

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

Институт Кибернетики

Направление подготовки 15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»

Кафедра Автоматизации и роботизации в машиностроении

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Оптимизация параметров 5D-принтера с параллельной кинематикой при расположении управляющих приводов вдоль оси цилиндра

УДК 531.01+621.392+531.07

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8НМ41	Тычинский Александр Викторович		

Руководитель

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Юдахина О.Б.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Пустовойтова М.И.	к.х.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
	Буханченко С.Е.	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»
ИК ТПУ, кафедра АРМ, руководитель ООП Крауиньш П. Я.

Код результата	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 аспектов защиты интеллектуальной собственности	Требования ФГОС ВО (ОПК -4, ПК-2, ПК-3, ПК-13, ПК-14, ПК-18). Критерий 5 АИОР (п.2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P8	<i>Активно</i> владеть <i>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 <i>члена и руководителя группы</i> , состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность <i>следовать корпоративной культуре</i> 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 <i>глубокие знания социальных, этических и культурных аспектов</i> , компетентность в вопросах <i>устойчивого развития</i> .	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	<i>Самостоятельно</i> учиться и непрерывно <i>повышать квалификацию</i> 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 образования и науки Российской Федерации

федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Кибернетики

Направление подготовки (специальность) 15.04.05 «Конструкторско-технологическое
обеспечение машиностроительных производств»

Кафедра Автоматизации и роботизации в машиностроении

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

_____ Буханченко С.Е.
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
8НМ41	Тычинскому Александру Викторовичу

Тема работы:

**Оптимизация параметров 5D-принтера с параллельной кинематикой при
расположении управляющих приводов вдоль оси цилиндра**

Утверждена приказом директора (дата, номер)

02.03.2015 г. №1406/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

09.06.2016 г.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

*(наименование объекта исследования или проектирования;
производительность или нагрузка; режим работы
(непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид
сырья или материал изделия; требования к продукту,
изделию или процессу; особые требования к особенностям
функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в
плане безопасности эксплуатации, влияния на
окружающую среду, энергозатратам; экономический
анализ и т. д.).*

Разработка в рамках проекта ES FP7 PARISE-GA-2013 -612691 конструктивной схемы 5D-принтера с параллельной кинематикой и ее исследования со следующими размерами рабочей зоны: $[x]=\pm 20$ мм; $[y]=\pm 20$ мм; $[z]=\pm 20$ мм; $[A]=\pm 10^\circ$; $[B]=\pm 10^\circ$. Точность позиционирования 0,2 мм. Провести ее кинематическое и динамическое исследование с использованием виртуальных моделей. Масса платформы 200 г.

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>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.</p>
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Конструктивная схема, графики кинематики движения, математические модели, графики переходного процесса.</p>
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>«Расчеты и аналитика»</p>	<p>Крауиньш Пётр Янович</p>
<p>«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»</p>	<p>Юдахина Ольга Борисовна</p>
<p>«Социальная ответственность»</p>	<p>Пустовойтова Марина Игоревна</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	
<p>«Литературный обзор»</p>	

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>01.09.2014 г.</p>
--	----------------------

Задание выдал руководитель:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8НМ41	Тычинский Александр Викторович		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
8НМ41	Тычинский Александр Викторович

Институт	Кибернетики	Кафедра	АРМ
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	15.04.05 Конструкторско – технологическое обеспечение машиностроительных производств

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Стоимость ресурсов принять как среднюю по г.Томску, заработную плату принять по окладу ТПУ</i>
2. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Отчисления во внебюджетные организации принять 27,1%</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	<i>Потенциальные потребители результатов исследования, Анализ конкурентных технических решений, SWOT-анализ, Определение возможных альтернатив проведения научных исследований</i>
2. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	<i>Структура работ в рамках научного исследования, Определение трудоемкости выполнения работ, Разработка графика проведения научного исследования, Расчет материальных затрат НТИ, Основная заработная плата, Дополнительные отчисления во внебюджетные фонды, Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Сегментирование рынка
2. Оценка конкурентоспособности технических решений
3. Матрица SWOT
4. График проведения и бюджет НТИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Юдахина О.Б.	К.Э.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8НМ41	Тычинский Александр Викторович		

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт	Институт Кибернетики
Направление подготовки (специальность)	15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»
Уровень образования	Магистр
Кафедра	Автоматизации и роботизации в машиностроении
Период выполнения	(осенний / весенний семестр 2015/2016 учебного года)

Студенту:

Группа	ФИО
8НМ41	Тычинскому Александру Викторовичу

Тема работы:

**Оптимизация параметров 5D-принтера с параллельной кинематикой при
расположении управляющих приводов вдоль оси цилиндра**

Утверждена приказом проректора-директора (директора)
(дата, номер)

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

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

ЗАДАНИЕ

**Исходные данные к разделу
«Социальная ответственность» и
вопросы, подлежащие разработке:**

1. *Ценность научного исследования (разработки)
для производства и общества;*
2. *Социальная ответственность предприятия в
рамках проведения научного исследования.*

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Пустовойтова М.И.	К.Х.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8НМ41	Тычинский Александр Викторович		

РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация 120 страниц, 66 рисунков, 29 таблиц(ы), 42 источника, 2 приложения.

Ключевые слова: 5D-принтер, параллельная кинематика, кинематика движения, управляющий привод движения, оптимизация параметров.

Объектом исследования является 5D-принтер с параллельной кинематикой при расположении приводов вдоль оси цилиндра.

Целью работы является разработка концептуальной схемы конструкции 5D-принтера.

В процессе работы был приведен обзор типов и компоновок устройств с параллельной кинематикой, произведен обзор принтеров, даны соответствующие понятия и определения. Разработана конструкция 5D принтера. Построена кинематическая схема устройства. Произведён проектный и кