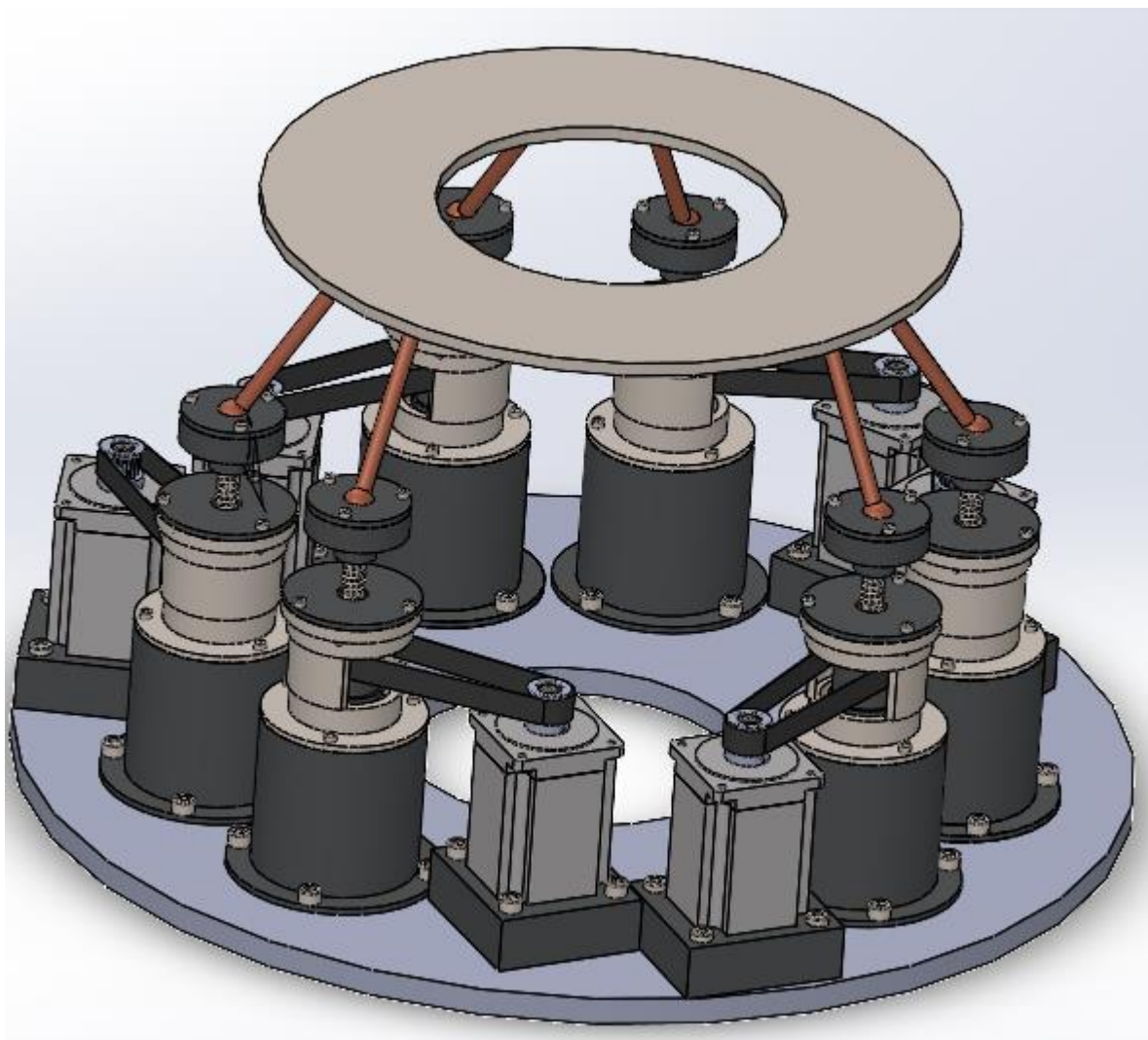


Рисунок 3.1.1.1 – Габаритная компоновка шести степенного
вибрационного стенда.

Как уже было описано выше используется стандартная шарико-винтовая пара для движения. Это позволяет точно позиционировать вибрационный стенд. Не происходит лишних колебаний, а рабочая платформа точно изменяет своё положения в зависимости от заданной программы. Отклонения от необходимых параметров минимально. На рисунке 3.1.1.2 представлено конструктивная схема шарико-винтовой пары.

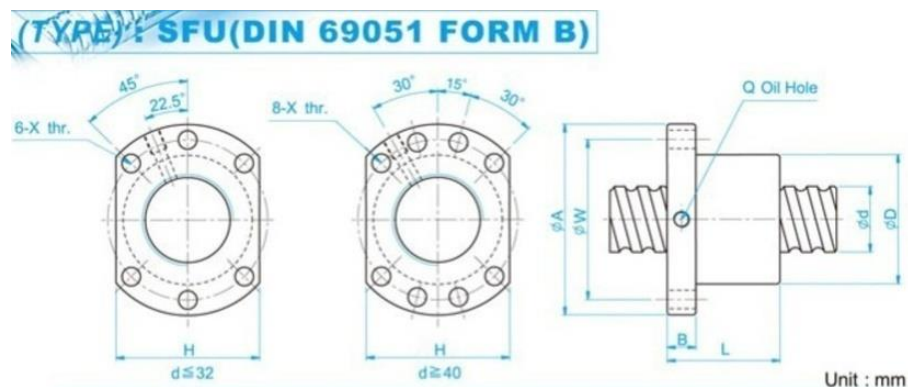


Рисунок 3.1.1.2 - Конструктивная схема шарико-винтовой пары.

В таблице 3.1.1.1 представлены стандартные шарико-винтовые пары.

Таблица 3.1.1.1 – Стандартные шарико-винтовые пары.

Номер модели	Dimensions														
	d	I	Da	D	A	B	L	W	X	H	Q	n	Ca	Coa	K
SFU01204-4	12	4	2.5	24	40	10	40	32	4.5	30		1×4	902	1884	26
SFU01604-4	16	4	2.381	28	48	10	40	38	5.5	40	M6	1×4	973	2406	32
SFU01605-4		5	3.175	28	48	10	50	38	5.5	40	M6	1×4	1380	3052	32
SFU01610-3		10	3.175	28	48	10	57	38	5.5	40	M6	1×4	1103	2401	26
SFU02004-4	20	4	2.381	36	58	10	41	47	6.6	44	M6	1×4	1066	2987	38
SFU02005-4		5	3.175	36	58	10	51	47	6.6	44	M6	1×4	1551	3875	39
SFU02504-4	25	4	2.381	40	62	10	42	51	6.6	48	M6	1×4	1180	3795	43
SFU02505-4		5	3.175	40	62	10	51	51	6.6	48	M6	1×4	1724	4904	45
SFU02506-4	25	6	3.969	40	62	10	45	51	6.6	48	M6	1×4	2318	6057	47
SFU02508-4		8	4.762	40	62	10	63	51	6.6	48	M6	1×4	2963	7313	49
SFU02510-4		10	4.762	40	62	12	85	51	6.6	48	M6	1×4	2954	7295	50

При помощи программного продукта SolidWorks была разработана данная шарико-винтовая пара, представленная на рисунке 3.1.1.3.

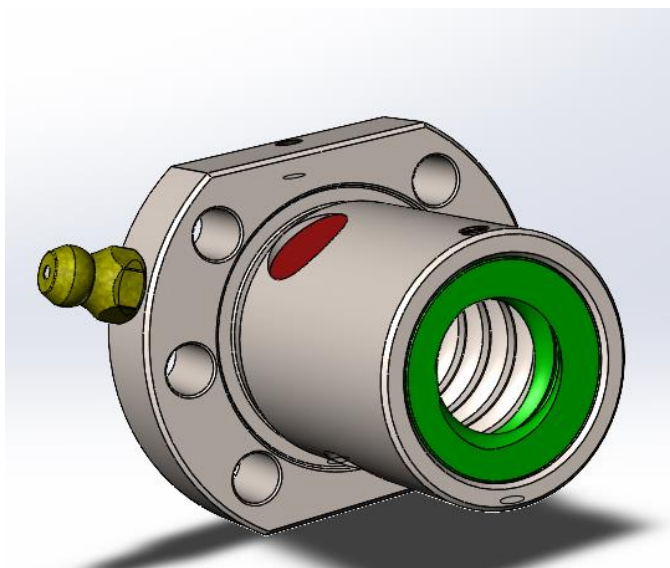


Рисунок 3.1.1.3 - Шарико-винтовая пара, используемая в конструкции.

Обоснованный выбор двигателя

В машиностроении возможно использование различных видов двигателей, но наиболее подходящими двигателями для данного устройства являются шаговые двигатели.

Почему не был выбран асинхронный двигатель? Движущий момент зависит как от скорости вращения вала, так и от тока в статоре, ток возникающий в роторе регулировать достаточно трудно. По этой причине при реверсировании вращения вала или при переменных скоростях асинхронные двигатели работают хуже.

У двигателей постоянного тока масса больше по сравнению с двигателями постоянного тока. Вращающий момент и мощность на единицу массы меньше. Массу таких двигателей нельзя уменьшить так как она обусловлена конструктивной составляющей. Ещё одним недостатком двигателей постоянного тока является большее нагревание, поэтому нужно будет предусмотреть систему охлаждения при эксплуатации таких двигателей.

Синхронные двигатели также редко применяются в таких устройствах. Такие двигатели могли бы заменить двигатели постоянного тока в режиме автоматической коммутации обмоток. Рабочие характеристики очень близки к характеристикам постоянного тока, а от положения ротора зависит питание фаз. У данных двигателей много достоинств:

- в статоре располагаются обмотки, а магниты в роторе;
- не используется коллектор-щётка, а применяется более современное электронное устройство коммутации, в котором отвод тепла происходит гораздо эффективнее.

Данные двигатели также имеют свои недостатки, из-за небольшого числа фаз движущий момент сильно изменяется.

Шаговые двигатели имеют схожую конструкцию с синхронными двигателями и вбирают в себя все их недостатки и достоинства, но такие

двигатели открывают широкие возможности для их установки, если это касается малых перемещений. Цифровой сигнал возможно оцифровать в дискретные угловые перемещения (шаги) ротора с высокой точностью при помощи шаговых двигателей. Система управления в сравнении с другими приборами, которые могут выполнять аналогичные функции, содержит в себе существенные преимущества:

- нет обратной связи для управления частотой вращения или положением;
- ошибки положения не накапливаются;
- возможно совместное применение шаговых двигателей с современными цифровыми устройствами.

Также наибольшую популярность шаговые двигатели набирают с развитием микропроцессорной технологии. Эту популярность они набирают ввиду своих особенностей, отличающих их от других видов двигателей:

- большая частота вращения может быть достигнута, при уменьшении шага. Возможно при помощи данных двигателей создать маленький шаг, а именно до 1000 шагов за один оборот.
- наибольшая точность частоты вращения. Двигатели спроектированы таким образом, что в ответ на входной импульс они поворачиваются на определенный угол и останавливаются в определенном положении.
- для шаговых двигателей отношение электромагнитного момента к моменту инерции выше, чем для обычного электромагнитного двигателя. Из-за того, что в ответ на поступление входного импульса или последовательности импульсов должны двигаться с максимальным ускорением и быстро останавливаться при прерывании последовательности импульсов.

Шаговый двигатель FL86STH.

В данной конструкции был выбран двухфазный шаговый двигатель.

Напряжение питания данного двигателя 12В. Отличается данный двигатель повышенным крутящим моментом, низким уровнем шума и возможностью длительной работы. Данный двигатель был выбран по таким характеристикам как высокая точность, малая величина шага, плавной регулировки мощности, широкий скоростной диапазон работы от низкого до чрезвычайно высокого режима, остановка и изменение направлений вращений всё это позволит более точно перемещать рабочий стол устройства для испытания объекта на вибрации. Основные технические характеристики двигателя данной серии представлены в таблице 3.1.1.2.

Таблица 3.1.1.2 - Технические характеристики двухфазного шагового двигателя серии FL86STH.

Наименование	Значение
Угловой шаг	1,8°
Погрешность углового шага	± 5 % (полный шаг, без нагрузки)
Погрешность сопротивления обмоток двигателя	± 10
Погрешность индуктивности	± 20 %
Рабочая температура	20°C ~ +50°C
Сопротивление изоляции	100MΩ Min, 500 VDC
Диэлектрическая прочность	820 VAC (1 сек, 3 мА)
Максимальное радиальное биение вала двигателя	0,02 мм (при нагрузке 450 грамм)
Максимальное осевое биение вала двигателя	0,08 мм (при нагрузке 450 грамм)
Максимальная допустимая радиальная нагрузка на вал	220 Н
Максимальная допустимая осевая	60 Н
Максимальный нагрев двигателя	80 °C (при номинальном токе, 2 фазы)
Крутящий момент, кг ·см	34 ~ 122
Ток фазы ШД, А	2,8 ~ 6,2

Данный двухфазный шаговый двигатель непосредственно на устройстве в программном продукте SolidWorks представлен на рис. 3.1.1.4.

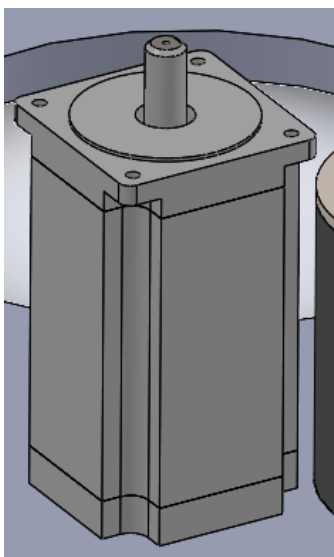


Рисунок 3.1.1.4 - FL86STH шаговый двигатель.

Упорный подшипник

Упорный подшипник, используемый в данном механизме является стандартным и соответствует международным стандартам ISO. Характеристики упорных подшипников серии 511 представлены в табл. 3.1.1.3.

Таблица 3.1.1.3 - Характеристики упорных подшипников.

TYP	Wymiary				
	dw	dg	Dw	Dg	T
51100	10	11	24	24	9
51101	12	13	26	26	9
51102	15	16	28	28	9
51103	17	18	30	30	9
51104	20	21	35	35	10
51105	25	26	42	42	11
51106	30	32	47	47	12
51107	35	37	52	52	13
51108	40	42	60	60	14
51109	45	47	65	65	14
51110	50	52	70	70	14

Ниже представлена схема обозначений размеров упорного подшипника рис. 3.1.1.5.

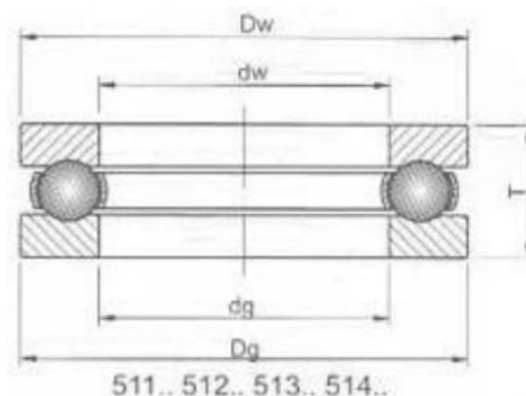


Рисунок 3.1.1.5 - Схема обозначений размеров упорного подшипника.

Спроектированный упорный подшипник в программном продукте Solid Works представлен на рис. 3.1.1.6.

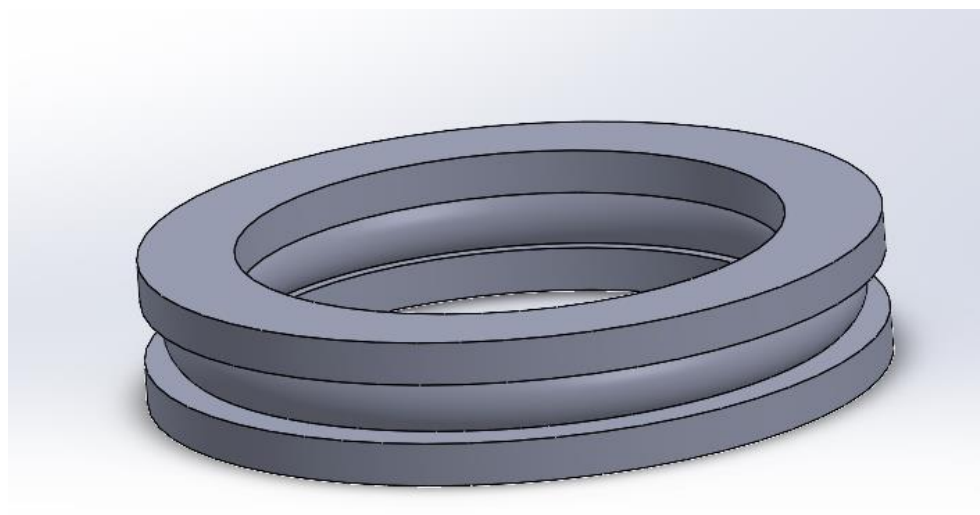


Рисунок 3.1.1.6 - Представленная в программном продукте SolidWorks упорный подшипник.

Крепление штанги к толкателю.

Крепление штанги к толкателю выполнена при помощи сварного шва, который представлен на рис. 3.1.1.7 ниже.

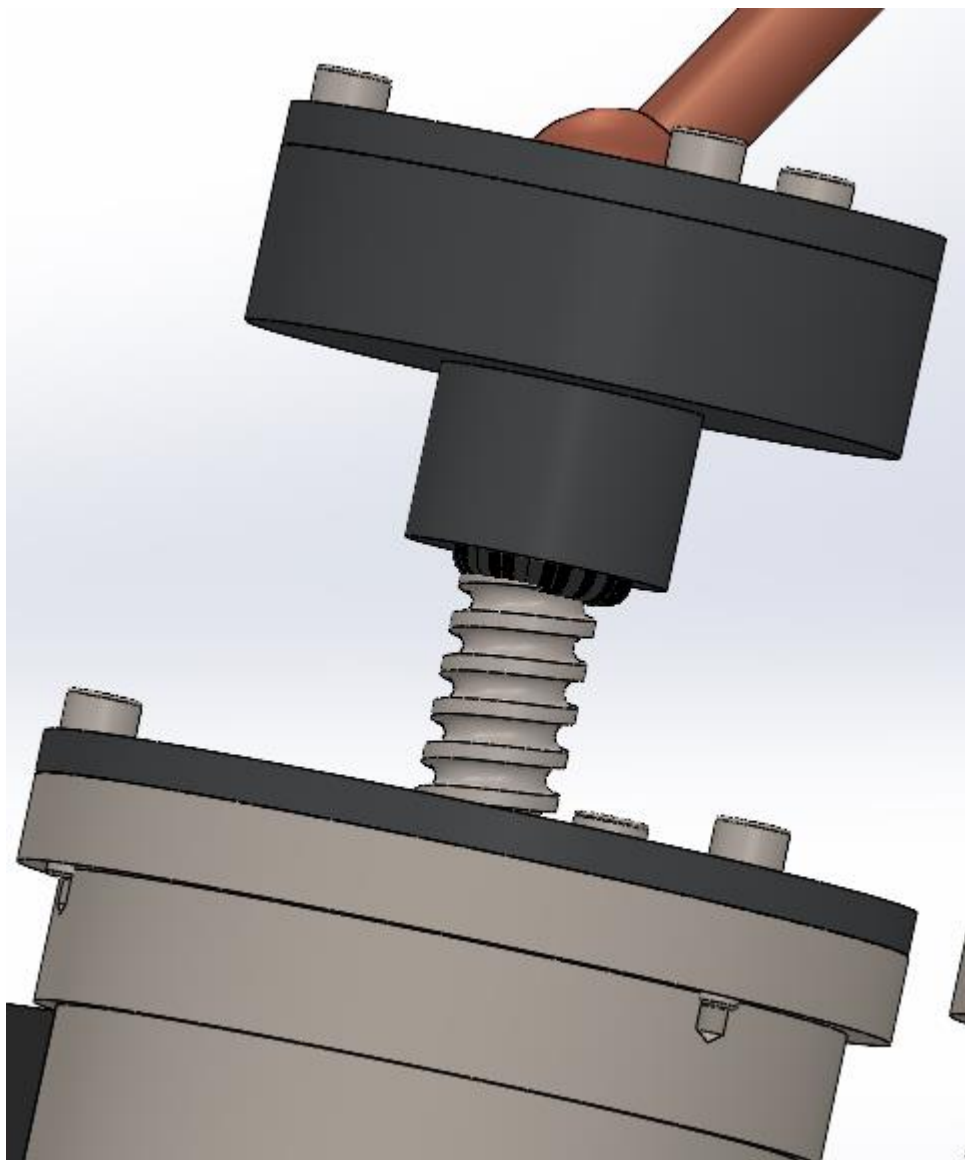


Рисунок 3.1.1.7 - Сварной шов, крепление штанги к толкателю.

Зубчатый ремень

Воздействие вращения от двухфазного шагового двигателя рис. будет передаваться на привод к толкателю при помощи зубчатого ремня, изготовленного из термопластичного полиуретана. Благодаря зубчатому ремню будет достигаться более точное вращение винта посредством вращения шагового двигателя. Спроектированный ремень в программном продукте SolidWorks представлен на рис. 3.1.1.8.

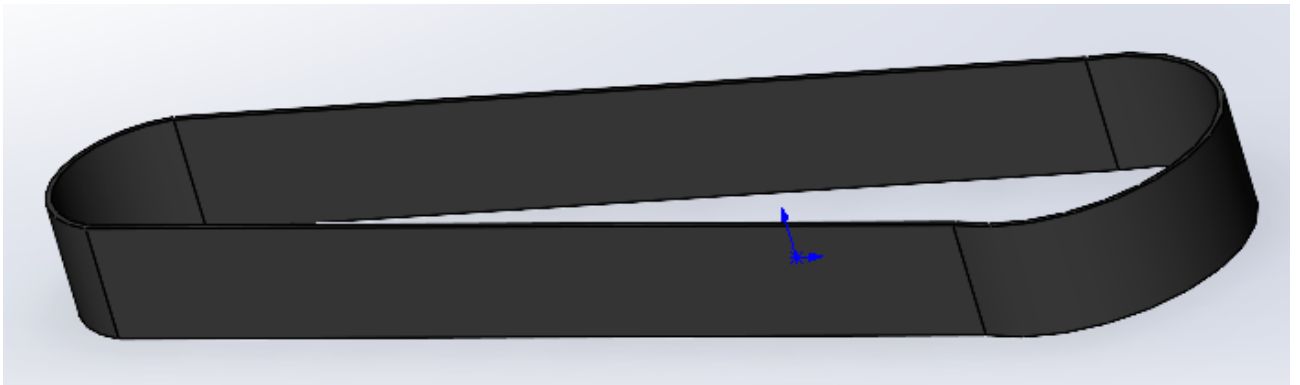


Рисунок 3.1.1.8 - Зубчатый ремень.

Подшипниковый узел.

На рисунке 3.1.1.9 представлен рисунок подшипникового узла.

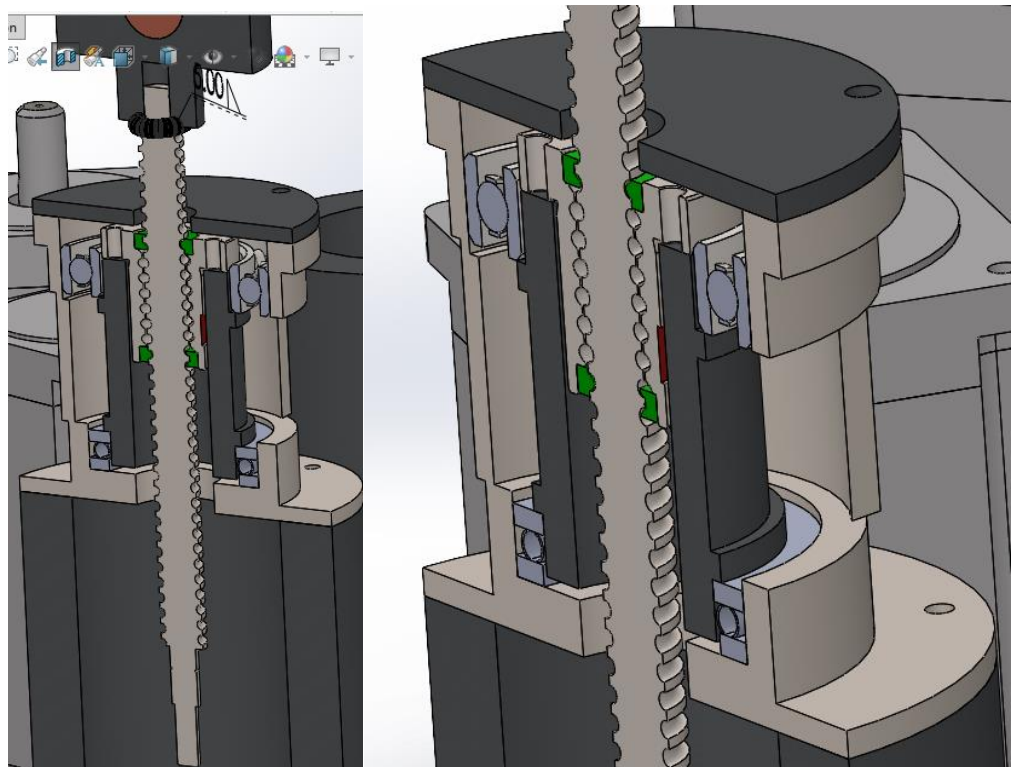


Рисунок 3.1.1.9 - Подшипниковый узел

Крепление механизмов к основанию.

Двигатель прикреплен к основанию. Данное крепление показано на рис. 3.1.1.10.

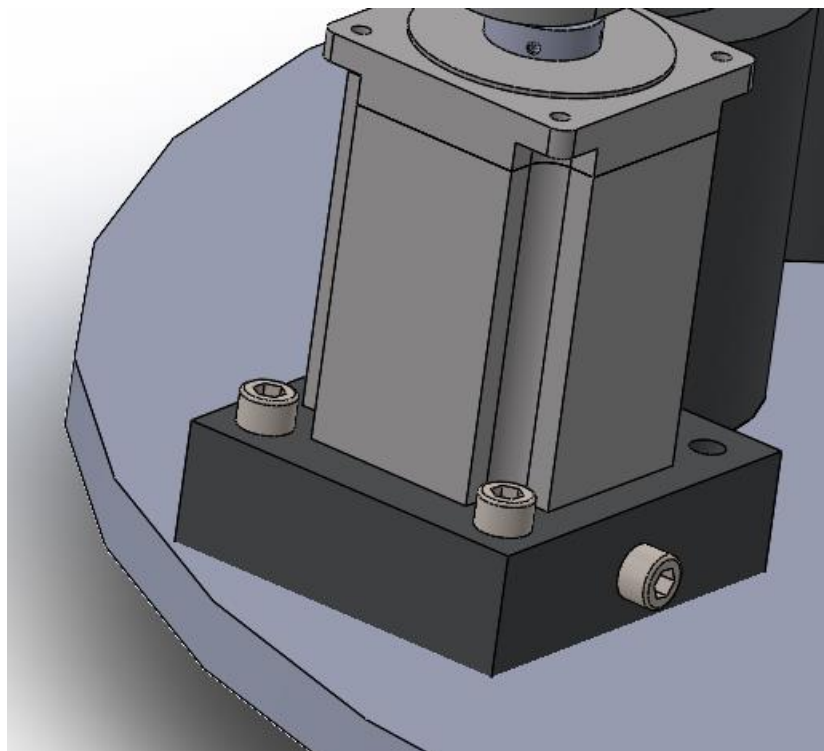


Рисунок 3.1.1.10 - Крепление двигателя к нижней платформе

3.2 Исследование кинематики

3.2.1 Описание устройства алгебраически с помощью геометрии.

Система работает на трех независимых координатах и двух координатах вращения по оси x и y $[x, y, z, A, B]$. Приводы P_1 - P_6 – каждый привод соответствует координатам:

$$P_1 = [x, y, z, A, B]$$

$$P_2 = [x, y, z, A, B]$$

$$P_3 = [x, y, z, A, B]$$

$$P_4 = [x, y, z, A, B]$$

$$P_5 = [x, y, z, A, B]$$

$$P_6 = [x, y, z, A, B]$$

Рабочая зона для каждой из координат была выбрана:

$$x = [0 - 5,8]$$

$$y = [0 - 7,8]$$

$$z = [0 - 70]$$

$$A = [0 - 8,4]$$

$$B = [0 - 9,0]$$

Поворот вокруг координаты С – не рассматривался.

Для крайней позиции рабочего места и крайней позиции рабочей зоны проведём исследование движений приводов.

X, Y, Z – координаты смещения центральной точки по осям.

A – Координата поворота стола относительно оси X.

B – Координата поворота стола относительно оси Y.

C – Координата поворота стола относительно оси Z. (заблокирована и не рассматривается)

Для исследования был выбран программный продукт SolidWorks, перемещали рабочий стол по оси X на 0,2 мм, записывая в таблицу величину на которую сдвинулись толкатели. Перемещение по y и z = 0. Наклон относительно осей x и y – A = 0, B=0. Таблица 3.2.1.1. Начальные координаты представлены на рис. 3.2.1.1.

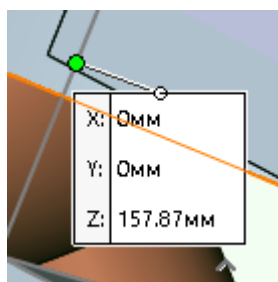


Рисунок. 3.2.1.1 - Начальные координаты

Плоскость стола параллельная основанию, вращение по оси Z отсутствует (координата C). Смещаем стол по координате X на 0,2 мм. Записываем положение толкателей.

Таблица 3.2.1.1 – Смещение стола по координате X

X	Y	Z	A	B	C	P1, мм	P2, мм	P3, мм	P4, мм	P5, мм	P6, мм
0	0	157,87	0	0	0	5,000102	5,000081	5,000064	5,000096	5,000066	5,000054
0,2	0	0	0	0	0	5,129297	4,871936	5,061558	5,190561	4,811012	4,939371
0,4	0	0	0	0	0	5,259549	4,744833	5,123868	5,382453	4,623354	4,879497
0,6	0	0	0	0	0	5,390867	4,618765	5,186995	5,575785	4,437078	4,820430
0,8	0	0	0	0	0	5,523258	4,493726	5,250942	5,770575	4,252169	4,762166
1,0	0	0	0	0	0	5,656730	4,369707	5,315712	5,966839	4,068614	4,704704
1,2	0	0	0	0	0	5,791291	4,246701	5,381308	6,164592	3,886399	4,648040
1,4	0	0	0	0	0	5,926950	4,124703	5,447734	6,363851	3,705512	4,592172
1,6	0	0	0	0	0	6,063714	4,003705	5,514992	6,564634	3,525938	4,537098
1,8	0	0	0	0	0	6,201593	3,883701	5,583086	6,766959	3,347665	4,482815
2	0	0	0	0	0	6,340596	3,764684	5,652018	6,970843	3,170682	4,429320
2,2	0	0	0	0	0	6,480730	3,646647	5,721793	7,176305	2,994974	4,376613
2,4	0	0	0	0	0	6,622006	3,529586	5,792412	7,383364	2,820531	4,324689
2,6	0	0	0	0	0	6,764433	3,413492	5,863881	7,592038	2,647341	4,273548
2,8	0	0	0	0	0	6,908020	3,298361	5,936201	7,802349	2,475391	4,223186
3	0	0	0	0	0	7,052777	3,184186	6,009377	8,014316	2,304672	4,173602
3,2	0	0	0	0	0	7,198713	3,070962	6,083413	8,227960	2,135171	4,124794
3,4	0	0	0	0	0	7,345839	2,958682	6,158311	8,443302	1,966878	4,076752
3,6	0	0	0	0	0	7,494165	2,847342	6,234076	8,660365	1,799783	4,029495
3,8	0	0	0	0	0	7,643701	2,736934	6,310710	8,879169	1,633873	3,983001
4	0	0	0	0	0	7,794458	2,627455	6,388219	9,099740	1,469141	3,937275
4,2	0	0	0	0	0	7,946447	2,518898	6,466606	9,322100	1,305574	3,892314
4,4	0	0	0	0	0	8,099679	2,411259	6,545875	9,546272	1,143164	3,848116
4,6	0	0	0	0	0	8,254164	2,304531	6,626029	9,772284	0,981900	3,804681
4,8	0	0	0	0	0	8,409916	2,198710	6,707074	10,000158	0,821774	3,762006
5	0	0	0	0	0	8,566944	2,093791	6,789013	10,229923	0,662775	3,720088
5,2	0	0	0	0	0	8,725262	1,989768	6,871850	10,461604	0,504895	3,678928
5,4	0	0	0	0	0	8,884882	1,886638	6,955589	10,695230	0,348124	3,638522
5,6	0	0	0	0	0	9,045816	1,784394	7,040236	10,930829	0,192453	3,598870
5,8	0	0	0	0	0	9,208077	1,683033	7,125794	11,168430	0,037874	3,559969

Для того, чтобы аппроксимировать полученные данные, опытные траектории движения ползунов опишем по осредненным (полиномиальными) линиями по каждому приводу рис. 3.2.1.2. Также были получены алгебраические уравнения (полиномиальные уравнения) для каждого привода табл. 3.2.1.2.

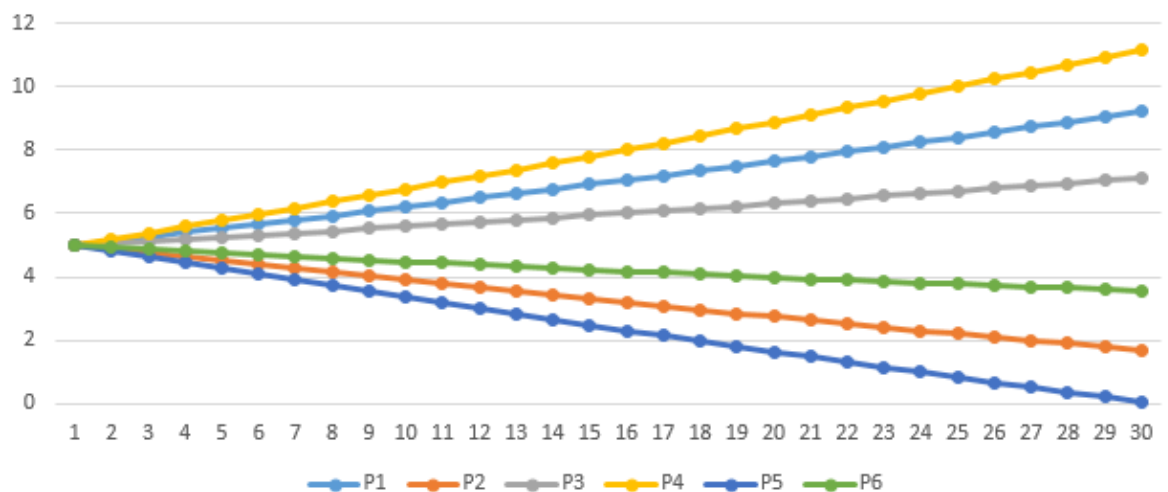


Рисунок 3.2.1.2 - Смещение толкателей по оси x.

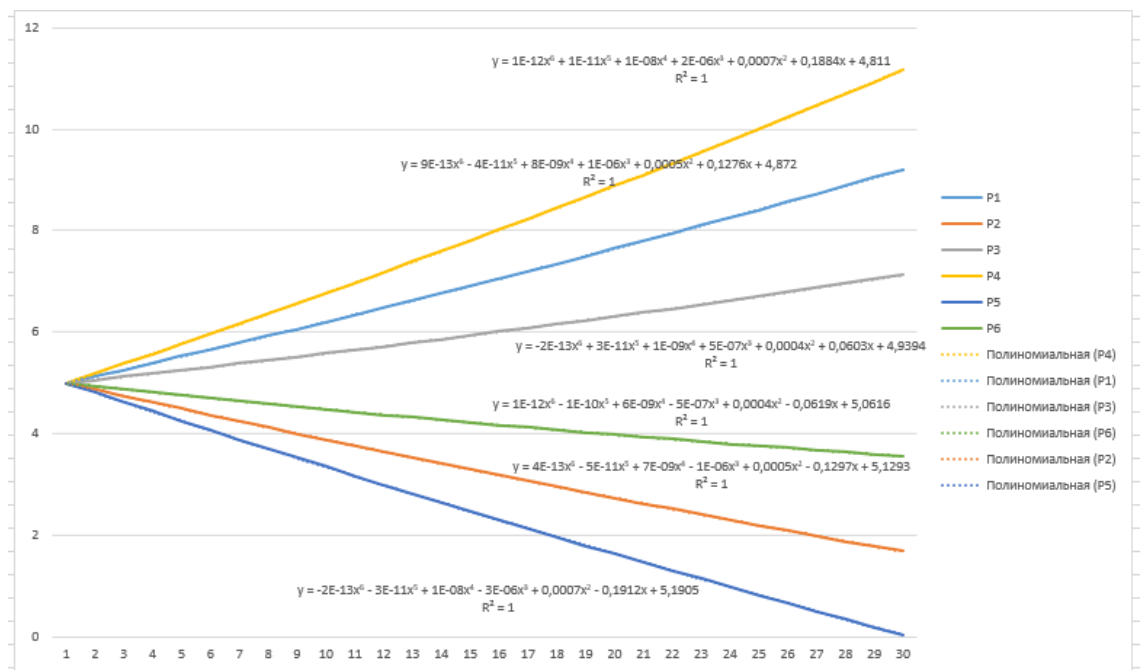


Рисунок 3.2.1.3 - Алгебраические (полиномиальные) уравнения для толкателей для смещения по оси x.

Для случая, описанного в таблице 3.2.1.1, уравнения следующие (таблица 3.2.1.2):

Таблица 3.2.1.2 – Уравнения при смещении стола по оси X

P1	$y = 9E-13x^6 - 4E-11x^5 + 8E-09x^4 + 1E-06x^3 + 0,0005x^2 + 0,1276x + 4,872$
P2	$y = 4E-13x^6 - 5E-11x^5 + 7E-09x^4 - 1E-06x^3 + 0,0005x^2 - 0,1297x + 5,1293$

Продолжение таблицы 3.2.1.2

P3	$y = -2E-13x^6 + 3E-11x^5 + 1E-09x^4 + 5E-07x^3 + 0,0004x^2 + 0,0603x + 4,9394$
P4	$y = 1E-12x^6 + 1E-11x^5 + 1E-08x^4 + 2E-06x^3 + 0,0007x^2 + 0,1884x + 4,811$
P5	$y = -2E-13x^6 - 3E-11x^5 + 1E-08x^4 - 3E-06x^3 + 0,0007x^2 - 0,1912x + 5,1905$
P6	$y = 1E-12x^6 - 1E-10x^5 + 6E-09x^4 - 5E-07x^3 + 0,0004x^2 - 0,0619x + 5,0616$

Плоскость стола параллельная основанию, вращение по оси Z отсутствует (координата C). Смещаем стол по координате Y на 0,2 мм. Записываем положение толкателей табл. 3.2.1.3.

Таблица 3.2.1.3 – Смещение стола по координате Y

X	Y	Z	A	B	C	P1, мм	P2, мм	P3, мм	P4, мм	P5, мм	P6, мм
0	0	157,87	0	0	0	5,000102	5,000081	5,000064	5,000096	5,000066	5,000054
0	0,2	0	0	0	0	4,855840	4,855820	5,184594	4,961463	4,961433	5,184585
0	0,4	0	0	0	0	4,472701	4,712681	5,370509	4,923600	4,923570	5,370498
0	0,6	0	0	0	0	4,570677	4,570656	5,557822	4,886504	4,886474	5,557813
0	0,8	0	0	0	0	4,429757	4,429737	5,746549	4,850174	4,850144	5,746539
0	1,0	0	0	0	0	4,289934	4,289914	5,936704	4,814608	4,814578	5,936694
0	1,2	0	0	0	0	4,151200	4,151180	6,128303	4,779805	4,779775	6,128294
0	1,4	0	0	0	0	4,013545	4,013525	6,321362	4,745764	4,745734	6,321352
0	1,6	0	0	0	0	3,876963	3,876943	6,515897	4,712482	4,712452	6,515887
0	1,8	0	0	0	0	3,741444	3,741424	6,711924	4,679959	4,679929	6,711914
0	2	0	0	0	0	3,606981	3,606961	6,909461	4,648194	4,648164	6,909451
0	2,2	0	0	0	0	3,473567	3,473567	7,108524	4,617184	4,617154	7,108514
0	2,4	0	0	0	0	3,341194	3,341174	7,309131	4,586928	4,586899	7,309121
0	2,6	0	0	0	0	3,209854	3,209834	7,511301	4,557426	4,557397	7,511291
0	2,8	0	0	0	0	3,079540	3,079520	7,715051	4,528677	4,528647	7,715041
0	3	0	0	0	0	2,950245	2,950226	7,920402	4,500678	4,500648	7,920391
0	3,2	0	0	0	0	2,821962	2,821943	8,127371	4,473428	4,473399	8,127361
0	3,4	0	0	0	0	2,694684	2,694665	8,335980	4,446928	4,446898	8,335970
0	3,6	0	0	0	0	2,568405	2,568385	8,546248	4,421174	4,421145	8,546238
0	3,8	0	0	0	0	2,443116	2,443097	8,758197	4,396168	4,396138	8,758187
0	4	0	0	0	0	2,318813	2,318793	8,971848	4,371906	4,371877	8,971837
0	4,2	0	0	0	0	2,195488	2,195468	9,187222	4,348390	4,348360	9,187211
0	4,4	0	0	0	0	2,073135	2,073115	9,404343	4,325616	4,325587	9,404332
0	4,6	0	0	0	0	1,951747	1,951728	9,623233	4,303585	4,303556	9,623222
0	4,8	0	0	0	0	1,831320	1,831301	9,843916	4,282296	4,282267	9,843905
0	5	0	0	0	0	1,711846	1,711826	10,066417	4,261748	4,261718	10,066406
0	5,2	0	0	0	0	1,593319	1,593300	10,290760	4,241939	4,241910	10,290749
0	5,4	0	0	0	0	1,475734	1,475715	10,516971	4,222870	4,222840	10,516960
0	5,6	0	0	0	0	1,359085	1,359066	10,745076	4,204539	4,204509	10,745065
0	5,8	0	0	0	0	1,243366	1,243347	10,975103	4,186945	4,186916	10,975092

Продолжение таблицы 3.2.1.3

0	6	0	0	0	0	1,128572	1,128553	11,207079	4,170089	4,170059	11,207069
0	6,2	0	0	0	0	1,014697	1,014678	11,441034	4,153969	4,153939	11,441023
0	6,4	0	0	0	0	0,901735	0,901716	11,676995	4,138584	4,138554	11,676984
0	6,6	0	0	0	0	0,789682	0,789663	11,914994	4,123934	4,123905	11,914983
0	6,8	0	0	0	0	0,678532	0,678514	12,155062	4,110019	4,109989	12,155050
0	7	0	0	0	0	0,568281	0,568262	12,397230	4,096837	4,096807	12,397219
0	7,2	0	0	0	0	0,458922	0,458903	12,641532	4,084389	4,084359	12,641521
0	7,4	0	0	0	0	0,350450	0,350432	12,888002	4,072673	4,072644	12,887991
0	7,6	0	0	0	0	0,242862	0,242843	13,136675	4,061690	4,061660	13,136664
0	7,8	0	0	0	0	0,136152	0,136133	13,387587	4,051438	4,051409	13,387575

Положения координат рабочего стола представлены на рис. 3.2.1.4.

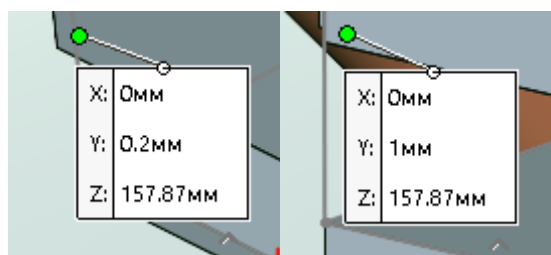


Рисунок 3.2.1.4 - Положения координат рабочего стола при смещении по оси у.

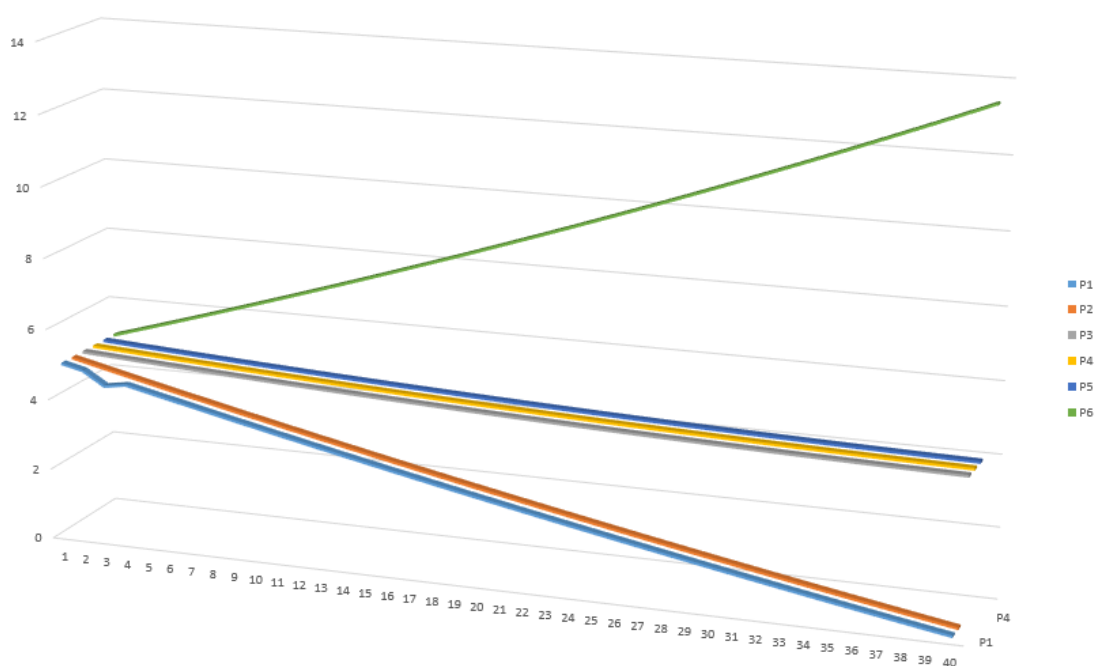


Рисунок 3.2.1.5 - Смещение толкателей по оси у.

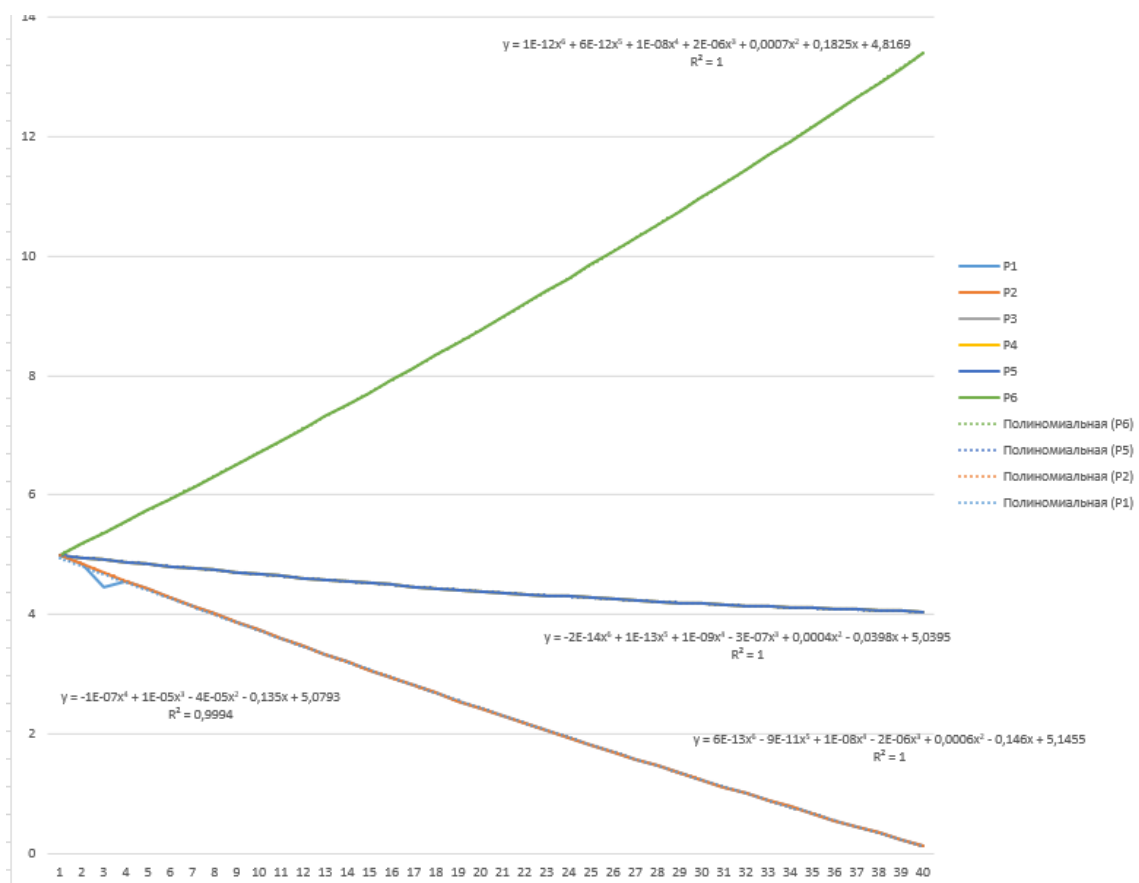


Рисунок 3.2.1.6 - Алгебраические (полиномиальные) уравнения для толкателей для смещения по оси y .

Для случая по смещению толкателей по оси y , описанного в таблице 3.2.1.3, уравнения следующие (таблица 3.2.1.4):

Таблица 3.2.1.4 – Уравнения при смещении толкателей по оси y

P1	$y = -1E-07x^4 + 1E-05x^3 - 4E-05x^2 - 0,135x + 5,0793$
P2	$y = 6E-13x^6 - 9E-11x^5 + 1E-08x^4 - 2E-06x^3 + 0,0006x^2 - 0,146x + 5,1455$
P3	$y = -2E-14x^6 + 1E-13x^5 + 1E-09x^4 - 3E-07x^3 + 0,0004x^2 - 0,0398x + 5,0395$
P4	$y = -2E-14x^6 + 1E-13x^5 + 1E-09x^4 - 3E-07x^3 + 0,0004x^2 - 0,0398x + 5,0395$
P5	$y = -2E-14x^6 + 1E-13x^5 + 1E-09x^4 - 3E-07x^3 + 0,0004x^2 - 0,0398x + 5,0395$
P6	$y = 1E-12x^6 + 6E-12x^5 + 1E-08x^4 + 2E-06x^3 + 0,0007x^2 + 0,1825x + 4,8169$

Плоскость стола параллельная основанию, вращение по оси Z отсутствует (координата C). Смещаем стол по координате Z на 0,2 мм. Записываем положение толкателей в таблицу 3.2.1.5.

Таблица 3.2.1.5 - Смещение стола по координате Z

X	Y	Z	A	B	C	P1, мм	P2, мм	P3, мм	P4, мм	P5, мм	P6, мм
0	0	0	0	0	0	5,000102	5,000081	5,000064	5,000096	5,000066	5,000054
0	0	5,0	0	0	0	10,000102	10,000081	10,000064	10,000096	10,000066	10,000054
0	0	10	0	0	0	15,000102	15,000081	15,000064	15,000096	15,000066	15,000054
0	0	15	0	0	0	20,000102	20,000081	20,000064	20,000096	20,000066	20,000054
0	0	20	0	0	0	25,000102	25,000081	25,000064	25,000096	25,000066	25,000054
0	0	25	0	0	0	30,000102	30,000081	30,000064	30,000096	30,000066	30,000054
0	0	30	0	0	0	35,000102	35,000081	35,000064	35,000096	35,000066	35,000054
0	0	35	0	0	0	40,000102	40,000081	40,000064	40,000096	40,000066	40,000054
0	0	40	0	0	0	45,000102	45,000081	45,000064	45,000096	45,000066	45,000054
0	0	45	0	0	0	50,000102	50,000081	50,000064	50,000096	50,000066	50,000054
0	0	50	0	0	0	55,000102	55,000081	55,000064	55,000096	55,000066	55,000054
0	0	55	0	0	0	60,000102	60,000081	60,000064	60,000096	60,000066	60,000054
0	0	60	0	0	0	65,000102	65,000081	65,000064	65,000096	65,000066	65,000054
0	0	65	0	0	0	70,000102	70,000081	70,000064	70,000096	70,000066	70,000054
0	0	70	0	0	0	75,000102	75,000081	75,000064	75,000096	75,000066	75,000054

Начальные положения координат рабочего стола представлены на рис. 3.2.1.7.

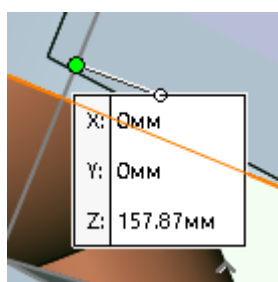


Рисунок 3.2.1.7 - Положения координат рабочего стола при смещении по оси Z.

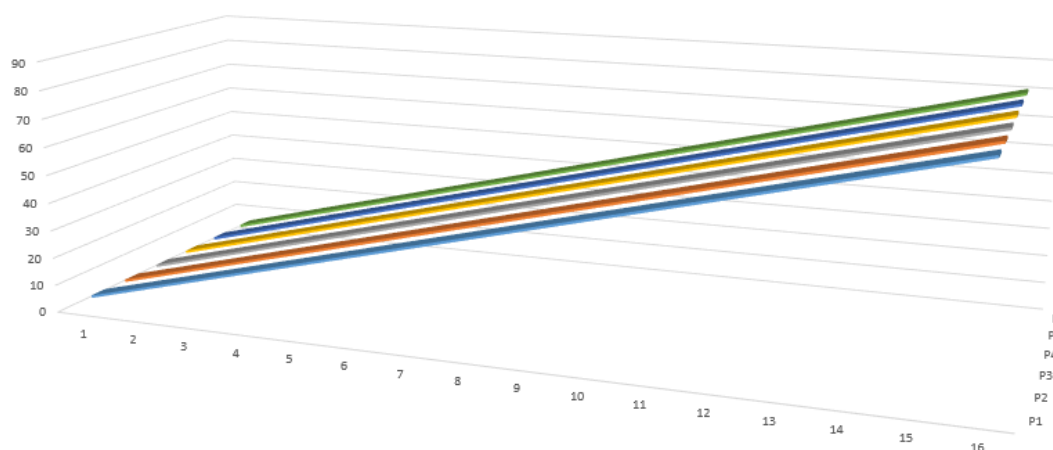


Рисунок 3.2.1.8 - Смещение толкателей по оси Z.

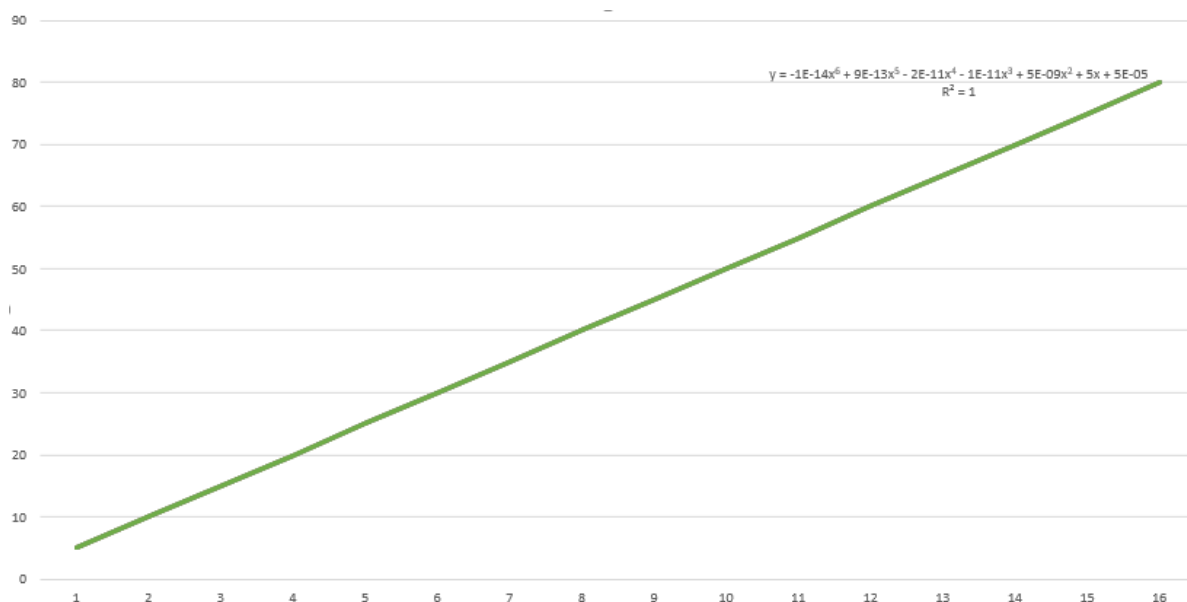


Рисунок 3.2.1.9 - Алгебраические (полиномиальные) уравнения для толкателей для смещения по оси Z.

Для случая по смещению толкателей по оси Z, описанного в таблице 3.2.1.5, уравнения следующие (таблица 3.2.1.6):

Таблица 3.2.1.6 – Уравнения по смещению толкателей по оси Z

P1	$y = -1E-14x^6 + 9E-13x^5 - 2E-11x^4 - 1E-11x^3 + 5E-09x^2 + 5x + 5E-05$
P2	$y = -1E-14x^6 + 9E-13x^5 - 2E-11x^4 - 1E-11x^3 + 5E-09x^2 + 5x + 5E-05$
P3	$y = -1E-14x^6 + 9E-13x^5 - 2E-11x^4 - 1E-11x^3 + 5E-09x^2 + 5x + 5E-05$
P4	$y = -1E-14x^6 + 9E-13x^5 - 2E-11x^4 - 1E-11x^3 + 5E-09x^2 + 5x + 5E-05$
P5	$y = -1E-14x^6 + 9E-13x^5 - 2E-11x^4 - 1E-11x^3 + 5E-09x^2 + 5x + 5E-05$
P6	$y = -1E-14x^6 + 9E-13x^5 - 2E-11x^4 - 1E-11x^3 + 5E-09x^2 + 5x + 5E-05$

Плоскость стола не параллельная основанию, вращение по координате A. Вращаем стол относительно оси X на 0,2 градуса. Записываем положение толкателей в таблицу 3.2.1.7.

Таблица 3.2.1.7 – Положение толкателей при вращении по оси A

X	Y	Z	A	B	C	P1, мм	P2, мм	P3, мм	P4, мм	P5, мм	P6, мм
0	0	162,87	0	0	0	10,000102	10,000081	10,000064	10,000096	10,000066	10,000054
0	0	0	0,2	0	0	10,143198	10,143178	10,092312	9,764916	9,764886	10,092302
0	0	0	0,4	0	0	10,286799	10,286779	10,184440	9,529680	9,529650	10,184430
0	0	0	0,6	0	0	10,430903	10,430883	10,276446	9,294393	9,294363	10,276436
0	0	0	0,8	0	0	10,575506	10,575486	10,368328	9,059057	9,059027	10,368319
0	0	0	1,0	0	0	10,720605	10,720585	10,460086	8,823677	8,823647	10,460076

0	0	0	2,0	0	0	11,453452	11,453432	10,916937	7,646269	7,646239	10,916927
0	0	0	3,0	0	0	12,198296	12,198276	11,370407	6,468406	6,468376	11,370398
0	0	0	4,0	0	0	12,954808	12,954788	11,820294	5,290644	5,290614	11,820284
0	0	0	4,2	0	0	13,107483	13,107462	11,909823	5,055154	5,055124	11,909813
0	0	0	4,4	0	0	13,260609	13,260588	11,999199	4,819696	4,819666	11,999190
0	0	0	4,6	0	0	13,414184	13,414163	12,088421	4,584275	4,584245	12,088411
0	0	0	4,8	0	0	13,568205	13,568185	12,177487	4,348894	4,348865	12,177477
0	0	0	5	0	0	13,722671	13,722651	12,266395	4,113560	4,113531	12,266385
0	0	0	5,2	0	0	13,877578	13,877558	12,355143	3,878277	3,878248	12,355133
0	0	0	5,4	0	0	14,032925	14,032905	12,443731	3,643050	3,643020	12,443721
0	0	0	5,6	0	0	14,188710	14,188689	12,532156	3,407884	3,407854	12,532147
0	0	0	5,8	0	0	14,344929	14,344908	12,620418	3,172784	3,172754	12,620408
0	0	0	6	0	0	14,501580	14,501560	12,708514	2,937754	2,937724	12,708504
0	0	0	6,2	0	0	14,658662	14,658642	12,796443	2,702800	2,702770	12,796433
0	0	0	6,4	0	0	14,816172	14,816151	12,884203	2,467927	2,467897	12,884194
0	0	0	6,6	0	0	14,974107	14,974087	12,971794	2,233139	2,233109	12,971784
0	0	0	6,8	0	0	15,132466	15,132446	13,059213	1,998443	1,998413	13,059203
0	0	0	7	0	0	15,291246	15,291226	13,146459	1,763843	1,763813	13,14645
0	0	0	7,2	0	0	15,450446	15,450425	13,233531	1,529344	1,529314	13,233521
0	0	0	7,4	0	0	15,610062	15,610042	13,320427	1,294952	1,294922	13,320417
0	0	0	7,6	0	0	15,770093	15,770093	13,407145	1,060671	1,060641	13,407135
0	0	0	7,8	0	0	15,930538	15,930517	13,493685	0,826507	0,826478	13,493675
0	0	0	8	0	0	16,091392	16,091372	13,580044	0,592466	0,592436	13,580034
0	0	0	8,2	0	0	16,252656	16,252636	13,666221	0,358552	0,358522	13,666212
0	0	0	8,4	0	0	16,414326	16,414306	13,752216	0,124772	0,124742	13,752206

Начальные положения координат рабочего стола представлены на рис.

3.2.1.10.

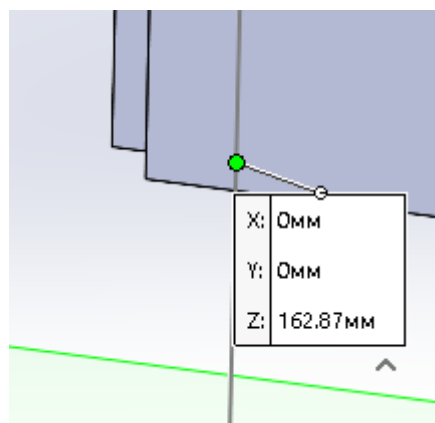


Рисунок 3.2.1.10 - Положения координат рабочего стола при повороте рабочего стола относительно оси x.

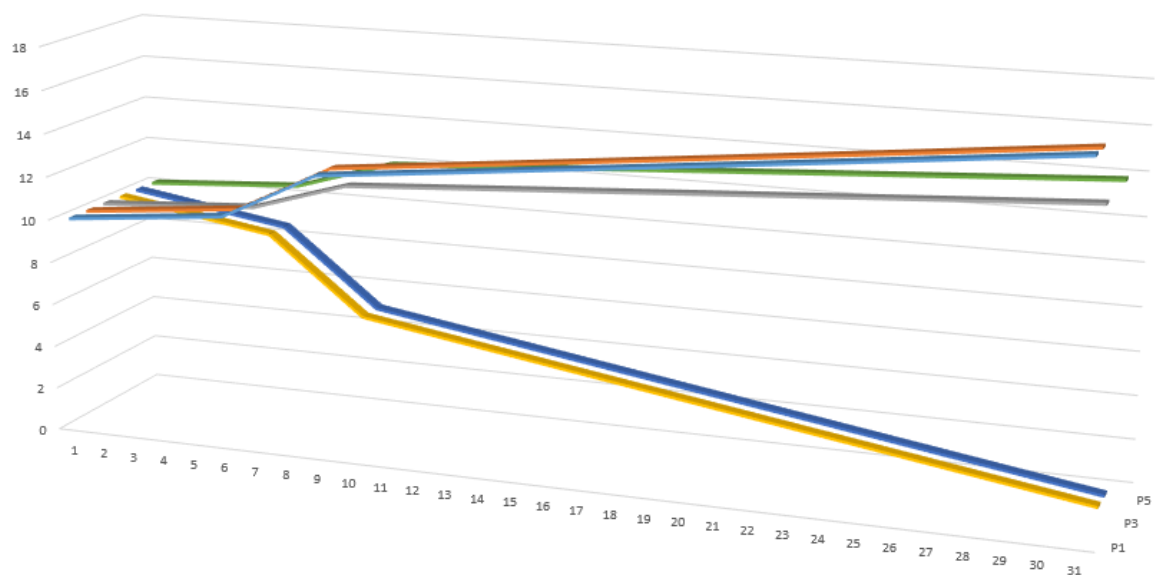


Рисунок 3.2.1.11 - Смещение толкателей при повороте рабочего стола относительно оси X.

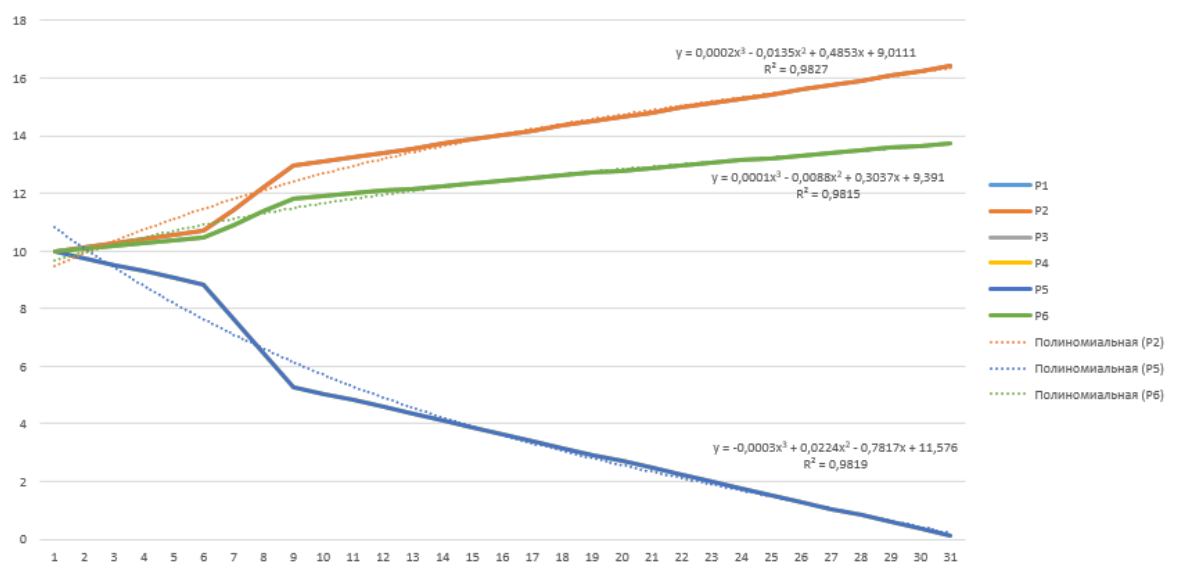


Рисунок 3.2.1.12 - Алгебраические (полиномиальные) уравнения для толкателей для поворота рабочего стола относительно оси X.

Для случая по повороту рабочего стола относительно оси X, описанного в таблице 3.2.1.7, уравнения следующие (таблица 3.2.1.8):

Таблица 3.2.1.8 – Уравнения при повороте рабочего стола относительно оси X

P1	$y = 0,0002x^3 - 0,0135x^2 + 0,4853x + 9,0111$
P2	$y = 0,0002x^3 - 0,0135x^2 + 0,4853x + 9,0111$
P3	$y = 0,0001x^3 - 0,0088x^2 + 0,3037x + 9,391$
P4	$y = -0,0003x^3 + 0,0224x^2 - 0,7817x + 11,576$
P5	$y = -0,0003x^3 + 0,0224x^2 - 0,7817x + 11,576$
P6	$y = 0,0001x^3 - 0,0088x^2 + 0,3037x + 9,391$

Плоскость стола не параллельная основанию, вращение по координате B. Вращаем стол относительно оси y на 0,2 градуса. Записываем положение толкателей в таблицу 3.2.1.9.

Таблица 3.2.1.9 - Положение толкателей при вращении по оси B

X	Y	Z	A	B	C	P1, мм	P2, мм	P3, мм	P4, мм	P5, мм	P6, мм
0	0	162,87	0	0	0	10,000102	10,000081	10,000064	10,000096	10,000066	10,000054
0	0	0	0	0,2	0	10,189015	9,810880	9,781993	9,971059	10,029382	10,218457
0	0	0	0	0,4	0	10,377636	9,621394	9,564276	9,942303	10,058978	10,437194
0	0	0	0	0,6	0	10,565962	9,431626	9,346899	9,913829	10,088851	10,656262
0	0	0	0	0,8	0	10,753990	9,241581	9,129871	9,885637	10,119002	10,875656
0	0	0	0	1,0	0	10,941716	9,051261	8,913198	9,857728	10,149429	11,095373
0	0	0	0	2,0	0	11,875702	8,095675	8,835275	9,722461	10,305678	12,198677
0	0	0	0	3,0	0	12,801657	7,133784	6,766806	9,594402	10,468710	13,309517
0	0	0	0	4,0	0	13,719197	6,166061	5,708325	9,473660	10,638416	14,427468
0	0	0	0	5,0	0	14,627960	5,193001	4,660386	9,360343	10,814692	15,552126
0	0	0	0	6,0	0	15,527603	4,215110	3,623564	9,254559	10,997434	16,683108
0	0	0	0	7,0	0	16,417806	3,232910	2,598454	9,156417	11,186536	17,820054
0	0	0	0	8,0	0	17,298268	2,246939	1,585676	9,066026	11,381896	18,962625
0	0	0	0	9,0	0	18,168712	1,257743	0,585868	8,983496	11,583410	20,110504

Начальные положения координат рабочего стола представлены на рис. 3.2.1.13.

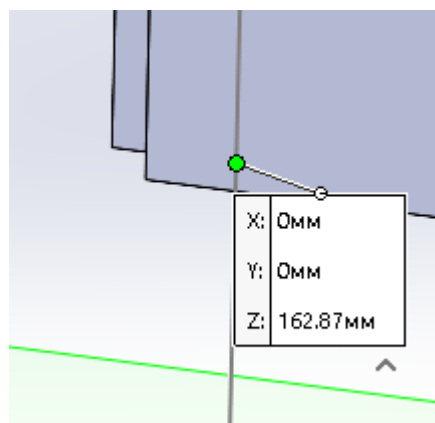


Рисунок 3.2.1.14 - Положения координат рабочего стола при повороте рабочего стола относительно оси у.

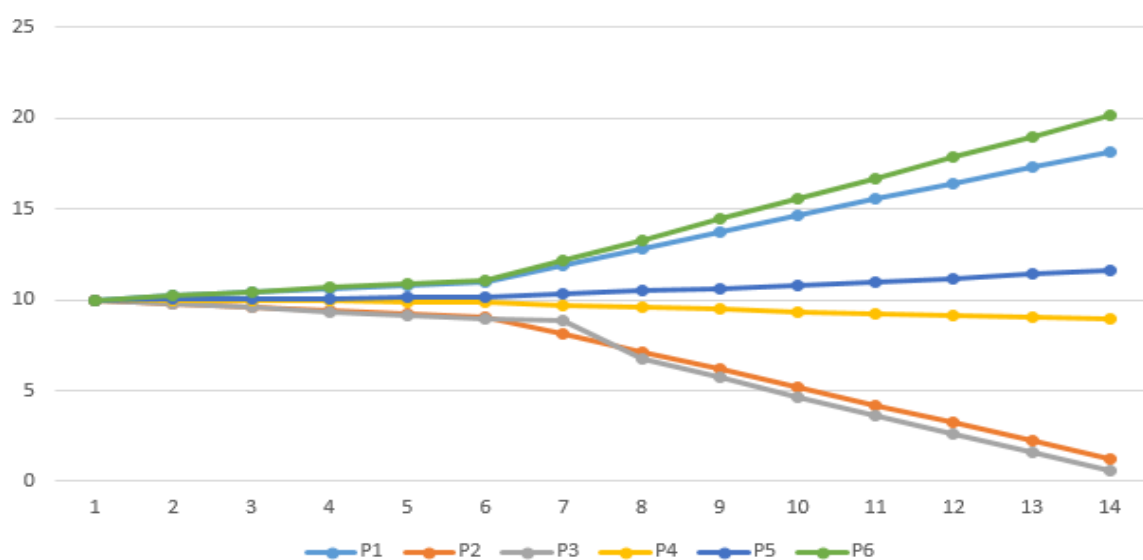


Рисунок 3.2.1.15 - Смещение толкателей при повороте рабочего стола относительно оси у.

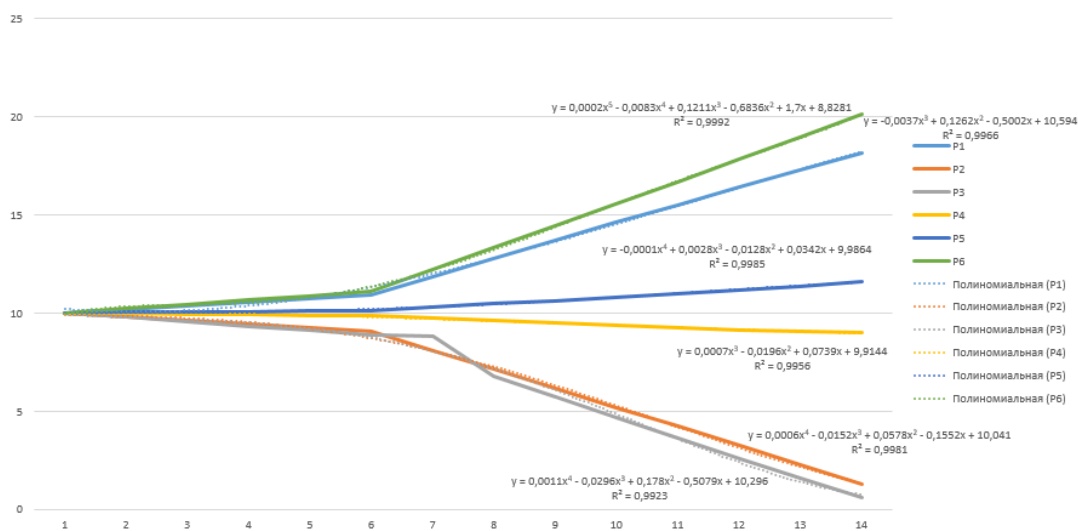


Рисунок 3.2.1.16 - Алгебраические (полиномиальные) уравнения для толкателей для поворота рабочего стола относительно оси y.

Для случая по повороту рабочего стола относительно оси y, описанного в таблице 3.2.1.10, уравнения следующие (таблица 3.2.1.11):

Таблица 3.2.1.11 – Уравнения при повороте рабочего стола относительно оси Y

P1	$y = -0,0037x^3 + 0,1262x^2 - 0,5002x + 10,594$
P2	$y = 0,0006x^4 - 0,0152x^3 + 0,0578x^2 - 0,1552x + 10,041$
P3	$y = 0,0011x^4 - 0,0296x^3 + 0,178x^2 - 0,5079x + 10,296$
P4	$y = 0,0007x^3 - 0,0196x^2 + 0,0739x + 9,9144$
P5	$y = -0,0001x^4 + 0,0028x^3 - 0,0128x^2 + 0,0342x + 9,9864$
P6	$y = 0,0002x^5 - 0,0083x^4 + 0,1211x^3 - 0,6836x^2 + 1,7x + 8,8281$

Поворот вокруг координаты C – не рассматривался.

Также было выполнено исследование по изменению положения координат рабочего стола по двум координатам X и Y – когда делается не угол 45 градусов, а угол 30 и 60 градусов.

Плоскость стола параллельная основанию, вращение по оси Z отсутствует (координата C). Смещаем стол по координате x и на 0,87(шаг 0,87) мм, по y на

0,5 мм (шаг 0,5) – расточение по диагонали 1 мм соотношение углов 30 градусов и 60 градусов. Записываем положение толкателей в таблицу 3.2.1.12.

Таблица 3.2.1.12 – Положение толкателей при перемещении толкателей по координатам X и Y.

X	Y	Z	A	B	C	P1, мм	P2, мм	P3, мм	P4, мм	P5, мм	P6, мм
0	0	162,87	0	0	0	10,000102	10,000081	10,000064	10,000096	10,000066	10,000054
0,87	0,5	0	0	0	0	10,204861	9,097703	10,738535	10,738568	9,097688	10,204813
1,74	1	0	0	0	0	10,429112	8,227921	11,506510	11,506543	8,227906	10,429064
2,58	1,5	0	0	0	0	10,673103	7,389230	12,305306	12,305339	7,389215	10,673305
3,45	2	0	0	0	0	10,937103	6,580263	13,136378	13,136412	6,580248	10,937059
4,32	2,5	0	0	0	0	11,221424	5,799778	14,001340	14,001375	5,799764	11,221375
5,19	3	0	0	0	0	11,521701	5,049725	14,899270	14,894951	5,051432	11,527659
6,06	3,5	0	0	0	0	11,850648	4,320865	15,839311	15,837776	4,321452	11,852739
6,93	4	0	0	0	0	12,201173	3,617527	16,819516	16,820876	3,617022	12,199346
7,8	4,5	0	0	0	0	12,573716	2,938827	17,842451	17,846834	2,937255	12,567916
8,67	5	0	0	0	0	12,968762	2,283952	18,911031	18,918583	2,281334	12,958927
9,54	5,5	0	0	0	0	13,386839	1,652148	20,028595	20,039483	1,648506	13,372899
10,41	6	0	0	0	0	13,828524	1,042719	21,198992	21,213406	1,038072	13,810402
11,28	6,5	0	0	0	0	14,294448	0,455022	22,426695	22,444863	0,449386	14,272060

Начальные положения координат рабочего стола представлены на рис. 3.2.1.17.

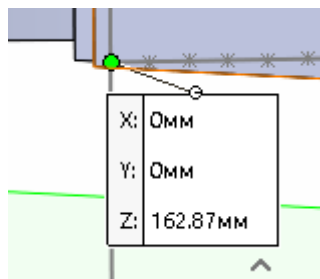


Рисунок 3.2.1.17 - Положения координат рабочего стола при смещении рабочего стола одновременно по оси x и y.

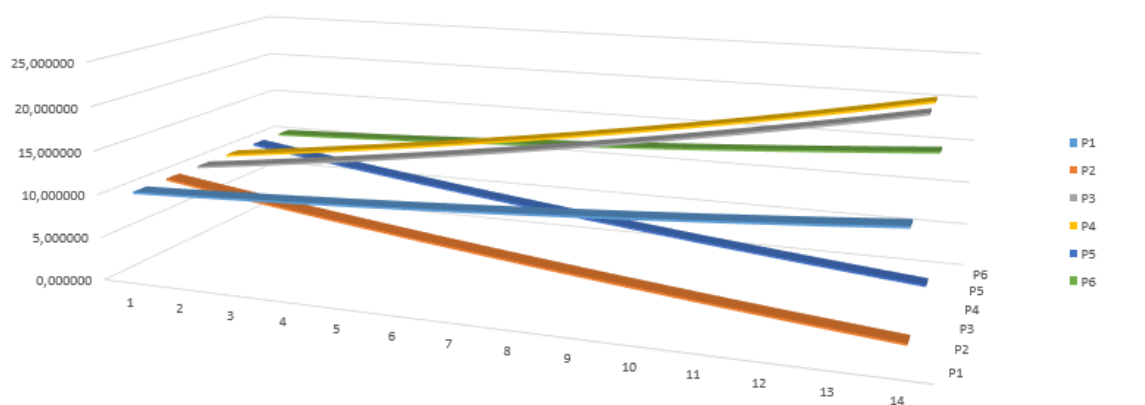


Рисунок 3.2.1.18 - Смещение толкателей по двум координатам.

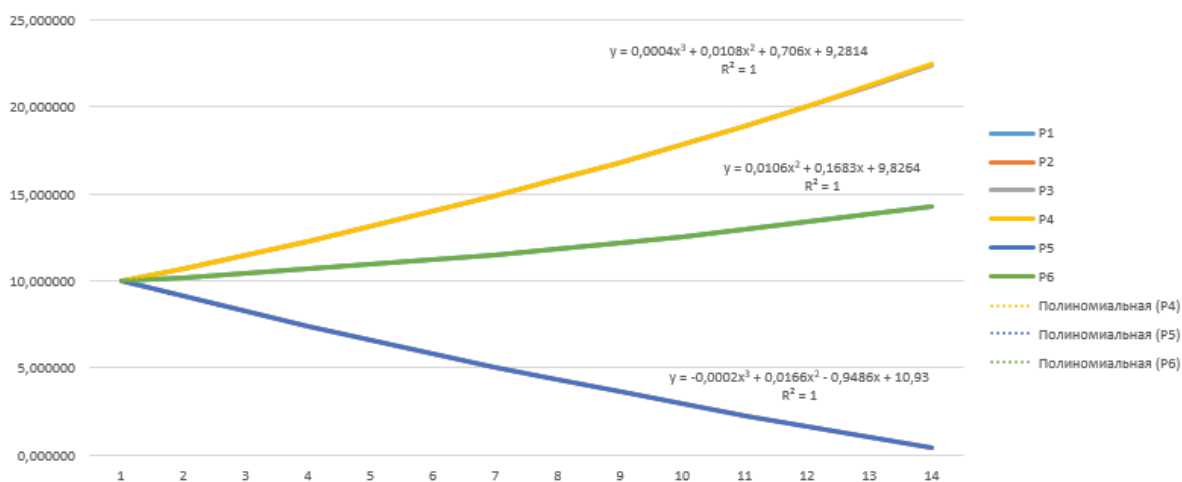


Рисунок 3.2.1.19 - Алгебраические (полиномиальные) уравнения для толкателей при смещении рабочего стола одновременно по оси x и y.

Для случая при смещении рабочего стола одновременно по оси x и y, описанного в таблице 3.2.1.12, уравнения следующие (таблица 3.2.1.13):

Таблица 3.2.1.13 – Уравнения при смещении рабочего стола по оси X и

Y

P1	$y = 0,0106x^2 + 0,1683x + 9,8264$
P2	$y = -0,0002x^3 + 0,0166x^2 - 0,9486x + 10,93$
P3	$y = 0,0004x^3 + 0,0108x^2 + 0,706x + 9,2814$
P4	$y = 0,0004x^3 + 0,0108x^2 + 0,706x + 9,2814$
P5	$y = -0,0002x^3 + 0,0166x^2 - 0,9486x + 10,93$
P6	$y = 0,0106x^2 + 0,1683x + 9,8264$

3.2.2 Среднее значение перемещения толкателей

В таблице 3.2.2.1 представлены данные средних значений перемещения толкателей при смещении стола.

Таблица 3.2.2.1 Среднее значение перемещения толкателей при смещении стола.

Смещение по коорд. X	Смещение по коорд. Y	Смещение по коорд. A	Смещение по коорд. B	Смещение по коорд. X и Y
0,126516	5,000077	10,000077	10,000077	10,000077
0,253031	-1,544230	3,490198	0,145487	3,948564
0,379562	-1,381924	3,647186	0,290973	4,569234
0,506119	0,223780	3,804319	3,552087	5,196435
0,632709	-1,177787	3,961593	0,581927	5,831074
0,759342	-1,055939	4,119005	0,727389	6,474329
0,886025	-0,934227	4,908040	1,287774	7,123737
1,012767	-0,812642	5,700099	2,180815	7,789693
1,139576	-0,691176	6,494819	2,906173	8,467727
1,266462	-0,569820	6,654051	3,630175	9,159139
1,393432	-0,448565	6,813371	4,352485	9,865336
1,520496	-0,327406	6,972777	5,072769	10,587860
1,647662	-0,206324	7,132266	5,790691	11,328422
1,774939	-0,085320	7,291835	6,505920	12,088943
1,902335	0,035618	7,451481		
2,029860	0,156499	7,611202		
2,157523	0,277333	7,770994		
2,285331	0,398129	7,930854		
2,413295	0,518896	8,090780		
2,541424	0,639644	8,250768		
2,669728	0,760383	8,410816		
2,798215	0,881121	8,570921		
2,926894	1,001870	8,731079		
3,055776	1,122640	8,891288		
3,184871	1,243440	9,051544		

Продолжение таблицы 3.2.2.1

3,314188	1,364281	9,211846		
3,443736	1,485174	9,372192		
3,573527	1,606129	9,532572		
3,703571	1,727157	9,692990		
	1,848270	9,853442		
	1,969479	10,013923		
	2,090796			
	2,212232			
	2,333799			
	2,455510			
	2,577377			
	2,699413			
	2,821632			
	2,944047			
	3,066672			

Ниже представлены графики значения толкателей при смещении по каждой координате.

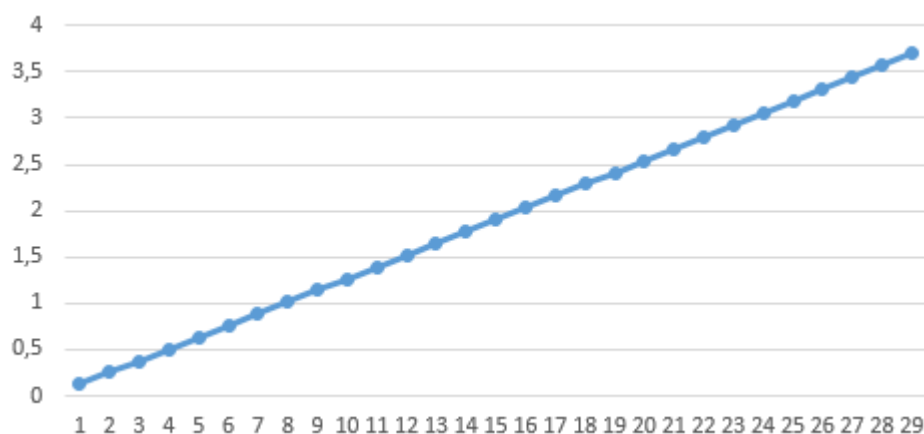


Рисунок 3.2.2.1 – Среднее значение толкателей при смещении по координате X

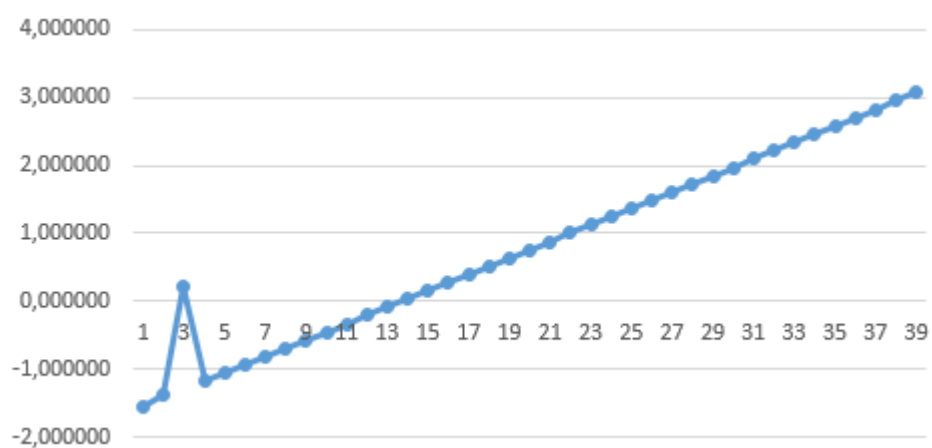


Рисунок 3.2.2.2 – Среднее значение толкателей при смещении по координате Y

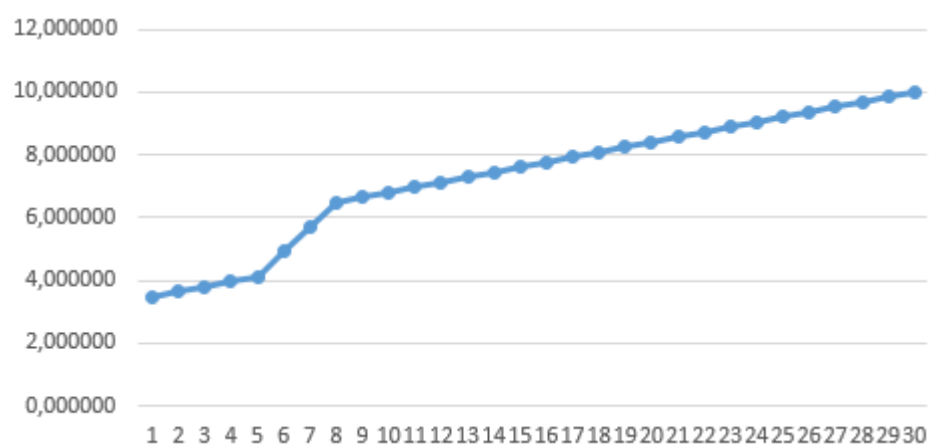


Рисунок 3.2.2.3 – Среднее значение толкателей при смещении по координате A

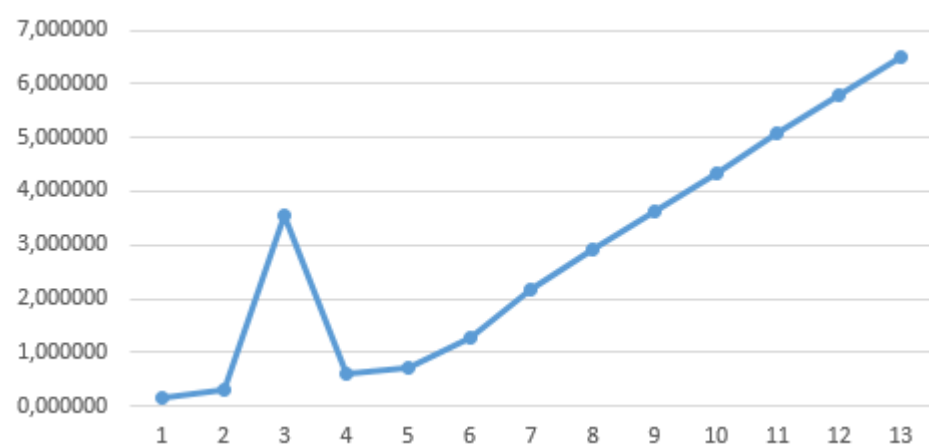


Рисунок 3.2.2.4 – Среднее значение толкателей при смещении по координате B

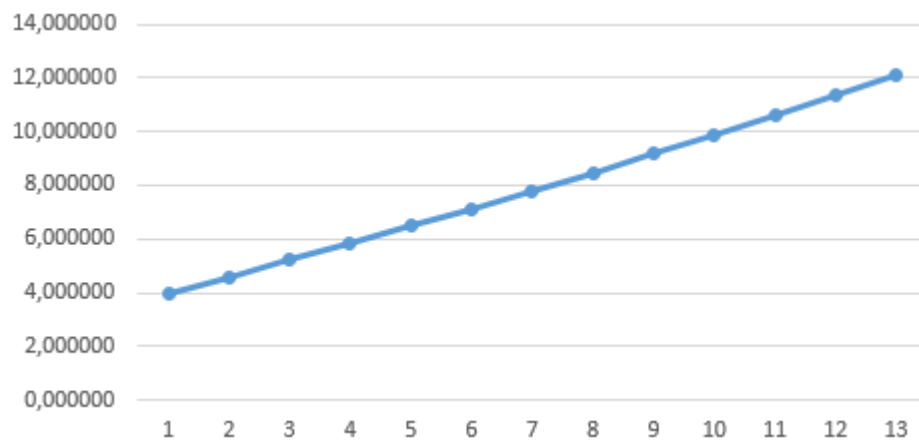


Рисунок 3.2.2.5 – Среднее значение толкателей при смещении по координате X и Y

3.3 Получение уравнений движения

X, Y, Z – координаты смещения центральной точки по осям.

A – координата поворота стола относительно оси X.

B – координата поворота стола относительно оси Y.

C – координата поворота стола относительно оси Z. (заблокирована и не рассматривается)

Начальные координаты точек X, Y, Z представлены на рисунке 3.3.1.

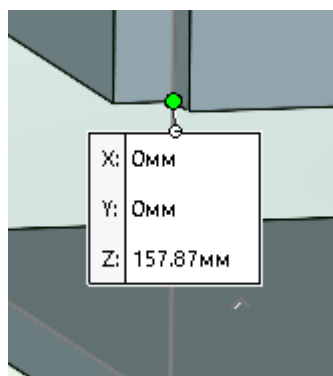


Рис. 3.3.1 - Начальные координаты

Таблица 3.3.1 - Значения параметров

X	Y	Z	R	φ_x	φ_y	P1	P2	P3	P4	P5	P6
0	0	157,87	67,683085	77,195720°	12,804290°	5,000102	5,000081	5,000064	5,000096	5,000066	5,000054
1	0	0	67,911711	76,373003°	13,627007°	5,656730	4,369707	5,315712	5,966839	4,068614	4,704704

Проекция для оси X и Y представлена на рисунке ниже. Из данного рисунка видно, что для перемещения по оси X необходимо умножать на $\cos$ угла α . При перемещении по оси Y необходимо умножать на $\sin$ угла α .

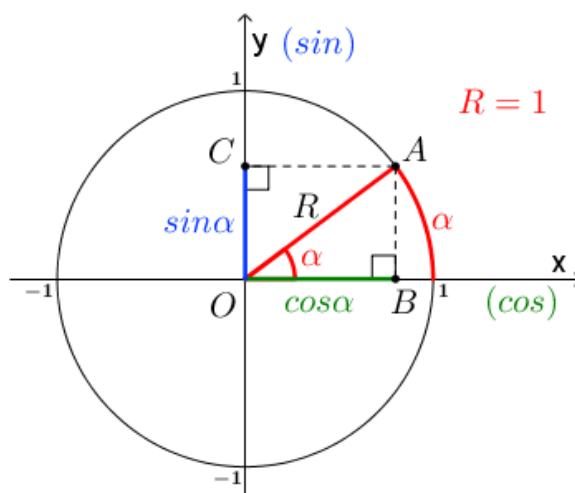
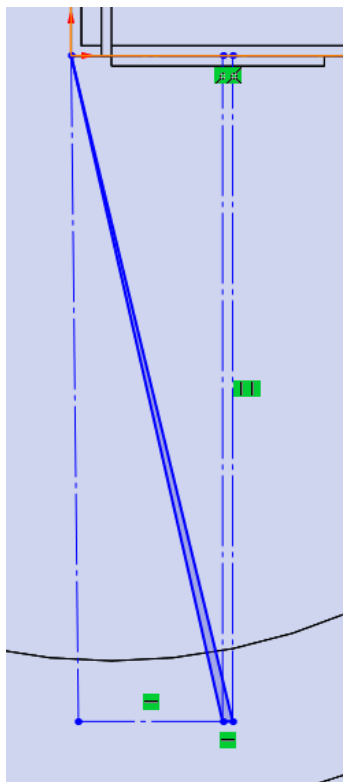


Рис. 3.3.2 – Тригонометрический круг

3.3.1. Схема проекций



Уравнения

$$x_j = R \cdot \cos \varphi_j$$

$$y_j = R \cdot \sin \varphi_j$$

На рис. 3.3.1.3 представлена проверка по формулам.

$67,683085 \cdot \cos(77,195720^\circ) = 15$	$67,683085 \cdot \sin(77,195720^\circ) = 66$
$67,911711 \cdot \cos(76,373003^\circ) = 16$	$67,911711 \cdot \sin(76,373003^\circ) = 66$

Рис. 3.3.1.3 – Проверка по формулам

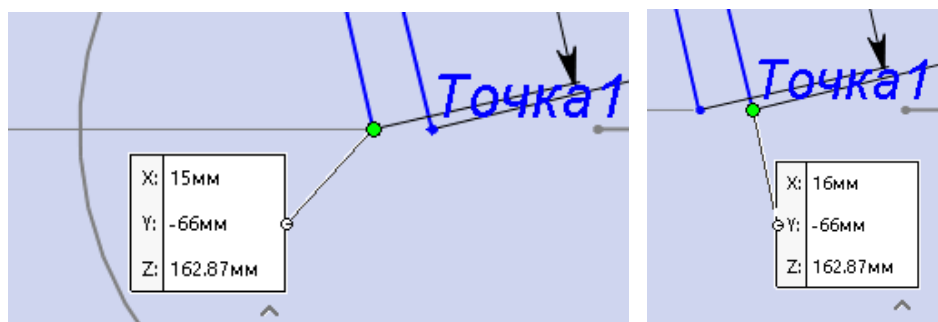


Рис. 3.3.1.4 - Координаты точек

Группа 1

$$x_1 = R \cdot \cos\varphi_1$$

$$y_1 = R \cdot \sin\varphi_1$$

Группа 2

$$x_2 = -(R \cdot \cos\varphi_2)$$

$$y_2 = R \cdot \sin\varphi_2$$

Группа 3

$$x_3 = -(R \cdot \cos\varphi_3)$$

$$y_3 = -(R \cdot \sin\varphi_3)$$

На рис. 3.3.1.5 представлены шесть толкателей. Для каждого толкателя представлены знаки в соответствии с тригонометрическим кругом.

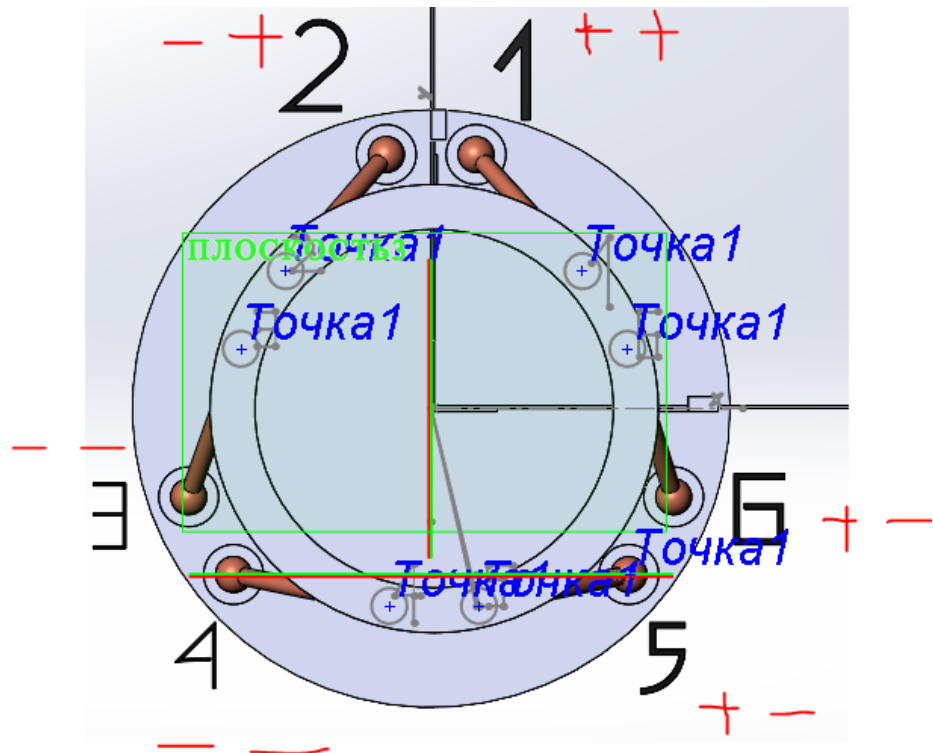


Рис. 3.3.1.5 - Знаки для шести толкателей.

Группа 4

$$x_4 = -(R \cdot \cos\varphi_4)$$

$$y_4 = -(R \cdot \sin\varphi_4)$$

Группа 5

$$x_5 = R \cdot \cos\varphi_5$$

$$y_5 = -(R \cdot \sin\varphi_5)$$

Группа 6

$$x_6 = R \cdot \cos\varphi_6$$

$$y_6 = -(R \cdot \sin\varphi_6)$$

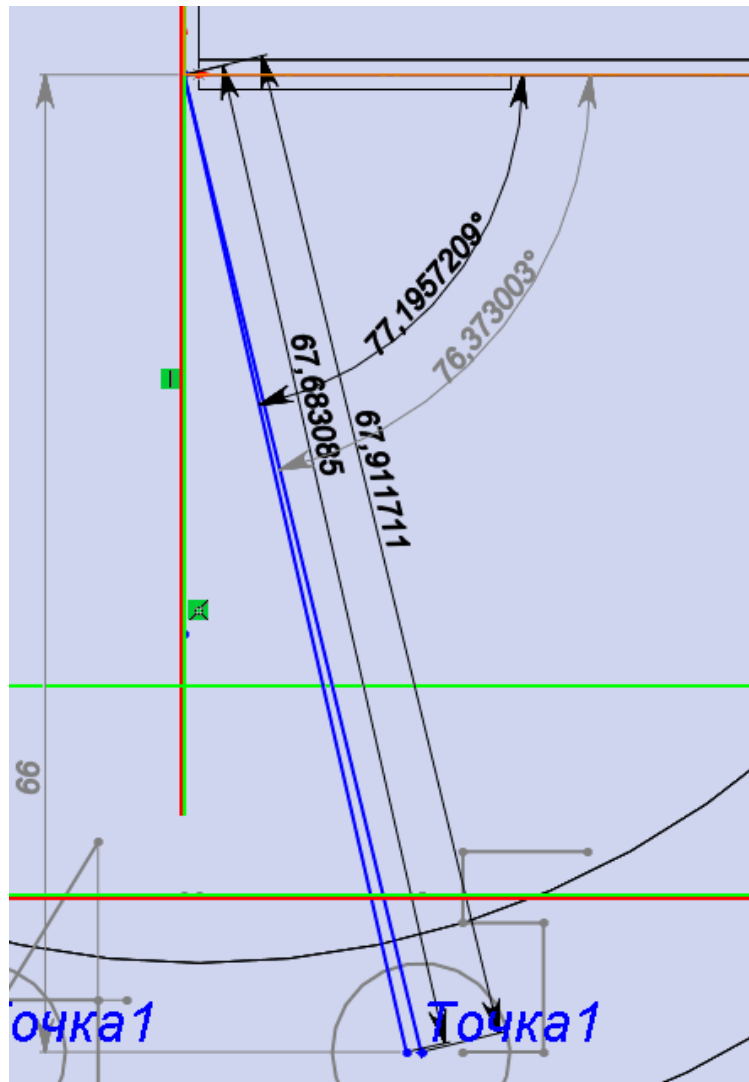


Рис.3.3.1.6 - Расстояние между двумя точками

Известны начальные координаты

$X = 15$; $Y = -66$.

Необходимо переместить на координаты

$X_2 = 16$; $Y_2 = -66$.

$$Delta = \sqrt{(X_2 - X)^2 + (Y_2 - Y)^2}$$

$$1 = \sqrt{(16 - 15)^2 + (-66 - (-66))^2}$$

Ниже приведены уравнения для перемещения толкателей по оси Z. Смещали рабочий стол по координате X на 1 мм. (1; 2; 3; 4;). Разница в координатах приведена ниже:

$$0,931452 - 0,897933 = 0,033519 \text{ мм}$$

$$0,897933 - 0,86601 = 0,031923 \text{ мм}$$

$$0,86601 - 0,835531 = 0,030479 \text{ мм}$$

Смещение толкателя и замер расстояния в программном продукте SolidWorks представлена на рис. 3.3.1.7.

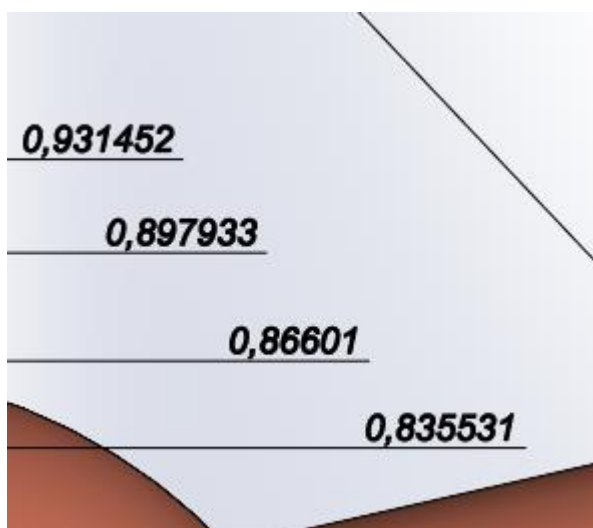


Рис. 3.3.1.7 - Размеры расстояния в программе SolidWorks

Уравнение для перемещения толкателей по оси Z:

$$P_j = L \cdot \cos \varphi_j$$

$$98,0001 - 97,0686 = 0,9315$$

$$97,0686 - 96,1707 = 0,8979$$

$$96,1707 - 95,3047 = 0,866$$

$$95,3047 - 94,4691 = 0,8356$$

Ниже представлен рисунок 3.3.1.8 с проверкой по формулам.

$118,215188 \cdot \cos(34,004131^\circ) = 98,0001$
$117,444172 \cdot \cos(34,258264^\circ) = 97,0686$
$116,703118 \cdot \cos(34,506425^\circ) = 96,1707$
$115,990509 \cdot \cos(34,748764^\circ) = 95,3047$
$115,304971 \cdot \cos(34,985409^\circ) = 94,4691$

Рис. 3.3.1.8 - Проверка уравнений для перемещения по координате Z

Это означает что бы сместить точку на столе по координате X на 1 мм, необходимо толкатель опустить на 0,9315 мм ниже, что бы была координата X ровняется 2 мм, необходимо сместить еще на 0,8979 мм ниже от предыдущей. На рис. 3.3.1.9 представлено перемещение по оси Z рабочего стола на 1 мм.

98,000066
97,068615
96,170682

Рис. 3.3.1.9 – Перемещение толкателей при смещении стола на 1 мм по Z

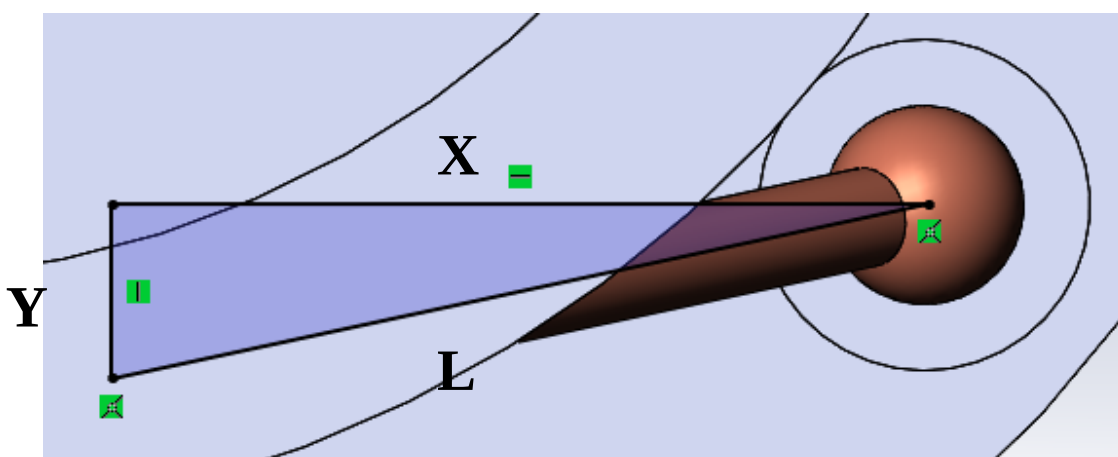


Рисунок 3.3.1.10 – Треугольник для расчёта зависимости L

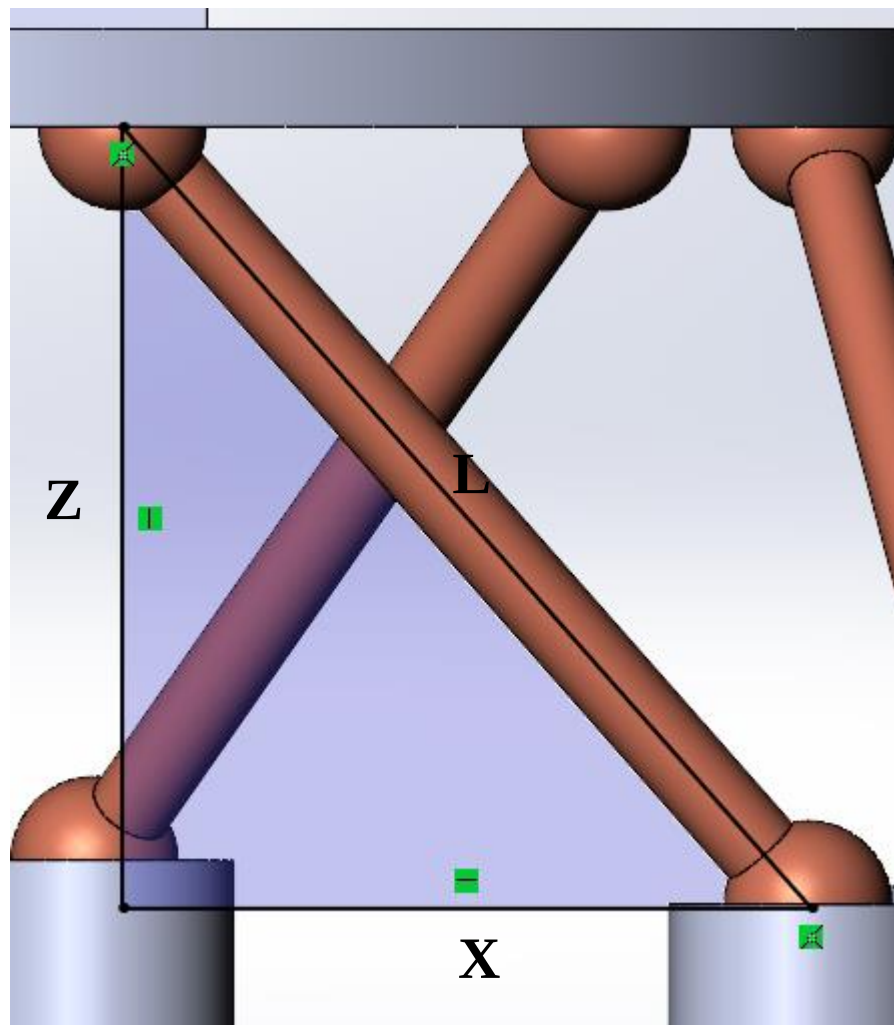


Рисунок 3.3.1.11 – Представление зависимости гипотенузы L от катетов X и Y

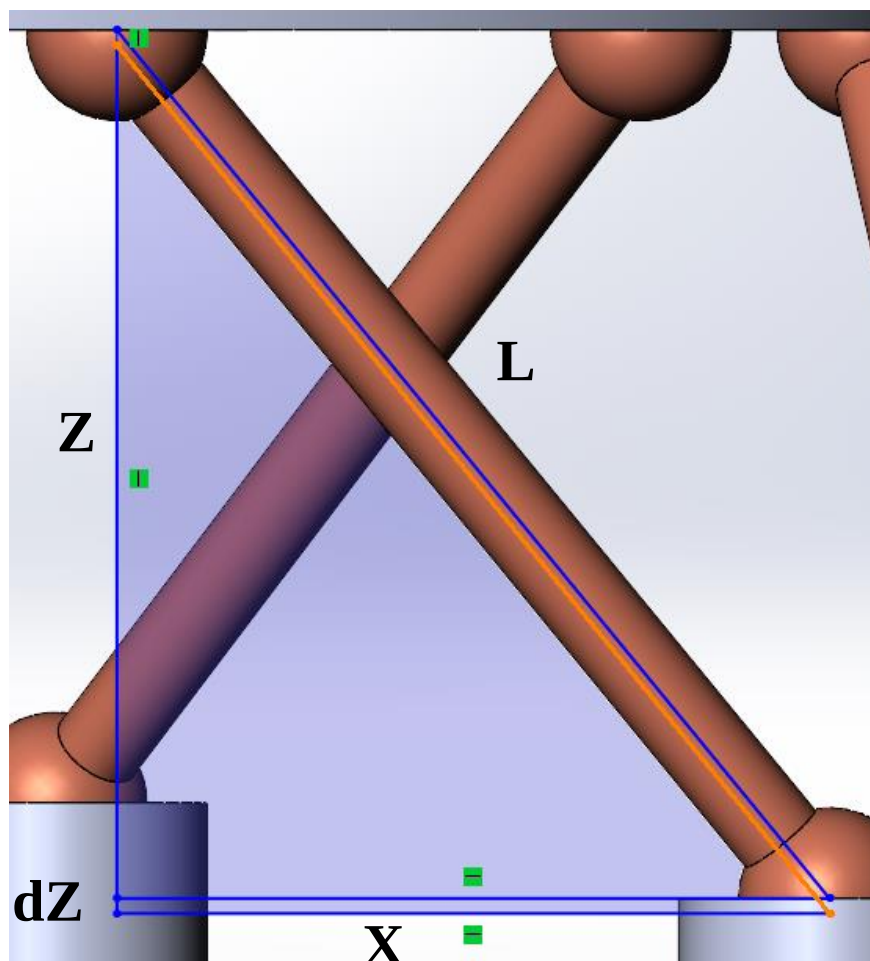


Рисунок 3.3.1.12 – Визуальное представление зависимости dZ

$$dZ = \sqrt{(X_{\text{подв}} - X_{\text{не подв}})^2 + (Z_{\text{подв}} - Z_{\text{не подв}})^2}$$

Для перемещения толкателей используется шарико-винтовая пара (ШВП) модели SFU1605. Характеристики ШВП представлены ниже:

Диаметр винта: 16 мм.

Шаг на оборот: 5 мм.

ШВП будет вращаться за счёт шагового двигателя серии FL86STH156 соединённого при помощи зубчатого ремня. Характеристики шагового двигателя представлены ниже:

Угловой шаг: 1.8.

Количество шагов на оборот для двигателя: 200 шагов/оборот.

Формула расчета винтовой передачи, в числителе – количество шагов на оборот, в знаменателе – перемещение за оборот.

$$T_{\text{шд}} = \frac{S_{\text{шд}} \cdot F_{\text{шд}}}{P_p}$$

где:

- $T_{\text{п}}$ – точность перемещения, шаг/мм
- $S_{\text{шд}}$ — количество шагов на оборот для двигателя (в пример 200)
- $F_{\text{шд}}$ — микрошаг (1, 2, 4, 8 и т. д.)
- P_p — шаг винта

Драйвер поддерживает деление шага: 1; 1/2; 1/4; 1/8; 1/16; 1/32. Берём 1.

$$T_{\text{шд}} = \frac{200 \cdot 1}{5} = 40 \text{ шагов/мм}$$

Другими словами, для того чтобы переместить толкатель на 1 мм, нам нужно сделать 40 шагов двигателя. В таблице 3.3.1.1 представлена зависимость перемещения толкателя от двигателя

Таблица 3.3.1.1 – Зависимость перемещения толкателя и двигателя

миллиметры	шаги
1	40
0,9315	37
0,8979	36
0,866	(34,64)
0,8356	(33,424)

3.3.2. Взаимосвязь ускорения, скорости и перемещения при синусоидальной вибрации

Гармоническая (синусоидальная) вибрация – колебания при которых, значение колеблющейся величины (характеризующая вибрацию) изменяется во времени по закону:

$$U(t) = A \sin(\omega t + \varphi),$$

где t – время, A , ω , φ - постоянные параметры (A - амплитуда, $(\omega t + \varphi)$ - фаза, φ - начальная фаза, ω - угловая частота).

Основными параметрами вибрации являются виброперемещение, виброскорость, виброускорение и частота. Виброперемещение $s(t)$ называют составляющую перемещения, описывающую вибрацию. Первая производная $v(t) = ds(t)/dt$ виброперемещения является виброскоростью, а вторая – виброускорение $a(t) = d^2s(t)/dt^2$.

При проведении испытаний с использованием гармонического сигнала (например, при проверке вибродатчиков) важно знать взаимосвязь виброперемещения, виброскорости и виброускорения. Обозначим амплитуду виброперемещения — S , амплитуду виброскорости — V , а амплитуду виброускорения — A , тогда:

$$A = \frac{S \cdot (2\pi f)^2}{10^3} \quad V = \frac{S \cdot 2\pi f}{10} \quad S = \frac{A \cdot 10^3}{(2\pi f)^2}$$

где f — частота в Гц;

A — виброускорение в м/с^2

V — виброскорость в см/с

S — виброперемещение в мм .

Например, на частоте 50 Гц перемещению 1 мм соответствует скорость 31 см/с и ускорение 99 м/с^2 , что равняется 10 g.

3.3.3. Три частотных интервала

При этом воздействие на толкатели оказывается парно (одна пара работает в низкочастотном диапазоне с большими амплитудами, вторая в среднечастотном, третья в высокочастотном). Максимальная амплитуда 3 мм, минимальная 0.1 мм частотный диапазон от 15 до 50 Гц. Временной промежуток воздействия 20..30 минут. Любая точка, которая находится на столе и соединена с толкателем может перемещаться не более 3 мм. В таблице 3.3.1.2 представлены зависимости от изменения частоты на ускорение, а также перемещения и скорости. Для наглядности было добавлено ускорение свободного падения g .

Таблица 3.3.1.2 – Частотные диапазоны работы

Частота, Гц	Перемещение, мм	Скорость, см/с	Ускорение, м/с ²	Наглядность, g
50	1	31	99	10
50	0,9315	29	92	9,2
50	0,8979	28	88	8,8
50	0,866	27	85	8,5
50	0,8356	26	82	8,2
30	1	18,85	35,5	3,5
30	0,9315	17,5	33	3,3
30	0,8979	16,9	31,8	3,2
30	0,866	16,3	30,7	3
30	0,8356	15,7	29,7	2,9
30	3	56,5	106,6	10,6
35	2	44	96,7	9,6

Как видно из таблицы 3.3.1.2 значение свободного падения не выходит за допустимые пределы. Ниже представлен рис. 3.3.1.10

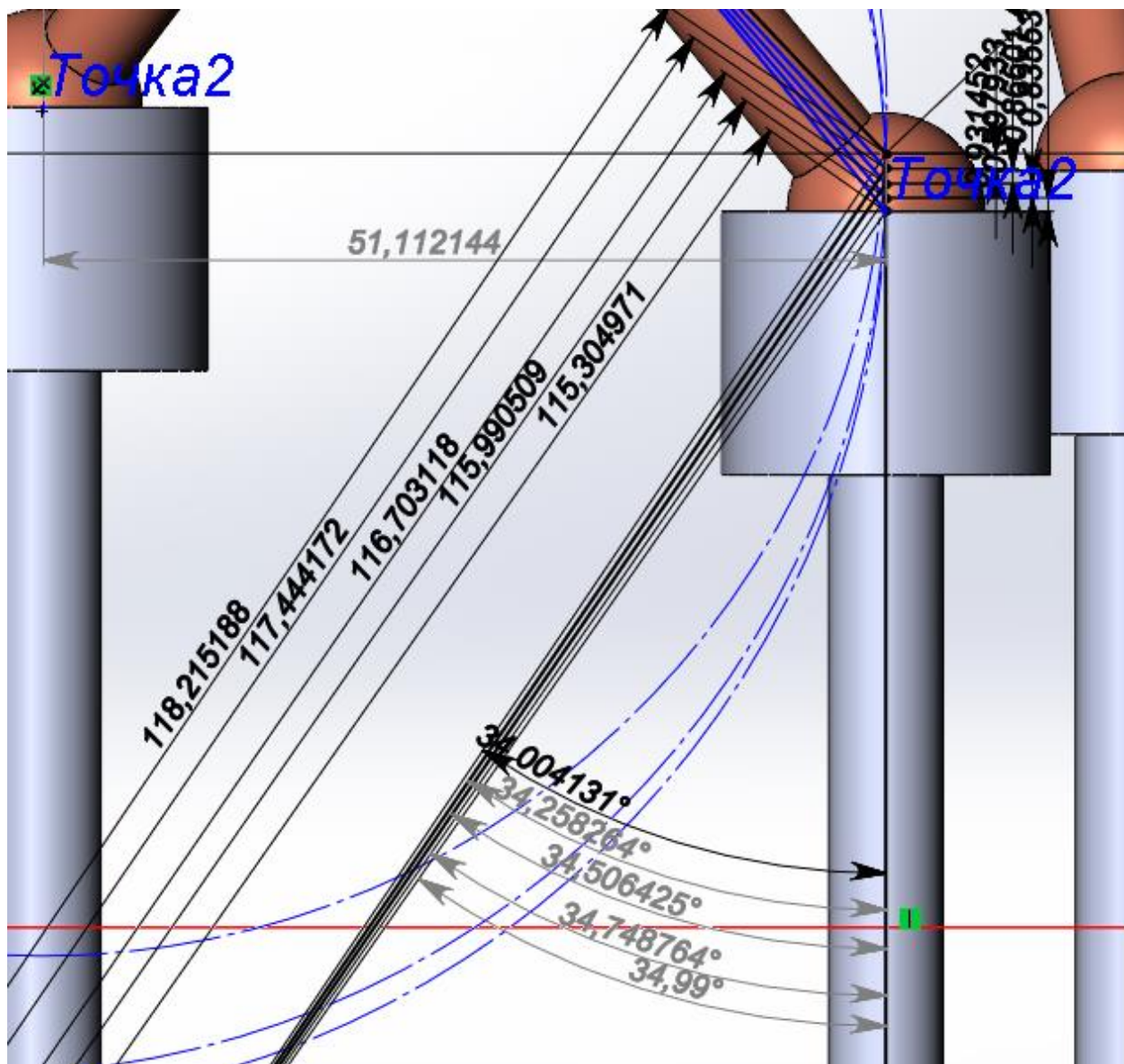


Рисунок 3.3.1.10 – Значения перемещений толкателя

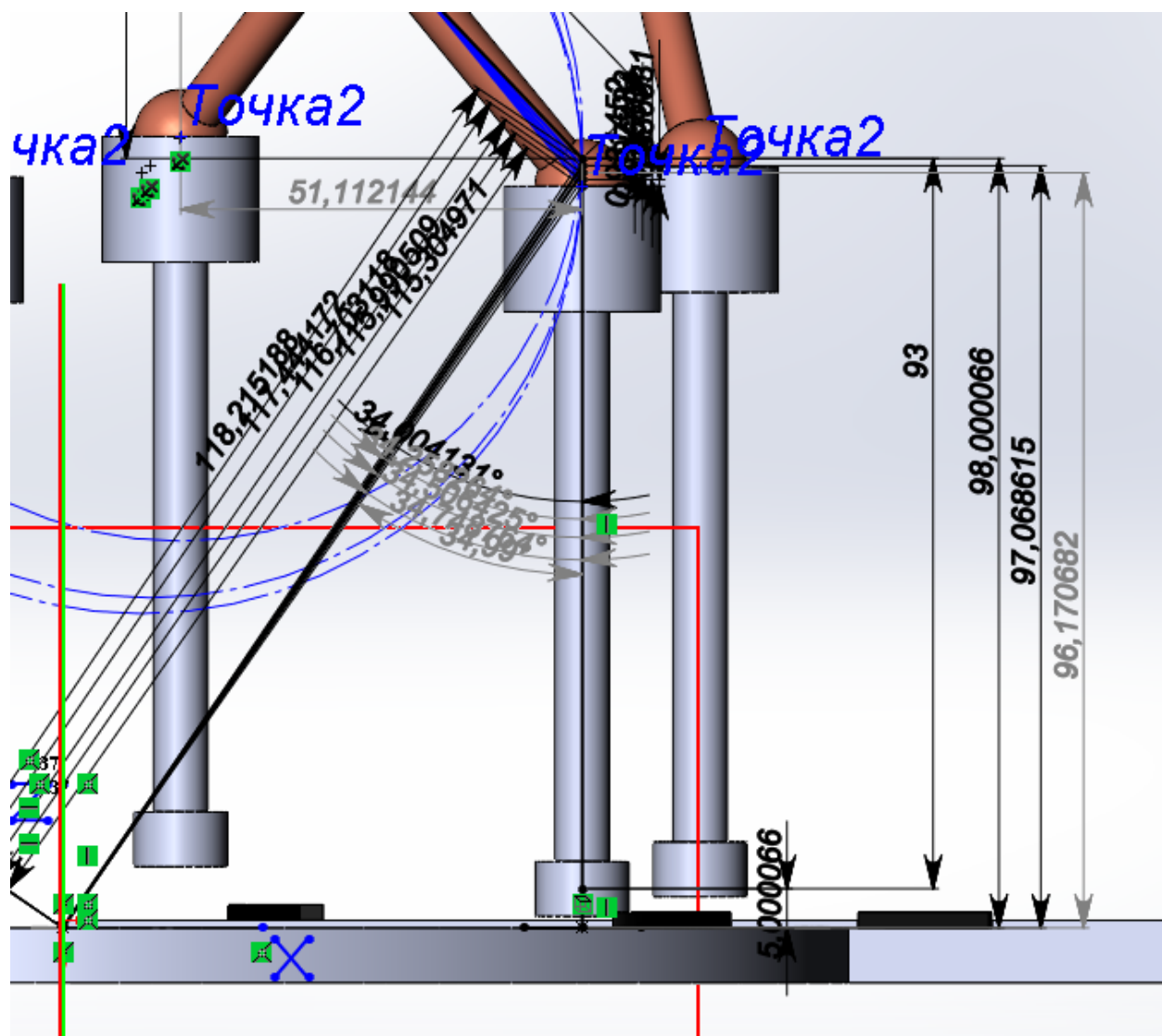


Рисунок 3.3.1.10 – Изменение величины высоты толкателя

3.4 Выводы

Регрессивные отношения, это точное геометрическое решение задачи. Когда записывается связь между перемещением толкателя (P_i) и положение на точке стола - получается следующая картина. Что в общем векторе P присутствуют положения шести толкателей. И для того что бы придать положение одной (общей) точки механизма (например, центр подвижного стола) по координатам x y z . А если для плоскости, то еще и координаты A , B и C . Нужно задать вполне определённые положения толкателей. Такие положения каждого толкателя – дают единственное положение стола (x , y , z , A , B , C) при этих соотношениях. Других положений стола при этих соотношениях не будет. Представим точку в центре стола в виде сферы (потому что точка есть точка, она не может быть ориентирована в пространстве), у которой экваториальная плоскость совпадает с плоскостью стола. А плоскость стола определена шестью точками (шарнирами), рисунок 3.4.1.

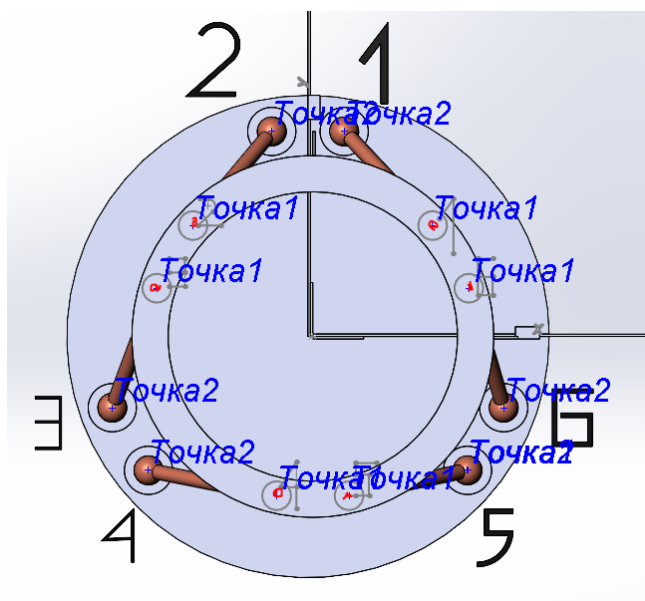


Рисунок 3.4.1 – Красными точками выделены проекции шарниров

Точка M (x , y , z , A , B , C) – центр подвижного стола

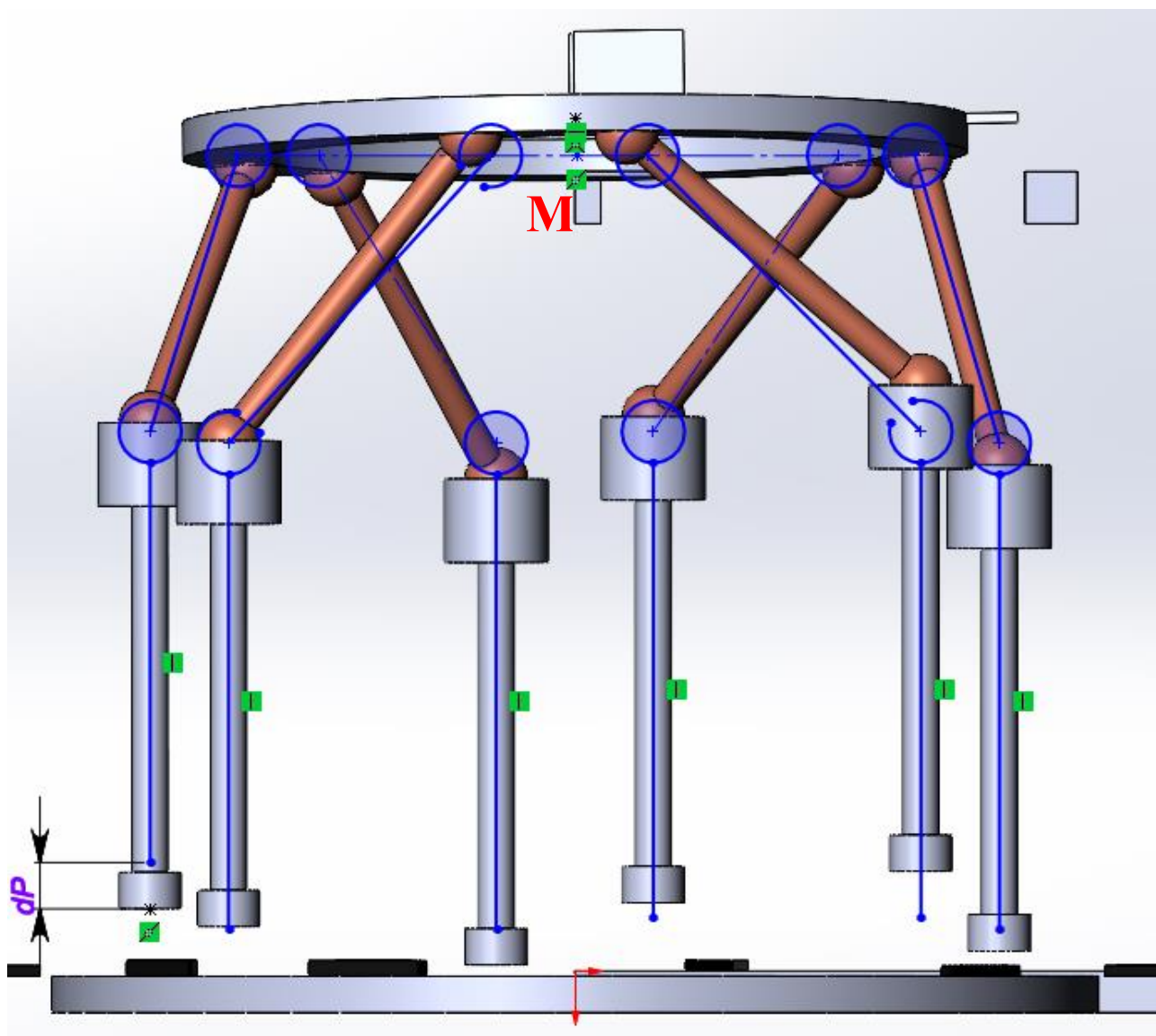


Рисунок 3.4.2 – Положение верхнего стола

Но когда стол занимает положение как на картинке. Координата X , координата Y , координата Z , A , B , C – определяются суммой перемещений толкателей $p_1 + p_2 + p_3 + p_4 + p_5 + p_6$. И разделив на 6 и получив некую среднюю координату, можно сравнить эту среднюю координату с зависимостью между перемещениями. Возможно оценить – какова суммарная координата по перемещению одной или нескольких координат. Параллельные перемещения суммируются. Соответственно если среднее значения p большое число – то и вибрации максимальные.

При движении нечётных толкателей (1, 3, 5) – стол вращается по координате C по часовой стрелке. Чётные толкатели (2, 4, 6) – против часовой

стрелки. Движение по координате А (наклон плоскости стола относительно оси x) – происходит значительное перемещение толкателей 4 и 5. Движение по координате В (наклон плоскости стола относительно оси y) – происходит значительное перемещение толкателей 2, 3 и 6. Жёсткость и устойчивость механизма максимальная, когда перемещение толкателей, создающих амплитуды перемещения минимальны. И наоборот устойчивость и жёсткость минимальны, когда некоторые толкатели перемещаются на максимальное расстояние.

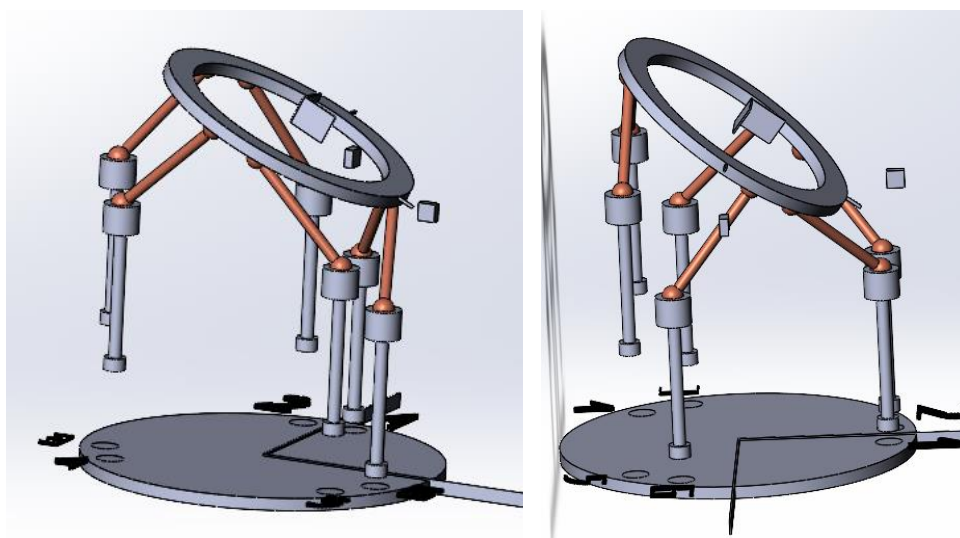


Рисунок 3.4.3 – Пример положений стола при максимальном перемещении одних толкателей и минимальном других.

Таким образом в зависимости от того, где находится центр M , при постоянной массе стола (и закреплённой нагрузке). Жёсткость будет разной, а также будут разные вязкие сопротивления. В разных точках будут разные доли влияния приводов, на вибрации, которые происходят на столе.

Когда видно незначительное перемещение толкателя, тогда изменяется положение угла. Угол увеличивается или уменьшается.

Вывод - механизм перемещается пропорционально, или перемещается в зависимости от каких-то координат.

4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В настоящее время перспективность научного исследования определяется не столько масштабом открытия, оценить которое на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки. Оценка коммерческой ценности разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов.

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности научно-технического исследования, оценка его эффективности, уровня возможных рисков, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

Для достижения обозначенной цели необходимо решить следующие задачи:

- организовать работы по научному исследованию;
- осуществить планирование этапов выполнения исследования;
- оценить коммерческий потенциал и перспективность проведения научного исследования
- рассчитать бюджет проводимого научно-технического исследования;
- произвести оценку социальной и экономической эффективности исследования.

Исследования проводились шестистепенного вибрационного стенда с параллельной кинематикой в Томской области. В этом случае решаются прямые и обратные задачи кинематического и динамического анализа, определены необходимые условия устойчивости положение равновесия, определение рабочих зон. Широкое использование таких механизмов в машиностроении приводит к постановке вышеперечисленных задач по кинематике, динамике, стабильности. Решение этих задач на основе методов аналитической физики имеет практическую важность, поэтому данная работа актуальна.

4.1. Предпроектный анализ

4.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

В данном проекте сегментами рынка являются:

- Медицина
- Машиностроение
- Строительство

4.1.2. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для её будущего повышения.

В данном научном исследовании анализируется кинематика вибрационного стенда с шестью степенями свободы и с параллельной кинематикой.

В таблице 4.1.2.1 приведена оценка конкурентов, где Ф – разрабатываемый проект, к1 – исследование, проведенное инженером в научно-исследовательском институте, к2 – исследование, проведенное организацией, которая занимается разработкой проектов подобного уровня.

Таблица 4.1.2.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Бф	Бк1	Бк2	Кф	Кк1	Кк2
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1.Производительность	0,18	5	5	4	0,9	0,9	0,72
2.Энергоэкономичность	0,15	5	4	4	0,75	0,6	0,6
3.Надежность	0,15	5	4	3	0,75	0,6	0,45
4.Уровень шума	0,14	4	3	4	0,56	0,42	0,56
Экономические критерии оценки эффективности							
1.Конкурентоспособность продукта	0,14	5	3	4	0,7	0,42	0,56

Продолжение таблицы 4.1.2.1

2.Цена	0,12	5	4	2	0,6	0,48	0,24
3.Предполагаемый срок эксплуатации	0,12	4	5	3	0,48	0,6	0,36
Итого	1	33	28	24	4,74	4,02	3,49

Критерии оценки подбираются, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

Вес показателей в сумме должны составлять 1. Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная.

Анализ конкурентов технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i$$

Где: K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i-го показателя.

Основываясь на проведенном анализе конкурентов, можно сказать что проект превосходит конкурентные исследования, что связано с ценой, производительностью, а также сроком эксплуатации разрабатываемого проекта. Однако уязвимость разрабатываемого проекта в том, что требуется больше времени на его выполнение.

4.1.3 SWOT - анализ

SWOT – представляет собой комплексный анализ научно исследовательского проекта (таблица 4.1.3.1). Применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта. Анализ проводится в 3 этапа.

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

Таблица 4.1.3.1 – Матрица SWOT – анализа

Сильные стороны С1. Низкая цена проекта С2. Энергоэффективность технологии С3. Отсутствие подобного исследования на территории области С4. Создание наиболее приближенных вибрационных условий для объектов в их реальной эксплуатации С5. Проверка объекта на виброустойчивость по шести степеням свободы.	Слабые стороны Сл.1 Очень сложные алгоритмы движения Сл2. Отсутствие квалифицированных кадров у потенциальных потребителей по работе с научной разработкой
Возможности В1. Быстрое продвижение на рынок В2. Усовершенствование устройства. В3. Появление дополнительного спроса на новый продукт.	Угрозы У1. Развитие конкуренции технологии производства У2. Увеличение времени продвижения на рынок У3. Отсутствие спроса на новые технологии производства У4. Кризис

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно- исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды.

Интерактивная матрица проекта представлена в таблице 4.1.3.2. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие): «0» если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-».

Таблица 4.1.3.2 – Интерактивная матрица проекта

	Сильные стороны проекта					
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	+	+	-	+	+
	B2	+	0	-	+	+
	B3	0	+	0	+	+

	Слабые стороны проекта		
Возможности проекта		Сл1	Сл2
	B1	-	-
	B2	+	-
	B3	+	-

	Сильные стороны проекта					
Угрозы		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	0	0	0	+	+
	У2	-	-	-	-	-
	У3	-	-	+	-	-
	У4	0	+	-	-	-

Угрозы	Слабые стороны проекта		
		Сл1	Сл2
	У1	-	-
	У2	+	+
	У3	-	-
	У4	-	-

В рамках третьего этапа должна быть составлена итоговая матрица SWOT –анализа (таблица 4.1.3.3).

Таблица 4.1.3.3 – SWOT- анализ

	Сильные стороны С1. Низкая цена проекта С2. Энергоэффективность технологии С3. Отсутствие подобного исследования на территории области С4. Создание наиболее приближенных вибрационных условий для объектов в их реальной эксплуатации С5. Проверка объекта на виброустойчивость по шести степеням свободы.	Слабые стороны Сл.1 Очень сложные алгоритмы движения Сл2. Отсутствие квалифицированных кадров у потенциальных потребителей по работе с научной разработкой
Возможности В1. Быстрое продвижение на рынок В2. Усовершенствование устройства. В3. Появление дополнительного спроса на новый продукт.	Ускоренное продвижение на рынок из-за уникальности данного проекта Усовершенствование устройства, вследствие низкой себестоимости конкуренции Изменив конструкцию и усовершенствовав устройство появится дополнительный спрос	Притормозить скорость появления на рынках может необходимость в квалифицированных специалистах
Угрозы У1. Развитие конкуренции технологии производства У2. Увеличение времени продвижения на рынок У3. Отсутствие спроса на новые технологии производства У4. Кризис	Создание конкурентоспособного проекта	При появлении специалистов может появиться высокая конкуренция

4.1.4. Оценка готовности проекта к коммерциализации

На какой бы стадии жизненного цикла не находилась научная разработка полезно оценить степень её готовности к коммерциализации и выяснить уровень собственных знаний для её проведения (или завершения). Для этого заполнена специальная форма, содержащая показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика научного проекта (таблица 4.1.4.1).

При проведении анализа по таблице, по каждому показателю ставится оценка по пятибалльной шкале. При оценке степени проработанности научного проекта 1 балл означает не проработанность проекта, 2 балла – слабую проработанность, 3 балла – выполнено, но в качестве не уверен, 4 балла – выполнено качественно, 5 баллов – имеется положительное заключение независимого эксперта. Для оценки уровня имеющихся знаний у разработчика система баллов принимает следующий вид: 1 означает не знаком или мало знаю, 2 – в объеме теоретических знаний, 3 – знаю теорию и практические примеры применения, 4 – знаю теорию и самостоятельно выполняю, 5 – знаю теорию, выполняю и могу консультировать.

Оценка готовности научного проекта к коммерциализации (или уровень имеющихся знаний у разработчика) определяется по формуле:

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i$$

Где: $B_{\text{сум}}$ - суммарное количество баллов по каждому направлению;

B_i - балл по i -му показателю.

Таблица 4.1.4.1 – Оценка степени готовности проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1	Определен имеющийся научно- технический задел	5	5
2	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического раздела	3	3
3	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	2	3
4	Определена товарная форма научно- технического задела для представления на рынок	4	4
5	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	5	5
6	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	5	5
7	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	3	3

Продолжение таблицы 4.1.4.1

8	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	2	2
9	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	3	3
10	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	5	5
11	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	2	2
12	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	5	5
13	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	5	4
14	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	5	5
15	Проработан механизм реализации научного проекта	5	5
	ИТОГО БАЛЛОВ	61	59

Значение $B_{\text{сум}}$ позволяет говорить о мере готовности научной разработки и её разработчика к коммерциализации. В итоге получилось, что разработка является перспективой, а уровень имеющихся знаний у разработчика выше среднего.

По результатам оценки выделяются слабые стороны исследования, дальнейшего улучшения необходимо провести маркетинговые исследования рынков сбыта, разработать бизнес-план коммерциализации научной разработки и проработать вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок.

4.1.5. Методы коммерциализации результатов научно- технического исследования

Для коммерциализации результатов, проведенного исследования будут использоваться следующие методы: инжиниринг и передача интеллектуальной собственности.

Инжиниринг будет предполагать предоставление на основе договора инжиниринга одной стороной, именуемой консультантом, другой стороне, именуемой заказчиком, комплекса или отдельных видов инженерно-технических услуг, связанных с проектированием, строительством и воодом

объекта в эксплуатацию, с разработкой новых технологических процессов на предприятии заказчика.

Передача интеллектуальной собственности будет производиться в уставной капитал предприятия или государства.

Данные методы коммерциализации будут наиболее продуктивными в отношении данного проекта.

4.2 Инициация проекта

Группа процессов инициации состоит из процессов, которые выполняются для определения нового проекта или новой фазы существующего. В рамках процессов инициации определяются изначальные цели и содержание и фиксируются изначальные финансовые ресурсы. Определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать и влиять на общий результат научного проекта. Данная информация закрепляется в Уставе проекта (таблица 4.2.1).

Таблица 4.2.1 - Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
НИ ТПУ	Выпуск высококвалифицированных специалистов
Машиностроительные производства, Роскосмос, медицинские учреждения, строительные организации	продукции, которая прошла вибрационный контроль и является более надёжной

В таблице 4.2.2 представлена иерархия целей проекта и критерии достижения целей.

Таблица 4.2.2 – Цели и результаты проекта

Цели проекта:	Разработка шестистепенного вибрационного стенда с параллельной кинематикой для испытания объектов на вибрационную устойчивость
Ожидаемые результаты проекта:	На выходе будем иметь объекты, которые прошли вибрационный контроль. А значит снизятся поломки и трудозатраты
Критерии приемки результата проекта:	Объект прошедший испытание не потерял своей целостности и не имеет отклонение от заданные параметров в допустимых пределах погрешности.

Продолжение таблицы 4.2.2

Требования к результату проекта:	Требование:
	Смоделировать шестистепенной вибрационный стенд с параллельной кинематикой в программном продукте
	Провести исследования кинематики вибрационного стенда в программном продукте
	Получить таблицу движения рабочего стола в пространственных координатах в зависимости от изменения положения опор
	Получить закономерность из представленной таблицы между изменением положения подвижных опор и верхней платформой где устанавливается испытуемый объект
	Составить уравнения зависимости на основе представленной таблицы

В таблице 4.2.3 представлена организационная структура проекта (роль каждого участника, функции участников, трудозатраты).

Таблица 4.2.3 – Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудозатраты, час.
1	Крауиньш П.Я., д.т.н., НИ ТПУ, 0,5 ставки ОМ ИШНПТ	Руководитель проекта	Консультирование, координация деятельности, определение задач, контроль выполнения	600
2	Черниченко А.В., магистрант ОМ ИШНПТ	Исполнитель по проекту	Анализ литературных источников, отбор проб, пробоподготовка, анализ лабораторных данных, написание работы	1600
Итого				2200

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а также «границы проекта» - параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованы в рамках данного проекта (таблица 4.2.4).

Таблица 4.2.4 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/допущения
3.1. Бюджет проекта	2885496,88
1.1.1. Источник финансирования	НИ ТПУ

Продолжение таблицы 4.2.2

3.2. Сроки проекта	01.09.2020-31.05.2022
I.Дата утверждения плана управления проектом	15.09.2020
II.Дата завершения проекта	31.05.2022

4.3 Планирование управления научно-техническим проектом

Группа процессов планирования состоит из процессов, осуществляемых для определения общего содержания работ, уточнения целей и разработки последовательности действий, требуемых для достижения данных целей.

План Управления научным проектом должен включать в себя следующие элементы:

- иерархическая структура работ проекта;
- контрольные события проекта;
- план проекта;
- бюджет научного исследования.

4.3.1 Иерархическая структура работ проекта

Иерархическая структура работ (ИСР) – детализация укрупненной структуры работ. В процессе создания ИСР структурируется и определяется содержание всего проекта (рисунок 4.3.1.1).



Рисунок 4.3.1.1 – Иерархическая структура работ

4.3.1. План проект

В рамках планирования научного проекта построены календарный график проекта (таблица 4.3.1.1, 4.3.1.2).

Таблица 4.3.1.1 – Календарный план проекта.

Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
Утверждение темы магистерской диссертации	7	01.09.20	07.09.20	Черниченко А.В. Крауиныш П.Я.
Согласование плана работ	7	08.09.20	15.09.20	Черниченко А.В. Крауиныш П.Я.
Литературный обзор	138	16.09.20	31.01.21	Черниченко А.В. Крауиныш П.Я.
Обработка полученных данных и обсуждение результатов	292	01.02.21	20.12.21	Черниченко А.В. Крауиныш П.Я.
Написание отчёта	162	21.12.21	31.05.22	Черниченко А.В.
Итого	606			

Таблица 4.3.1.2 – Календарный план график проведения НИОКР по теме

Наименование этапа	Т, дней	2020				2021												2022				
		Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май
Утверждение темы магистерской диссертации	7																					
Согласование плана работ	7																					
Литературный обзор	138																					
Обработка полученных данных и обсуждение результатов	292																					
Написание отчёта	162																					

■ — Черниченко А.В

■ — Черниченко А.В., Крауиньш П.Я

4.4. Бюджет научного исследования

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения. В процессе формирования бюджета, планируемые затраты сгруппированы по статьям. В данном исследовании выделены следующие статьи:

1. Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты;
2. Специальное программное обеспечение для моделирования и исследования кинематики;
3. Заработная плата;
4. Отчисления на социальные нужды;
5. Научные и производственные командировки;
6. Оплата работ, выполняемых сторонними организациями и предприятиями;
7. Накладные расходы;

Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты (за вычетом отходов). В эту статью включаются затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ по данной теме (таблица 4.4.1).

Таблица 4.4.1 – Расчет затрат по статье «Сырье и материалы»

Наименование	Количество, шт	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Рабочее основание	1	100	100
Нижнее основание	1	50	50
Шесть электродинамических Мiсro вибраторов	6	10716	64296
Шесть обойм	6	500	3000
Шесть толкателей (электроактуаторы)	6	3000	18000
Двенадцать шарнирных подшипников	12	4309	51708
Шесть соединительных штанг	6	500	3000
Канцелярия	1	150	150
Энергия		3,85	7200
Всего за материалы		147504	
Транспортно-заготовительные расходы (3-5 %)		4500	
Итого по статье		152004 руб.	

2. *Специальное программное обеспечение для моделирования и исследования кинематики.* В данную статью включены все затраты, связанные с приобретением специального оборудования, необходимого для проведения работ по теме НИР (таблица 4.4.2).

Таблица 4.4.2 – Расчёт затрат по статье «Спецоборудование для научных работ»

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единиц оборудования, руб.	Общая стоимость оборудования, руб.
1	Компьютер (НР)	1	156000	156000
2	Программное обеспечение Microsoft Office	2	6000	12000
3	Программный продукт SolidWorks 2021	2	292560	585120
Итого, руб.:				753120 руб.

Расчёт основной заработной платы. В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоёмкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда. Расчет основной заработной платы сводится в таблице 4.4.3.

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата;

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата

Основная заработная плата $Z_{осн}$ руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб}$$

Где $Z_{осн}$ - основная заработная плата одного работника;

$T_{раб}$ - продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб, дн.;

$Z_{\text{дн}}$ - среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}}$$

Где: $Z_{\text{м}}$ - месячный должностной оклад работника, руб.;

M - количество месяцев работы без отпуска в течение года;

при отпуске в 24 раб. дня $M=11,2$ месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дней $M=10,4$ месяца, 6-дневная недел;

$F_{\text{д}}$ - действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Расчёт заработной платы научно – производственного и прочего персонала проекта проводили с учётом работы 2-х человек – научного руководителя и исполнителя. Баланс рабочего времени исполнителей представлен в таблице 14.

Таблица 4.4.3 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Магистрант
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней	99	99
-выходные дни	14	14
-праздничные дни		
Потери рабочего времени	24	24
-отпуск	14	14
-невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	212	212

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{б}} \cdot (K_{\text{пр}} + K_{\text{д}}) \cdot K_{\text{р}}, \text{ где}$$

$Z_{\text{б}}$ - базовый оклад, руб.;

$K_{\text{пр}}$ - премиальный коэффициент (определяется положением об оплате труда);

$K_{\text{д}}$ - коэффициент доплат и надбавок;

$K_{\text{р}}$ - районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

При расчёте заработной платы научно-производственного и прочего персонала проекта учитывались месячные должностные оклады работников, которые рассчитывались по формуле:

$$З_m = З_б \cdot K_p, \text{ где}$$

$З_б$ - базовый оклад, руб.;

K_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Согласно информации сайта Томского политехнического университета, должностной оклад (ППС) профессора= кандидата технических наук в 2021 году без учёта РК составил 70000 руб., поскольку руководитель работает на 0,5 ставки, то оклад равен 35000. Расчёт основной заработной платы приведен в таблице 4.4.4.

Таблица 4.4.4 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$З_б$, руб	$K_{пр}$	K_d	K_p	$З_m$, руб	$З_{дн}$, руб.	$T_{раб}$	$З_{осн}$, руб
Руководитель	35000	1	1,5	1,3	68250	3605,74	212	764416,88
Магистрант	6200	-	-	1,3	8060	425,82	212	90273,84

Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала. В данную сумму включается сумма выплат, предусмотренных законодательством о труде, например, оплата очередных и дополнительных отпусков; оплата времени, связанного с выполнением государственных и общественных обязанностей; выплата вознаграждения за выслугу лет и т.п. (в среднем – 12 % от суммы основной заработной платы).

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$З_{доп} = З_{осн} \cdot K_{доп}, \text{ где}$$

$З_{доп}$ - дополнительная заработная плата, руб.;

$K_{доп}$ - коэффициент дополнительной заработной платы;

$З_{осн}$ - основная заработная плата, руб.

В таблице 4.4.5 представлена форма расчёта основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 4.4.5 – Заработная плата исполнителей НТИ

Заработная плата	Руководитель	Магистрант
Основная зарплата	764416,88	90273,84
Дополнительная зарплата	76441,69	9027,38
Итого по статье С _{зп}	840858,57	99301,18

Отчисления на социальные нужды. Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{\text{внеб}} = K_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}), \text{ где}$$

$K_{\text{внеб}}$ - коэффициент отчисления на уплату во внебюджетные фонды.

На 2014 г. В соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30 %. На основании пункт 1 ст. 58 закона № 212 – ФЗ для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2014 году водится пониженная ставка – 27,1 %. Стипендиальные выплаты студентам, магистрам и аспирантам не облагаются налогом.

Отчисления на социальные нужды составляют: $C_{\text{внеб}} = 0,3 \cdot (764416,88 + 76441,69) = 252257,57$ рублей

Научные и производственные командировки. В эту статью включаются расходы по командировкам научного и производственного персонала, связанного с непосредственным выполнением конкретного проекта, величина которых принимается в размере 10 % от основной и дополнительной заработной платы всего персонала, занятого на выполнении данной темы.

Затраты на научные и производственные командировки составляют 30577,56 руб.

Оплата работ, выполняемых сторонними организациями и предприятиями.

На эту статью расходов в данном проекте относится использование Internet. Величина этих расходов определялась по договорным условиям и составляет 5250 руб.

Таблица 4.4.6 – Расчёт затрат на Internet

Цена за месяц	Количество месяцев	Итого
250	21	5250 руб.

Накладные расходы. Расчёт накладных расходов проведен по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = K_{\text{накл}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) = 0,8 \cdot (840858,57 + 99301,18) = 752127,8 \text{ руб.}$$

Где $K_{\text{накл}}$ – коэффициент накладных расходов принят 0,8.

Таким образом, затраты проекта составляют 2885496,88 руб., которые приведены в таблице 4.4.7.

Таблица 4.4.7 – Затраты научно-исследовательской работы

Вид исследования	Затраты по статьям									
	Сырье, материалы	Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	Основная заработная плата	Доп. Заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Научные и производственные командировки	Оплата работ, выполняемых сторонними организациями и предприятиями	Прочие прямые расходы	Накладные расходы	Итого плановая себестоимость
Данное исследование	52004	753120	764416,88 90273,84	76441,69 9027,38	252257,57	30577,56	5250	-	752127,8	<u>2885496,68</u>
Аналог	28000	1280304	1452971	145297,1	302709	42808	2500	-	142741	3673771,1

4.Операционныезатраты,руб.=сырье+амортизация+ЗП(осн+доп)+соц.отч.+науч.ком+контр.расх+накл.расх.=35%*бюджет

4.4.1 Организационная структура проекта

Данный проект представлен в виде проектной организационной структуры. Проектная организационная структура проекта представлена на рисунке 4.4.1.1.



Рисунок 4.4.1.1 – Проектная структура проекта

4.4.2. План управления коммуникациями проекта

План управления коммуникациями отражает требования к коммуникациям со стороны участников проекта (таблица 4.4.2.1).

Таблица 4.4.2.1 – План управления коммуникациями.

№ п/п	Какая информация передаётся	Кто передаёт информацию	Кому передаётся информация	Когда передают информацию
1	Статус проекта	Исполнитель	Руководителю	Еженедельно (понедельник)
2	Обмен информацией о текущем состоянии проекта	Исполнитель	Руководителю	Ежемесячно (конец месяца)
3	Документы и информация по проекту	Исполнитель	Руководителю	Не позже сроков графиков и к. точек
4	О выполнении контрольной точки	Исполнитель	Руководителю	Не позже дня контрольного события по плану управления

4.4.3. Реестр рисков проекта

Идентифицированные риски проекта включают в себя возможные неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать последствия, которые повлекут за собой нежелательные эффекты.

Информация по возможным рискам сведена в таблицу 4.4.3.1.

Таблица 4.4.3.1 – Реестр рисков.

№	Риск	Вероятность наступления	Влияние риска	Уровень риска	Способы смягчения риска	Условия наступления
1	Неточность метода анализа	2	5	Низкий	Внешний и внутренние анализы	Низкая точность метода анализа
2	Погрешность расчётов	3	5	Средний	Пересчёт проверка	Невнимательность
3	Отсутствие интереса к результатам исследования	2	5	Низкий	Привлечение предприятий, публикация результатов	Отсутствие результатов исследования

4.5. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности

4.5.1. Оценка абсолютной эффективности исследования

В основе проектного подхода к инвестиционной деятельности предприятия лежит принцип денежных потоков. Особенностью является его прогнозный и долгосрочный характер, поэтому в применяемом подходе к анализу учитываются фактор времени и фактор риска. Для оценки общей экономической эффективности используются следующие основные показатели:

- чистая текущая стоимость (NPV);
- индекс доходности (PI);
- внутренняя ставка доходности (IRR);
- срок окупаемости (DPP);

Чистая текущая стоимость (NPV) – это показатель экономической эффективности инвестиционного проекта, который рассчитывается путём дисконтирования (приведения к текущей стоимости, т.е. на момент инвестирования) ожидаемых денежных потоков (как доходов, так и расходов).

Расчёт NPV осуществляется по следующей формуле:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{ЧДП_{on_t}}{(1+i)^t} - I_0$$

Где: ЧДП_{on_t} – чистые денежные поступления от операционной деятельности.

I_0 – разовые инвестиции, осуществляемые в нулевом году;

t – номер шага расчёта (t=0,1,2...n)

n – горизонт расчёта;

i – ставка дисконтирования (желаемый уровень доходности инвестируемых средств)/

Расчёт NPV позволяет судить о целесообразности инвестирования денежных средств. Если $NPV > 0$, то проект оказывается эффективным.

Расчёт чистой текущей стоимости представлен в таблице 21. При расчёте рентабельность проекта составляла 20-25 %. Норма амортизации – 10 %. $Ag = C_{перв} \cdot Na/100$, себ= р. **Выручка=себестоимость·1,25=**

Таблица 4.5.1.1 – Расчёт чистой текущей стоимости по проекту в целом

№	Наименование показателей	Шаг расчёта				
		0	1	2	3	4
1	Выручка от реализации, руб.	0	3462596	3462596	3462596	3462596
2	Итого приток, руб	0	3462596	3462596	3462596	3462596
3	Инвестиционные издержки, руб.	- 2885496,68	0	0	0	0
4	Операционные затраты, руб. (35% от бюджета)	0	1529313	1529313	1529313	1529313
5	Налогооблагаемая прибыль(1-4)	0	1933283	1933283	1933283	1933283
6	Налоги 20 % руб. (5*20%)	0	386656,6	386656,6	386656,6	386656,6
8	Чистая прибыль, руб. (5-6)	0	1546626,4	1546626,4	1546626,4	1546626,4
9	Чистый денежный поток (ЧДП), руб. (чистая прибыль+амортизация)	-2885496,68	1835176	1835176	1835176	1835176
0	Коэффициент дисконтирования при i=20% (КД)	<u>1</u>	0,909	0,826	0,751	0,683

Продолжение 4.5.1.1

1	Чистый дисконтированный денежный поток (ЧДД), руб(9*10)	-2885496,68	1668175	1515855,4	1378217,2	1253425,2
2	$\sum$ ЧДД	5815672,8 руб				
3	Итого NPV, руб	2930176,12 руб.				

$$NPV = 5815672,8 - 2885496,68 = 2930176,12 > 0$$

Если $NPV < 0$

1) $i=10\%$

2) интервал планирования равен 5 годам

Коэффициент дисконтирования рассчитан по формуле:

$$КД = \frac{1}{(1 + i)^t}$$

Где: i – ставка дисконтирования, 20 %; (10 %)

t – шаг расчёта.

Таким образом, чистая текущая стоимость по проекту в целом составляет 2930176,12 рублей, что позволяет судить об его эффективности.

Индекс доходности (PI) – показатель эффективности инвестиции, представляющий собой отношение дисконтированных доходов к размеру инвестиционного капитала. Данный показатель позволяет определить инвестиционную эффективность вложений в данный проект. Индекс доходности рассчитывается по формуле:

$$PI = \sum_{t=1}^n \frac{ЧДД_t}{(1 + i)^t} / I_0 > 0$$

Где: ЧДД – чистый денежный поток, руб.;

I_0 – начальный инвестиционный капитал, руб.

Таким образом PI для данного проекта составляет:

$$PI = \frac{5815672,8}{2885496,68} = 2.016$$

Так как $PI > 1$, то проект является эффективным.

Внутренняя ставка доходности (IRR). Значение ставки, при которой обращается в нуль, носит название «внутренней ставки доходности» или IRR. Формальное определение «внутренней ставки доходности» заключается в том, что это та ставка дисконтирования, при которой суммы дисконтированных притоков денежных средств равны сумме дисконтированных оттоков или $= 0$. По разности между IRR и ставкой дисконтирования i можно судить о запасе экономической прочности инвестиционного проекта. Чем ближе IRR к ставке дисконтирования i , тем больше риск от инвестирования в данный проект.

Между чистой текущей стоимостью (NPV) и ставкой дисконтирования (i) существует обратная зависимость. Эта зависимость представлена в таблице 4.5.1.1 и на рисунке 4.5.1.1.

Таблица 4.5.1.1 – Зависимость NPV от ставки дисконтирования

№	Наименование показателя	0	1	2	3	4	NPV, руб
1	Чистые денежные потоки, руб.	2885496,68	1835176	1835176	1835176	1835176	
2	Коэффициент дисконтирования						
	0,1	1	0,909	0,826	0,751	0,683	
	0,2	1	0,833	0,694	0,578	0,482	
	0,3	1	0,769	0,592	0,455	0,350	
	0,4	1	0,714	0,510	0,364	0,260	
	0,5	1	0,667	0,444	0,295	0,198	
	0,6	1	0,625	0,390	0,244	0,153	
	0,7	1	0,588	0,335	0,203	0,112	
	0,8	1	0,556	0,309	0,171	0,095	
	0,9	1	0,526	0,277	0,146	0,077	
	1	1	0,500	0,250	0,125	0,062	
3	Дисконтированный денежный поток, руб						
	0,1	-2885496,7	1668174,98	1515855,38	1378217,176	1253425,21	2930176,06
	0,2	-2885496,7	1528701,61	1273612,14	1060731,728	884554,832	1862103,63
	0,3	-2885496,7	1411250,34	1086424,19	835005,08	642311,6	1089494,54
	0,4	-2885496,7	1310315,66	935939,76	668004,064	477145,76	505908,568
	0,5	-2885496,7	1224062,39	814818,144	541376,92	363364,848	58125,624
	0,6	-2885496,7	1146985	715718,64	447782,944	280781,928	-294228,168
	0,7	-2885496,7	1079083,49	614783,96	372540,728	205539,712	-613548,792

Продолжение таблицы 4.5.1.1

	0,8	- 2885496,7	1020357,86	567069,384	313815,096	174341,72	- 809912,624
	0,9	- 2885496,7	965302,576	508343,752	267935,696	141308,552	- 1002606,1
	1	- 2885496,7	917588	458794	229397	113780,912	- 1165936,77

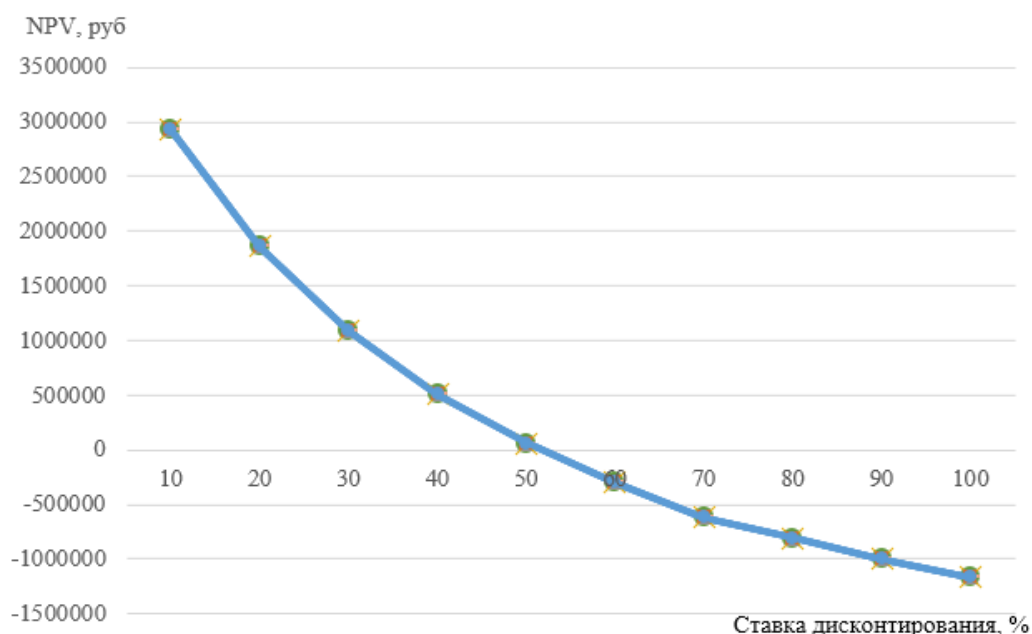


Рисунок 4.5.1.1 – Зависимость NPV от ставки дисконтирования

Из таблицы и графика следует что по мере роста ставки дисконтирования чистая текущая стоимость уменьшается, становясь отрицательной. Значение ставки, при которой NPV обращается в нуль, носит название «внутренней ставки доходности» или «внутренней нормы прибыли». Из графика получаем, что IRR составляет 0,52.

$IRR > i$ проект эффективен

Запас экономической прочности проекта: $52\% - 20\% = 32\%$

Дисконтированный срок окупаемости. Как отмечалось ранее, одним из недостатков показателя является простота срока окупаемости является игнорирование в процессе его расчёта разной ценности денег во времени.

Этот недостаток устраняется путём определения дисконтированного срока окупаемости. То есть это время, за которое денежные средства должны совершить оборот.

Наиболее приемлемым методом установления дисконтированного срока окупаемости является расчет кумулятивного (нарастающим итогом) денежного потока (таблица 4.5.1.2).

Таблица 4.5.1.2 – Дисконтированный срок окупаемости

№	Наименование показателя	Шаг расчёта				
		0	1	2	3	4
1	Дисконтированный чистый денежный поток ($i=0,20$), руб.	-2885496,68	1668175	1515855,4	1378217,2	1253425,2
2	То же нарастающим итогом, руб.	-2885496,68	-1217321,68	298533,72	1676750,92	2930176,12
3	Дисконтированный срок окупаемости	$DPP_{\text{дск}} = 1 + \left(\frac{-1217321,68}{1515855,4,7} \right) = 1,08 \text{ года}$				

Социальная эффективность научного проекта учитывает социально – экономические последствия осуществления научного проекта для общества в целом или отдельных категорий населения или групп лиц, в том числе как непосредственные результаты проекта, так и «внешние» результаты в смежных секторах экономики: социальные, экономические и иные внеэкономические эффекты (таблица 4.5.1.3).

Таблица 4.5.1.3 – Критерии социальной ответственности

ДО	ПОСЛЕ
Отсутствие знаний о кинематике шестистепенного вибрационного стенда	Впервые получены данные о кинематике шестистепенного вибрационного стенда
Нехватка обширных и достоверных данных об ошибках в процессе проектирования вибрационного стенда	Обобщены и структурированы данные об ошибках в процессе моделирования вибрационного стенда

4.5.2. Оценка сравнительной эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчёта интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчёта (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется по следующей формуле:

$$I_{\text{финр.}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{мах}}}$$

Где: $I_{\text{финр.}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i-го варианта исполнения;

$\Phi_{\text{мах}}$ – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки и в размах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить по следующей формуле:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i$$

Где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i-го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i – го варианта исполнения разработки;

b_i^a, b_i^p – балльная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путём по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчёт интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в форме таблицы (таблице 4.5.2.1).

Таблица 4.5.2.1 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта.

ПО Критерии	Весовой коэффициент параметры	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
1.Выход продукта	0,20	5	5	4
2.Удобство в эксплуатации	0,15	5	3	3
3.Надёжность	0,15	4	4	4
4.Безопасность	0,15	4	3	4
5.Простота эксплуатации	0,15	5	4	5
6.Возможность автоматизации данных	0,20	5	4	5
7.Итого	1	28	23	25

$$I_m^p = 5 \cdot 0,20 + 5 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,20 = 4,7$$

$$I_1^A = 5 \cdot 0,20 + 3 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,20 = 3,9$$

$$I_2^A = 4 \cdot 0,20 + 3 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,20 = 4,2$$

Интегральный показатель эффективности разработки $I_{финр}^p$ и аналога $I_{финр}^a$ определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{финр}^p = \frac{I_m^p}{I_{ф}^p}; I_{финр}^a = \frac{I_m^a}{I_{ф}^a}$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта. Сравнительная эффективность проекта определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{финр}}^p}{I_{\text{финр}}^a}$$

Где $\mathcal{E}_{\text{ср}}$ – сравнительная эффективность проекта;

$I_{\text{финр}}^p$ – интегральный показатель разработки

$I_{\text{финр}}^a$ – интегральный технико – экономический показатель аналога.

Сравнительная эффективность разработки по сравнению с аналогами представлена в таблице 4.5.2.2.

Таблица 4.5.2.2 - Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Разработка	Аналог 1	Аналог 2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,18	0,16	0,16
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,50	3,85	4,00
3	Интегральный показатель эффективности	23,12	22,83	23,03
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,02	1,01	1,0

Выводы: Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет понять, что разработанный вариант проведения проекта является наиболее эффективным при решении поставленной в магистерской диссертации технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

В ходе выполнения раздела финансового менеджмента определена чистая текущая стоимость, (NPV), равная 2930176,12 руб.; индекс доходности $PI = 2,016$, внутренняя ставка доходности $IRR = 0,52 \%$, срок окупаемости $PP_{\text{дск}} = 1,08$ года.

Таким образом мы имеем ресурсоэффективный проект с высоким запасом финансовой прочности и коротким сроком окупаемости.

5. Социальная Ответственность

5. Социальная ответственность

Введение

Цель этой диссертации заключается в изучении классов механизмов параллельной кинематики. В этом случае решаются прямые и обратные задачи кинематического и динамического анализа, определены необходимые условия устойчивости положение равновесия, определение рабочих зон. Широкое использование таких механизмов в машиностроении приводит к постановке вышеперечисленных задач по кинематике, динамике, стабильности. Решение этих задач на основе методов аналитической физики имеет практическую важность, поэтому данная работа актуальна.

Данную установку можно применить в машиностроении, медицине и строительстве. Минимальные габарит помещения для работы с шестистепенным вибрационным стендом составляют 7×7 м. Необходимое оборудование для работы: ПК, вибрационный стенд, площадка для установки стенда, стул и стол для удобной работы рабочего. При работе вибрационного стенда испытуемый объект, установленный на рабочей площадке стенда, подвигается вибрационному испытанию. Данный стенд двигается по осям X, Y, Z, A, B, что позволяет создать наиболее приближенные условия к реальным, которым будет подвергаться испытуемый объект при повседневной эксплуатации. Подвижные элементы верхней платформы необходимы для того, чтобы передвигать центральную точку относительно неподвижного элемента (нижней платформы). Движения верхней платформы совершается благодаря шести приводам, расположенным по краям нижней платформы. Движение каждого привода самостоятельно и не зависит от движения остальных приводов поэтому возможно совершать движения по шести координатам, что значительно увеличит применение данного вибрационного стенда и позволит создать больше рабочих ситуаций под конкретную задачу испытаний. Количество необходимой управляемой координаты, чтобы создать ориентацию для верхней платформы, связано с пространственной ориентацией позиции привода и его вида (угловых

или линейных перемещений) и количеством степеней движения, обеспечиваемых шарнирной опорой (2 и 3 степеней).

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Специальные особенности для производственной зоны

Правовые нормы законодательства о труде сотрудника согласно ст. 91 ТК РФ от 30 декабря 2001 года. N 197 - ФЗ (ред. от 25.02.2022 года) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.03.2022). Рабочие часы рассматриваются как время, когда сотрудник выполняет свою работу в соответствии с правилами. Внутренний распорядок труда и условия контракта должны быть приняты в соответствии с внутренним трудовым распорядком и условиями. Нормальные рабочие дни не могут быть превышающими 40 часов на неделю [35].

Защита личных данных сотрудника регламентируется ст. 86-90 ТК РФ от 30.12.2001 г. № 197 – ФЗ (ред. от 25.02.2022) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.03.2022).

Сведения о оплате труда и нормах труда содержатся в статье VI (ст. 129-163) ТК РФ от 30 декабря 2001 года. Приказ № 197 - ФЗ (ред. от 25.02.2022) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.03.2022).

Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя

Организация рабочего пространства является одним из показателей комфортности работы. Рабочая площадка должна быть соответствующей требованиям ГОСТа 12.2.032-78 [36]. Конструкцией производственного оборудования и рабочего места должно быть обеспечено оптимальное положение работающего, которое достигается регулированием:

- высоты рабочей поверхности, сиденья и пространства для ног.
- высоты сиденья и подставки для ног (при нерегулируемой высоте рабочей поверхности). В этом случае высоту рабочей поверхности устанавливают по номограмме для работающего ростом 1800 мм.

Оптимальная рабочая поза для работающих более низкого роста достигается за счет увеличения высоты рабочего сиденья и подставки для ног на величину, равную разности между высотой рабочей поверхности для работающего ростом 1800 мм и высотой рабочей поверхности, оптимальной для роста данного работающего.

Рекомендуется использовать пастельные цвета для интерьера помещения. Окраска компьютера и техники, которые прилагаются к нему, должна быть темной, с высококонтрастным управлением и надписью к нему. Рекомендованные цвета для производственного помещения:

- потолок белый.
- стены полностью покрашены в бежевый.
- пол в бежевом цвете.

Наиболее приемлемым для отделки пола считается гладкий, нескользкий материал, обладающий антисептическими свойствами.

Не менее 1,2 метров должно быть расстояние между боковыми поверхностями монитора, при организации помещений необходимо учитывать. Между экраном и тыльной стороной другого монитора – расстояние должно быть не меньше 2 метров. Высота стола должна регулироваться в диапазоне 680-800 мм, если такая возможность не предусмотрена, то высота стола должна быть 725 мм, если такая возможность не предусмотрена согласно СП 2.4.3648-20 «Санитарно-эпидемиологические требования к организации воспитания и обучения, отдыха и оздоровления детей и молодежи» [37].

Данная диссертационная работа требует использование ПК, поэтому площадки для использования ПЭВМ должны соответствовать требованиям нормативной документации СП 2.4.3648-20 данные требования приведены ниже [37].

Существуют специальные требования к рабочему месту для длительной работы за ПК:

- высота перегородок, разделяющих рабочие места: не менее 1,5 метров/
- ширина рабочего стола: от 80 до 140 см
- глубина рабочего стола: от 80 до 100 см
- высота рабочего стола: 7,25 см
- расстояние от глаз до монитора: от 60 до 70 см
- расстояние клавиатуры от края стола: от 10 до 30 см
- сидение: должно позволять регулировку по высоте повороту и углу наклона спинки
- подставка для ног: ширина – от 30 см, глубина – от 40 см, с углом наклона до 20 градусов.

5.2 Производственная безопасность, анализ вредных и опасных факторов

Факторы взяты из межгосударственного стандарта ГОСТ 12.0.003-2015. Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».

Таблица 5.1 – Возможные опасные и вредные факторы

№	Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Нормативные документы
1	Аномальные микроклиматические параметры воздушной среды	СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания"
2	Превышение уровня шума	СП 51.13330.2011 Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003
3	Превышенный уровень вибрации	ГОСТ 12.1.012-2004 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вибрационная безопасность. Общие требования
4	Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения	СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95

Продолжение таблицы 5.1

5	Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов
---	--	--

Вредные факторы

Аномальные микроклиматические параметры воздушной среды

В производственном помещении, где рабочий использует в своей работе ПК, должны быть обеспечены оптимальные микроклиматические параметры в соответствии со стандартом СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». Настоящие нормы установлены в соответствии с характеристикой производственных помещений, временем года, характером трудовых процессов [38].

Данная работа будет выполняться преимущественно сидя, а физические напряжения будут незначительными. Интенсивность энергозатрат при выполнении такой работы составит не более 120 ккал/ч (до 139 Вт). Данную работу следует относить к категории Ia. Оптимальные микроклиматические параметры для категории Ia на рабочих местах представлены в Таблице 5.2.

Таблица 5.2 - Оптимальные показатели микроклимата в помещениях для категории Ia

Период года	Температура воздуха, °С	Динамика влажности воздуха, %	Скорость перемещения воздуха, не более, м/с
Холодный	22...24	60...40	0,1
Тёплый	23...25	60...40	0,1

Теплоснабжение производственного помещения осуществляется с помощью радиаторов, обеспечивающих постоянную и равномерную температуру воздуха при холодном периоде года. Для того, чтобы обеспечить

оптимальные микроклиматические показатели в холодное время года, следует использовать средства для защиты рабочих мест персонала от окон, чтобы не допускать охлаждения. В течение теплого периода года необходимо предусматривать защиту от прямого солнечного излучения.

В таблице 5.3 приведены нормы подачи воздуха в помещения, где находятся компьютеры. [38].

Таблица 5.3 – Нормы подачи воздуха, в помещениях, где находятся компьютеры.

Объём комнаты, м ²	Объем подаваемого воздуха в помещение, м ³ /ч на человека в час.
До 20	Не меньше 30
20-40	Не меньше 20
Больше 40	Естественная вентиляция

В соответствии с нормативными документами параметры микроклимата в производственном помещении поддерживаются системой кондиционирования и соответствуют документу СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» [39]. Рабочее помещение должно обладать следующими характеристиками: температура внутри помещения 22 - 24 °С; влажность воздуха 40-60 %, скорость воздушного потока 0.1 м/с;

Превышение уровня шума

Длительный шум неблагоприятно сказывается на работу всего организма в целом: теряется острота зрения, ухудшается слух, притупляется внимание, а также повышается кровяное давление.

Внутренние источники шума создаются, различными техническими средствами. В данной диссертационной работе шум создаётся ПК, вибраторами и толкателями. Уровень шума на производственных предприятиях должен быть

для непостоянных источников шума согласно «СП 51.13330.2011 Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003» не должен быть более 95 дБ [40].

Чтобы снизить уровень шума, следует использовать рациональное местоположение оборудования и средства для уменьшения шума самого источника, особенно необходимо предусматривать применение в их конструкциях звукоизолирующих кожухов и акустических экранов. Чтобы снизить уровень шума, стены, потолок помещения, в которых установлено устройство, должны облицовываться звукопоглощающим материалом. Для потолка и стен определяется коэффициент акустического поглощения этих материалов в области 63-8000 МГц.

Уровень внутреннего шума в помещении не превысит предельно допустимых значений, установленных в СП 51.13330.2011 [40].

Повышенный уровень вибрации

Вибрации при длительных их воздействиях на человека в течении дней, недель и многих лет могут вызывать тяжёлые заболевания организма, а также могут мешать нормальной работе.

Вибрационный уровень на рабочем месте регламентирует специальный документ, ГОСТ 12.1.012-2004 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вибрационная безопасность. Общие требования» [41]. В соответствии с документом вибрация, возникающая на работе, может быть отнесена к общим вибрациям третьего подпункта «в помещениях завода, конструкторской бригады, учебных пунктах, здравпунктах, лабораториях, вычислительных центрах, конторах, рабочих комнат и других помещений для трудящихся».

Нормируемый диапазон частот устанавливается:

- для локальной вибрации в виде октавных полос со среднегеометрическими частотами: 8; 16; 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000 Гц;

- для общей вибрации в виде октавных или 1/3 октавных полос со среднегеометрическими частотами: 0,8; 1; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,15; 4,0; 5,0; 6,3; 8,0; 10,0; 12,5; 16,0; 20,0; 25,0; 31,5; 40,0; 50,0; 63,0; 80,0 Гц.

По источнику возникновения вибрация в данной работе относится к общей вибрации III категории. К такой категории относят технологическую вибрацию, воздействующую на человека на рабочих местах стационарных машин или передающуюся на рабочие места, не имеющие источников вибрации. К источникам технологической вибрации в моей диссертационной работе можно отнести: вибраторы, толкатели и приводы.

Для защиты рабочего персонала от вибрации, которая передаётся от вибрационного стенда, можно использовать пассивную виброизоляцию. Чаще всего пассивная изоляция устраивается в виде массивной плиты, имеющей контакт с вибрирующим основанием через другие амортизаторы [49]. Пример пассивной изоляции рабочих мест показан на рисунке 5.1.

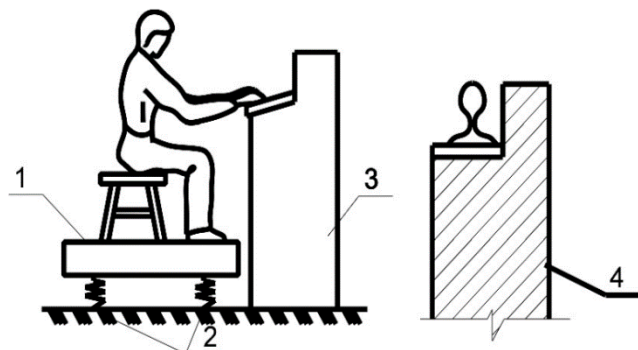


Рисунок 5.1 - Схема виброизоляции рабочего места.

1 – виброизолирующая железобетонная плита; 2 - виброизоляторы; 3 – виброизолируемая машина; 4 - фундамент виброплощадки.

Недостаточная освещенность рабочей зоны

Близорукость и утомление появляется у рабочего персонала в следствии низкой освещенности рабочего помещения, а также сокращается длительность оптимальной работоспособности. Освещенность рабочего места нормируется согласно СП 52.13330.2016 [42].

Ниже приведён расчёт освещённости для производственного предприятия с общей площадью 150 м².

Расчёт освещённости

Рассчитайте методом коэффициентов использования световых потоков систему искусственного освещения люминесцентными лампами в производственном помещении, в котором:

Длина $A = 15$ м; ширина $B = 10$ м; высота $H = 7$ м; высота рабочей поверхности $h_{rp} = 0,9$ м; требуемая освещенность $E = 300$ Лк; коэффициент отражения стен $R_c = 40\%$; коэффициент отражения потолка $R_{\pi} = 50\%$; коэффициент запаса $k = 1,5$; коэффициент неравномерности освещения $Z = 1,1$.

Рассчитываем систему общего люминесцентного освещения.

Выбираем светильник типа ОД, $\lambda = 1,4$.

Принимаем $h_c = 0,5$ м, тогда

$$h_{\pi} = H - h_c = 7 - 0,5 = 6,5 \text{ м} - \text{высота светильника над полом};$$

$h = h_{\pi} - h_{rp} = 6,5 - 0,9 = 5,6$ м – высота светильника над рабочей поверхностью;

$$L = \lambda \cdot h = 1,4 \cdot 5,6 = 7,84 \text{ м} - \text{расстояние между светильниками};$$

$$\frac{L}{6} = \frac{7,84}{6} = 1,31 \text{ м}$$

Размещаем светильники в два ряда. В каждом ряду можно установить 15 светильников типа ОД мощностью 40 Вт (длинной 1,42 м), при этом расстояния между светильниками в ряду составляют 0,5 м. Учитывая, что в каждом светильнике по две лампы, общее число ламп в помещении:

$$n = 30 \cdot 2 = 60$$

Находим индекс помещения:

$$i = \frac{s}{h \cdot (A + B)} = \frac{150}{5,6 \cdot (15 + 10)} = 1,07$$

$\eta = 0,95$ - коэффициент использования светового потока.

Определяем потребный световой поток ламп в каждом из рядов:

$$F = \frac{E \cdot S \cdot k \cdot z}{n \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 150 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{60 \cdot 0,95} = 2\,097 \text{ Лм}$$

Ближайшая стандартная лампа – ЛБ 30 Вт с потоком 2 100 Лм.

Проверка выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{л.станд}} - \Phi_{\text{л.расч}}}{\Phi_{\text{л.станд}}} \cdot 100\% \leq +20\%$$

$$-10\% \leq 0,14\% \leq +20\%$$

$P = 30 \cdot 60 = 1\,800 \text{ Вт}$ – электрическая мощность осветительной установки.

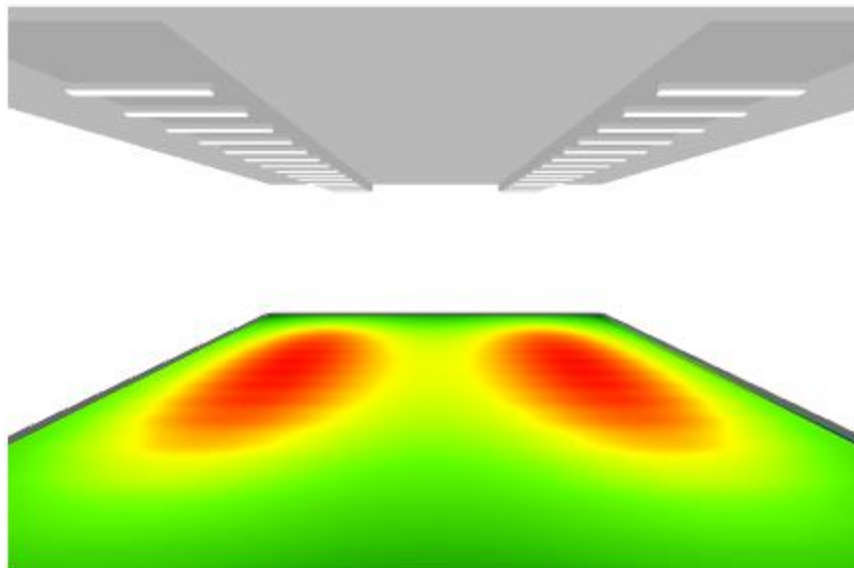


Рисунок 5.2 – План помещения и размещения светильников с люминисцентными лампами

Правильно разработанное и рациональное освещение положительно влияет на работников, способствует улучшению эффективности работы и

безопасности, уменьшению утомления и травматизм, сохранению высокой работоспособности.

Опасные факторы

Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека

Защита от электричества - защита людей от поражения или вредного воздействия электрического тока на это направлена система организационно-технических противодействий. Изменение поражающего воздействия на организм зависит от индивидуальных характеристик человека массы тела, строения тела, пола, рода занятий, состояния физического здоровья, состояния болезни, состояния алкогольного опьянения, параметров протекания тока частоты и силы тока, состояния внешней среды. Одна из самых опасных характеристик - переменный ток, частота которого составляет 10-120 Гц. Наиболее безопасное напряжение для человека — до 12 В, условное — до 36 В. Опасная величина тока считается более 1 мА, а смертельный более 100 мА [43].

Опасность попадания человека под напряжение существует в любом случае при использовании оборудования и электрических устройств.

Необходимо исключить источник поражения, чтобы предотвратить поражение электротоком, к таким источникам могут относиться:

- наружная панель системного блока и переключение разъёмов ПК, случайное прикосновение к которым может привести к поражению электрическим током;
- повреждение изоляции и как следствие появление напряжения механических частей электрооборудования корпусов, кожухов и др;
- возникновение напряжение на земле на расстояние 8 метров от соприкосновения жилы и поверхности земли называется «шаговым»
- превышение токов электромагнитного поля частотой 50 Гц многими сетевыми фильтрами и удлинителями.

По требованиям Правил электроснабжения, утвержденных Государственным энергонадзором от 12.04.2003 году кабинет, в котором осуществляется проектирование, в наличии должны иметься следующие элементы:

- элемент отключения общей электросети на щитке распределительного питания;
- предохранители должны находиться во всех приборах, для защиты в общей сети от перегрузок, а также от различных неисправностей.

В соответствии с документом «Правила технической эксплуатации» электроустановок промышленных предприятий эксплуатация приборов должна соответствовать данным правилам. Опираясь на данные правила необходимо исключить возможность прикосновения человека к токоведущим частям устройства. Для этого необходимо следующее

- на всех токоведущих проводниках присутствие изоляции;
- стандартные электрические разъемы должны быть использованы для подключения приборов;
- при выполнении работ с приборами, входящими в сеть, строго соблюдаются инструкции по безопасности;
- запрещено использовать неисправные приборы в работе.

Также раз в год нужно провести инструктаж по электробезопасности для каждого сотрудника отдела.

Средства защиты для обеспечения защиты от электрического тока применяемые в сочетании или отдельно, к основным относятся: защитные зануления, знаки безопасности, защитные заземления, блокировки, предупредительная сигнализация, малые напряжения, уравниватели потенциалов, электрические разделения сети, двойная изоляция.

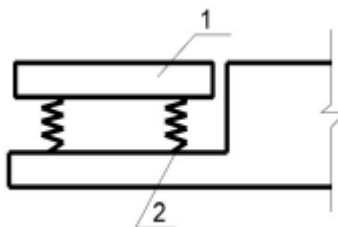
5.3. Экологическая безопасность

Экологическая безопасность является допустимым уровнем негативного влияния природных или антропогенных факторов опасности на окружающую среду и людей. В помещении, в котором проводятся работы, источником загрязнения является: лампы люминесцентного света, используемые для реализации освещения, макулатура и оргтехники.

При эксплуатации вибрационной установки возможны следующие пагубные воздействия на: селитебную зону, литосферу, гидросферу и атмосферу. Далее более подробно расписано воздействие на каждую зону.

Воздействие на селитебную зону

При эксплуатации вибрационного стенда вибрационные воздействия разрушают фундамент. Для защиты фундамента возможно применение виброизоляторов между стендом и фундаментом. Данный метод пассивной виброизоляции позволит минимизировать разрушение фундамента [49] (рис. 5.2).



1 – виброизолирующая железобетонная плита; 2 – виброизоляторы
[49]

Рисунок 5.2 - Виброизоляция фундамента

Воздействие на литосферу

Основное воздействие данной установки на литосферу происходит за счёт влияния вибраций на почву. Под воздействием вибраций происходит разрушение слоя почвы

Данная конструкция будет размещаться на специальной пружинной виброизоляционной платформе. При больших рабочих частотах используются

как пружинные виброизоляторы, так и упругие прокладки из эластомерного материала Sylomer. Также возможно применение перфорированной, а не сплошной резины, как это обычно делают [49]. Между почвой и платформой также будет находиться фундамент производственного помещения. Данное решение позволяет минимизировать вибрационные воздействия от рабочей установки на почву.

Воздействие на атмосферу

Вредные газы и частицы не должны превышать допустимого уровня. В моей диссертации вредными частицами являются масла в атмосферном воздухе. Согласно ГОСТ 12.1.005-88 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» производственные масла относятся к III группе опасности, величина ПДК составляет 5 мг/м³ [50]. Частицы и газы, выделяемые при производстве в машиностроительной отрасли, несомненно, наносят ущерб атмосфере. В данной работе производственное помещение, где находится вибрационная установка выделяет вредные частицы, прошедшие очистку и фильтрацию, рассеиваемые в атмосфере через вентиляционные трубы.

Должны соблюдаться требования Федерального закона от 09.03.2021 N 39-ФЗ "Об охране окружающей среды" [51], регулирующих отношения в области охраны атмосферного воздуха. СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания" [52].

Для обеспечения безопасного пользования атмосферой применяются следующие мероприятия:

- очистка отходящих газообразных выбросов на действующем предприятии.
- уменьшение загрязнения внутренней производственной среды.

Также возможно озеленение и полив территорий предприятия, что благоприятно скажется на атмосфере.

Воздействие гидросферы

Масла, а также их отходы регламентируются Постановлением Правительства РФ от 29.07.2013 N 644 (ред. от 30.11.2021) "Об утверждении Правил холодного водоснабжения и водоотведения и о внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации". Данное постановление точно нормирует ПДК нефтепродуктах в стоках:

- предельно допустимая концентрация многосернистой нефти в стоках – 0,1 мг/л.
- предельно допустимая концентрация в сточных водах прочих видов нефти – 0,3 мг/л.
- предельно допустимое содержание в сточных водах бензина – 0,1 мг/л.
- максимально допустимая концентрация керосина технического, окисленного, тракторного – 0,01 мг/л.
- предельное значение содержания осветительного керосина – 0,05 мг/л.
- максимально допустимая концентрация сульфатированного керосина в стоках – 0,1 мг/л [53].

Таким образом, производственные масла, применяемые в производстве для смазывания выдвигающих толкателей, наносят серьёзный урон окружающей среде. При утилизации масел и их отходов необходима отдельная хозяйственно-бытовая система.

Должны соблюдаться требования нормативных актов, регулирующих отношения в области охраны водных ресурсов.

Для обеспечения безопасного пользования гидросферой применяются следующие мероприятия:

– оборудование отдельных систем хозяйственно-бытовой и ливневой канализации.

Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Помещение, где будет располагаться установка относится к категории помещений В1 по взрывопожарной и пожарной опасности согласно «СП

12.13130.2009 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности». Так как отсутствуют легковоспламеняющиеся жидкости, горючие газы, но также и отсутствуют негорючие вещества.

В Российской Федерации с 1 мая 2009 года основная классификация установлена «Техническим регламентом о требованиях пожарной безопасности» [46]. Статья 8 Регламента определяет классы пожаров. Производственное помещение, где будет располагаться установка можно отнести к категории Г.

Возможные причины пожара на рабочем месте:

- нарушение правил пожарной безопасности;
- нарушение правил ведения работы;
- нарушение правил устройства и эксплуатации электрооборудования;
- неисправность электрооборудования.

Необходимо проводить инструктаж о правилах пожарной безопасности раз в полугодие. Начальник подразделения, в котором проводятся работы, отвечает за обеспечение пожарной безопасности в случае проведения пожарных работ.

Чтобы локализовать или ликвидировать пожар на начальном этапе применяются первичные пожарные средства. Первичные пожарные средства обычно используются до приезда пожарных. Углекислотный (ОУ-2) необходимый для тушения огнетушитель порошковый для тушения подстанций до 1000 В, также данный огнетушитель применяется для тушения документов. Переносной порошковый огнетушитель применяется для тушения токоведущей части электрооборудования, к примеру, ОП-5.

Переносные огнетушители должны находиться в сооружениях и зданиях общественного назначения в количестве не менее 2-ух штук. В помещениях должны быть видны места расположения огнетушителей, они должны

располагаться рядом с выходом на высоте не более 1,35 метров. В здании должны быть соответствующие требования безопасности пожара, т.е. наличие сигнализации о пожаре, плана эвакуации при пожаре, порошковые огнетушители с поверенным логотипом, табличка с указанием пути эвакуации.

Необходимые мероприятия для тушения пожара:

1. Обеспечить подъезд к зданию.
2. Обесточивание кабелей электропроводки
3. В наличии должна быть тара с песком, щитки пожарные, гидранты с пожарным рукавом.
4. Присутствие датчика тепла
5. Оперативная связь с пожарной службой
6. Наличие огнетушителя

Для тушения пожара предусмотрены средства в соответствии с МДС 21-1-98 [45]: пожарный кран с рукавом, огнетушитель ручной углекислый ОУ-5. В каждом кабинете должно иметься средство пожаротушения.

Выводы по разделу

Из приведённой главы «Социальная ответственность» можно сделать вывод, что фактические значения выявленных факторов, соответствуют нормативным значениям.

Согласно «Правила устройства электроустановок (ПУЭ)» [43] устройство, рассмотренное в данной диссертации можно отнести к электроустановка размещённым внутри здания, защищающего их от атмосферного воздействия. Помещение согласно ПУЭ относится к сухому помещению, по опасности поражения людей электрическим током помещение с шестистепенным вибрационным стендом относится к помещениям без повышенной опасности.

Спроектированное устройство относится к устройствам до 1 кВ и имеет индекс И2 для допуска работы персонала согласно Приказу Минтруда России «Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок» [48].

По категории взрывопожарной и пожарной опасности помещение с данной установкой можно отнести к категории Г согласно «Техническим регламентом о требованиях пожарной безопасности» [46]. Статья 8 Регламента определяет классы пожаров.

Помещение, в котором находится вибрационная шестистепенная установка относится к IV категории помещения согласно Постановлению Правительства РФ «Об утверждении критериев отнесения объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, к объектам I, II, III и IV категорий» [47].

Заключение

По итогу работы был проделан анализ существующих вибрационных устройств, а также устройств с параллельной кинематикой и области их применения. Далее была создана 3D модель шестистепенного вибрационного стенда в программном продукте SolidWorks. При помощи виртуальной модели было проведено исследование движения толкателей. В результате получены графики зависимости движения шести толкателей, а также таблицы перемещения толкателей для различных осей X, Y, Z, A, B.

Движение толкателей осуществляются при помощи шарико-винтовой пары воздействие на которую подаётся с шагового двигателя через ременную передачу. Получена зависимость движения толкателя от двигателя, а именно для перемещения толкателя на 1 мм, необходимо совершить 40 шагов двигателю. Также подсчитана зависимость от перемещения толкателей и движения двигателя. Ускорение свободного падения – g не более 10 м/с для частоты от 30 до 50 Гц, при перемещении и скорости в диапазоне заданной величины. На основе полученных зависимостей движения получены уравнения движения толкателей.

Возможно оценить – какова суммарная координата по перемещению одной или нескольких координат. Параллельные перемещения суммируются. Соответственно если среднее значения p большое число – то и вибрации максимальные. Жёсткость и устойчивость механизма максимальная, когда перемещение толкателей, создающих амплитуды перемещения минимальны. И наоборот устойчивость и жёсткость минимальны, когда некоторые толкатели перемещаются на максимальное расстояние. В зависимости от того, где находится центр M , при постоянной массе стола (и закреплённой нагрузке). Жёсткость будет разной, а также будут разные вязкие сопротивления. В разных точках будут разные доли влияния приводов, на вибрации, которые происходят на столе.

Список публикаций студента

1. Концептуально – конструкторское решение по модернизации токарного станка. Кухта М. С. Черниченко А. В. XIV Международная научно-техническая конференция «Современные проблемы машиностроения» 30.10.2021 год. URL: https://portal.tpu.ru/science/konf/meacs/outcomes/Sbornik_SPM_2021.pdf (дата обращения 05.05.22). – Текст: электронный.
2. Дизайнерский проект детской ключницы. Кухта М. С. Черниченко А. В. V Всероссийская научная конференция «Современные технологии концептуального конструирования» 10.11.2021 год.

Список использованных источников

1. Испытательное оборудование Shinken серия G-8 / / ТестПартнёр – лучшее для испытаний [Электронный ресурс] / / URL: https://testpartner.ru/shinken_g8 (дата обращения: 19.05.2022)
2. Испытательное оборудование Shinken серия G-8 / / ТестПартнёр – лучшее для испытаний [Электронный ресурс] / / URL: https://testpartner.ru/shinken_g6 (дата обращения: 19.05.2022)
3. Шестикомпонентный вибрационный стенд [Текст] : пат: 167857 Рос. Федерация : G01M 7/06 C 01/17
4. Image stabilization and multi-axis patterned motion simulation / / Motion Technology [Электронный ресурс] / / URL: <https://www.pi-usa.us/en/tech-blog/image-stabilization-and-multi-axis-patterned-motion-simulation/> (дата обращения: 08.05.2022)
5. Why google engineers can make better cameras using pi's direct-drive hexapod multi-axis motion platform / / Motion Technology [Электронный

- ресурс] / / URL: <https://www.pi-usa.us/en/tech-blog/why-google-engineers-can-make-better-cameras-using-pis-direct-drive-hexapod-multi-axis-motion-platform/> (дата обращения: 22.04.2022)
6. Blog Oshimari // 6DOF stewart platform motion simulator [Электронный ресурс] / / URL: <http://blog.oshimari.com/221137586182> (дата обращения: 05.05.2022)
7. Black holes and hexapods // Motion Technology [Электронный ресурс] / / URL: <https://www.pi-usa.us/en/tech-blog/black-holes-and-hexapods/> (дата обращения: 21.04.2022)
8. Hexapods enable precise 6-axis patient positioning couches for radiotherapy // Motion Technology [Электронный ресурс] / / URL: <https://www.pi-usa.us/en/tech-blog/hexapods-enable-precise-6-axis-patient-positioning-couches-for-radiotherapy/> (дата обращения: 21.04.2022)
9. Gyroscopic stabilization of a hexapod 6-axis positioning platform // Motion Technology [Электронный ресурс] / / URL: <https://www.pi-usa.us/en/tech-blog/gyroscopic-stabilization-of-a-hexapod/> (дата обращения: 21.04.2022)
10. Александров В.В., Садовничий В.А., Чугунов О.Д. Математические задачи динамической имитации полета. М.: Изд-во МГУ. 1986. 181 с.
11. Александров В.В. О постановке задач динамической имитации полета // Гагаринские научные чтения по космонавтике и авиации; 1983, 1984 гг. М.: Наука. 1985. С.75-78.
12. Clavel, R. DELTA, a fast robot with parallel geometry / R. Clavel // In 18th Int.Symp. on Industrial Robot. – Lausanne. - 1988. – 26-28 April.- P. 91–100.

13. Zlatanov, D. A family of new parallel architectures with four degrees of freedom / D. Zlatanov, C. M. Gosselin // In F.C. Park C.C. Iurascu, editor, Computational Kinematics, pages 57–66. EJCK, May, 20-22, 2001.
14. Бушуев В.В., Еремин А.В., Какойло А.А. и др. Металлорежущие станки. Под редакцией Бушуева В.В. Т.2. – Машиностроение, 2011. С. 463-470.
15. Афонин В.Л., Крайнев А.Ф., Ковалев В.Е. и др. Обработка нового поколения. М.: Машиностроение, 2001.-256 с.
16. Корендясев А.И., Саламандра Б.Л., Тывес Л.И. и др. Манипуляционные системы роботов. М.: Машиностроение. 1989. 472 с.
17. Смирнов В.А. Алгоритм управления механизмом с параллельной кинематической структурой. Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2005. – Вып. 7. - №14(54). – С. 23-27.
18. Waldron, K. J. Kinematics of a hybrid series-parallel manipulation system / K. J. Waldron, M. Raghavan, B. Roth // J. of Mechanisms, Transmissions and Automation in Design, 111(2):211–221, June 1989.
19. Lee, K-M. Kinematic analysis of a three-degrees-of-freedom in-parallel actuated manipulator / K-M. Lee, D.K. Shah // IEEE J. of Robotics and Automation, 4(3): 354–360, June 1988.
20. Design of parallel robots in microrobotics / E. Pernette and others // Robotica. – 1997. - № 15(4) July – August. – P. 417–420.
21. Gosselin, C. Kinematic analysis optimization and programming of parallel robotic manipulators. / C. Gosselin // Ph.D. Thesis, McGill University, Montr'eal, June, 15, 1988.

22. Zhang, M. D. Study of three-degree-of-freedom parallel platforms for reactional compensation / M. D Zhang, S. M. Song // In ISRAM, pages 373–378, Hawa'i, August, 14-18, 1994.
23. Design and performance of the four d.o.f. motion system of the NLR research flight simulator / W. P. Koeversmans and others // In AGARD Conf. Proc. No 198, Flight Simulation. – La Haye, 1975. - October, 20-23. – P. 17–1/17–11.
24. Merlet J.-P. Parallel Robots / J.-P. Merlet. - 2nd ed., Springer Dordrecht, The Netherlands, 2006.
25. Fichter, E. F. A Stewart platform based manipulator: general theory and practical construction / F. F. Fichter // Int. J. of Robotics Research. – 1986. - № 5(2) Summer. - P. 157–181.
26. Hara, A. Synthesis of Parallel Micromanipulators / A. Hara, K. Sugimoto // Trans. ASME J. Mech., Trans. And Automat. Design. - 1989. - XS 1. - P. 34-39.
27. Koliskor, A. Sh. The l-coordinate approach to the industrial robot design / A. Sh. Koliskor // In V IFAC/IFIP/IMACS/IFORS Symposium, pages 108–115, Suzdal, URSS, April, 22-25, 1986.
28. Reboulet, C. Hybrid control of a manipulator with an active compliant wrist / C. Reboulet, A. Robert // In 3rd ISRR, pages 76–80, Gouvieux, France, October, 7-11, 1985.
29. Geng, Z. Six-degree-of-freedom active vibration isolation using a Stewart platform mechanism / Z. Geng, L S. Haynes // J. of Robotic Systems. -1993. - № 10(5) July. – P. 725–744.

30. Locally linearized dynamic analysis of parallel manipulators and application of input shaping to reduce vibrations / K. Kozak and others // ASME J. of Mechanical Design. – 2004. - January. - № 126(1). - P. 156–168.
31. McInroy, J. E. Modeling and design of flexure jointed Stewart platforms for control purposes / McInroy J. E. // IEEE/ASME Trans. on Mechatronics, 7(1): 95–99, March 2002.
32. Selig, J. M. Theory of vibrations in Stewart platforms / J. M. Selig, X. Ding // In IEEE Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS), pages 2190– 2195, Maui, Hawaii, October 29- November 3, 2001.
33. Sayapin, S. N. Application of parallel kinematics machines for active vibration isolation and pointing of high-precision large deployable space structure (HLDSS). / S. N. Sayapin // In 3rd Chemnitz Parallelkinematik Seminar, pages 957–962, Chemnitz, April, 23-25, 2002.
34. Домнин, Д.А. Метод улучшения вибродемпфирующих параметров автомобильной подвески путем выбора рациональных параметров динамических гасителей колебаний колес: дис. канд. техн. наук: 05.05.03 / Домнин Дмитрий Александрович. – М., 2005. – 128 с.

Нормативная документация

35. ТК РФ от 30 декабря 2001 года. N 197 - ФЗ (ред. от 25.02.2022 года) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.03.2022) Принят Государственной Думой 21 декабря 2001 года. Одобрен Советом Федерации 26 декабря 2001 года: дата введения 2001-12-30. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/901807664> (дата обращения: 22.02.2022).
– Текст: электронный.

36. ГОСТ 12.2.032-78. Межгосударственный стандарт. Рабочее место при выполнении работ сидя. Введен в действие постановлением Государственного комитета стандартов Совета Министров СССР от 26 апреля 1978 г. N 1102. Переиздание Апрель 2001 г. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200003913> (дата обращения 01.03.2022). – Текст: электронный.

37. СП 2.4.3648-20. Санитарно-эпидемиологические требования к организациям воспитания и обучения, отдыха и оздоровления детей и молодежи. Дата принятия 28 сентября 2020 года. Дата начала действия 01 января 2027 года. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/566085656> (дата обращения 10.02.2022). – Текст: электронный.

38. МУК 4.3.2756-10. Методические указания по измерению и оценке микроклимата производственных помещений. Дата принятия 12 ноября 2010 года. Дата начала действия 12 ноября 2010 года. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200085911> (дата обращения 22.02.2022). – Текст: электронный.

39. СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. Дата принятия 28 января 2021 года. Дата начала действия 01 марта 2021 года. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/901704046> (дата обращения 24.02.2022). – Текст: электронный.

40. СП 51.13330.2011 Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003 (с Изменениями N 1, 2). Дата принятия 28 декабря 2010 года. Дата начала действия 20 мая 2011 года. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200084097> (дата обращения 21.03.2022). – Текст: электронный.

41. ГОСТ 12.1.012-2004 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вибрационная безопасность. Общие требования. Дата принятия 12 декабря 2007 года. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200059881> (дата обращения 16.04.2022). – Текст: электронный.
42. СП52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95* (с Изменением N 1). Дата принятия 07 ноября 2016 года. Дата начала действия 08 мая 2017 года – URL: <https://docs.cntd.ru/document/456054197> (дата обращения 15.01.2022). – Текст: электронный.
43. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). Дата принятия 06 октября 1999 года. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200003114> (дата обращения 02.03.2022). – Текст: электронный.
44. ГОСТ Р 22.0.07-95. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Источники техногенных чрезвычайных ситуаций. Классификация и номенклатура поражающих факторов и их параметров. Дата принятия 02 ноября 1995 года. Дата начала действия 01 января 1997 года. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200001514> (дата обращения 01.03.2022). – Текст: электронный.
45. МДС 21-1-98. Предотвращение распространения пожара. Пособие к СНиП 21-01-97 "Пожарная безопасность зданий и сооружений". Дата принятия 01 января 1998 года. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200005811> (дата обращения 22.02.2022). – Текст: электронный.
46. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности (с изменениями на 30 апреля 2021 года). Дата принятия

22 июля 2008 года. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902111644> (дата обращения 20.03.2022). – Текст: электронный.

47. Об утверждении критериев отнесения объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, к объектам I, II, III и IV категорий (с изменением на 7 октября 2021 года). Дата принятия 31 декабря 2020 года. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573292854> (дата обращения 19.03.2022). – Текст: электронный.

48. Федеральный закон от 24.06.1998 N 89-ФЗ (ред. от 02.07.2021) "Об отходах производства и потребления" (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.03.2022). Дата принятия 24 июня 1998 года. URL: <https://docs.cntd.ru/document/901711591> (дата обращения 20.03.22). – Текст: электронный.

49. Защита от вибрации: Учебное пособие для самостоятельного изучения и к практическим занятиям для студентов / С.Г.Кашина. – Казань: Изд-во Казанского гос. Архитект. – строит. ун-та, 2012. – 133 с.

50. ГОСТ 12.1.005-88. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. Дата принятия 29 сентября 1988. Дата начала действия 01 января 1989 года. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200003608> (дата обращения 16.04.22). – Текст: электронный.

51. Федеральный закон от 09.03.2021 N 39-ФЗ "О внесении изменений в Федеральный закон "Об охране окружающей среды" и отдельные законодательные акты Российской Федерации". Дата изменения 9 марта 2021 года. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_378689/ (дата обращения 16.04.22). – Текст: электронный.

52. Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания". СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. Дата принятия 28 января 2021. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (дата обращения 16.04.22). – Текст: электронный.

53. Постановление Правительства РФ от 29.07.2013 N 644 (ред. от 30.11.2021) "Об утверждении Правил холодного водоснабжения и водоотведения и о внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации". URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_150474/d4c6cb4e5630ac0fbc8c7ff7aba49e22c1cca718/ (дата обращения 16.04.22). – Текст: электронный.

Приложение А

Приложение А

Раздел 6

Раздел на иностранном языке

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4НМ01	Черниченко Алексей Владимирович		

Консультант школы отделения ИШНПТ

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Крауиньш Петр Янович	д.т.н.		

Консультант – лингвист отделения ОИЯ школы

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Зяблова Наталия Николаевна	к.ф.н		

5. Social responsibility

Introduction

The purpose of this dissertation is to study classes of mechanisms of parallel kinematics. In this case, the direct and inverse problems of kinematic and dynamic analysis are solved, the necessary conditions for stability, the equilibrium position, and the definition of working zones are determined. The widespread use of such mechanisms in mechanical engineering leads to the formulation of the above tasks in kinematics, dynamics, stability. The solution of these problems based on the methods of analytical physics is of practical importance, therefore this work is relevant.

This installation can be used in mechanical engineering, medicine and construction. The minimum dimensions of the room for working with a six-stage vibration stand are 7×7 m. Necessary equipment for work: a PC, a vibrating stand, a platform for installing a stand, a chair and a table for convenient work of the worker. During the operation of the vibration stand, the test object installed on the work site of the stand is moved to the vibration test. This stand moves along the X, Y, Z, A, B axes, which allows you to create the most approximate conditions to the real ones that the test object will be subjected to during daily operation. The movable elements of the upper platform are necessary in order to move the center point relative to the fixed element (the lower platform). The movements of the upper platform are carried out thanks to six drives located along the edges of the lower platform. Movement of each drive independently and does not depend on the movement of the other drives, therefore, it is possible to make movements along six coordinates, which will significantly increase the use of this vibration stand and will create more working situations for a specific test task. The amount of controlled coordinate required to create an orientation for the upper platform is related to the spatial orientation of the drive position and its type (angular or linear movements) and the number of degrees of motion provided by the articulated support (2 and 3 degrees).

5.1 Legal and organizational issues of security

Special features for the production area

The legal norms of the employee labor legislation in accordance with Article 91 of the Labor Code of the Russian Federation dated December 30, 2001. N 197 - FZ (ed. from 02/25/2022) (with amendments and additions, intro. effective from 01.03.2022). Working hours are considered as the time when an employee performs its work in accordance with the rules. The internal work schedule and the terms of the contract must be adopted in accordance with the internal work schedule and conditions. Normal working days cannot exceed 40 hours per week [1].

The protection of personal data of an employee is regulated by Article 86-90 of the Labor Code of the Russian Federation No. 197 – FZ dated 12/30/2001 (ed. dated 02/25/2022) (with amendments and additions, intro. effective from 01.03.2022).

Information on wages and labor standards is contained in Article VI (Articles 129-163) of the Labor Code of the Russian Federation of December 30, 2001. Order No. 197 - FZ (ed. of 02/25/2022) (with amendments and additions, intro. effective from 01.03.2022).

Organizational design of the layout of the researcher's workspace

The organization of the workspace is one of the indicators of work comfort. The working platform must meet the requirements of GOST 12.2.032-78 [2]. The design of the production equipment and workplace must ensure the optimal position of the worker, which is achieved by regulation:

- work surface, seat and legroom height.
- seat and footrest height (workbench height is not controlled). In this case, the height of the work surface is set according to the nomogram of the worker with a height of 1800 mm. The best working position for workers with lower heights is achieved by increasing the height of the work seat and footstool by an amount equal to the difference between the height of

the work surface of a worker with a height of 1800 mm and the height of the work surface that is most suitable for the growth of the worker.

It is recommended to use pastel colors for the interior of the room. The coloring of the computer and the equipment that are attached to it should be dark, with high-contrast controls and an inscription to it. Recommended colors for the production room:

- the ceiling color should be white.
- the walls should be covered with beige paint.
- the lower part is beige.

The smooth, non-slip material with antiseptic properties is considered the most acceptable for finishing the floor.

When organizing a room, it is necessary to take into account the distance between the monitor and the back of another monitor - the distance should be at least 1.2 meters. At least 2 meters should be the distance between the back of the monitor and the other screen. The table should be height adjustable by 690-810 mm, if such an opportunity is not provided, then the height of the table should be 725 mm, if such an opportunity is not provided according to SP 2.4.3648-20 "Sanitary and epidemiological requirements for the organization of education and training, recreation and health improvement of children and youth" [3].

This dissertation work requires the use of a PC, therefore, the sites for the use of a PC must comply with the requirements of the regulatory documentation SP 2.4.3648-20 these requirements are given below [3].

There are special requirements for a workplace for long-term work at a PC:

- the height of the partitions separating the workstations: At least 1.5 meters
- Width of desktop: 80~140cm
- Depth of desktop: 80~100cm
- Desktop height: 7.25cm

- Distance from eye to monitor: 60-70cm
- The location of the keyboard: from the edge of the table should be at a distance of 10 to 30 cm
- The backrest of the chair: should be adjusted by the level of inclination, and the chair itself by height
- The legs should be placed on a stand with a depth of 40 cm and a width of 30 cm, the angle of inclination is not more than 20 degrees

5.2 Analysis of industrial safety, harmful and risk factors

The factors are taken from the interstate standard GOST 12.0.003-2015. The system of occupational safety standards. Dangerous and harmful production factors. Classification.

Table 5.1 – Possible dangerous and harmful factors

№	Factors (GOST 12.0.003-2015)	Regulatory documents
1	Abnormal microclimatic parameters of the air environment	SanPiN 1.2.3685-21 "Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness of environmental factors for humans"
2	Exceeding the noise level	SP 51.13330.2011 Noise protection. Updated version of SNiP 23-03-2003
3	Increased vibration level	GOST 12.1.012-2004 System of Occupational safety Standards (SSBT). Vibration safety. General requirements
4	Absence or lack of necessary artificial lighting	SP 52.13330.2016 Natural and artificial lighting. Updated version of SNiP 23-05-95
5	When an electric circuit is closed through the human body, the current can pass through the human body	GOST 12.1.038-82 SSBT. Electrical safety. Maximum permissible levels of touch voltages and currents

Harmful factors

Abnormal microclimatic parameters of the air environment

In the production room where the worker uses a PC in his work, optimal microclimatic parameters must be provided in accordance with the SanPiN 1.2.3685-21 standard "Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and (or)

harmlessness of environmental factors for humans." These standards are established in accordance with the characteristics of industrial premises, the time of year, the nature of labor processes [4].

This work will be performed mainly sitting, and physical stress will be negligible. The intensity of energy consumption when performing such work will not exceed 120 kcal / h (up to 139 watts). This work should be classified as category Ia. The optimal microclimatic parameters for category Ia in the workplace are presented in Table 5.2.

Table 5.2 - Optimal indoor microclimate indicators for category Ia

Period of the year	Air temperature, °C	Dynamics of air humidity, %	Air velocity, no more than, m/s
Cold	22...24	60...40	0,1
Warm	23...25	60...40	0,1

Industrial premises are heated using radiators that ensure a constant and uniform air temperature during the cold season. In order to ensure optimal microclimatic indicators in the cold season, it is necessary to use means to protect personnel workplaces from windows in order to prevent cooling. During the warm season, it is necessary to provide protection from direct sunlight.

Table 5.3 shows the norms of air supply to the rooms where computers are located. [4].

Table 5.3 – Air supply for rooms with computer equipment

The volume of the room, m ²	Required air volume supply per person per hour, m ³ / h
Until 20	No less than 30
20-40	No less than 20
More 40	Natural ventilation

In accordance with regulatory documents, the parameters of the microclimate in the production room are supported by an air conditioning system and comply with the document SanPiN 1.2.3685-21 "Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness of environmental factors for humans" [5]. The working room must have the following characteristics: indoor temperature 22-24 °C; air humidity 40-60%, air flow velocity 0.1 m/s;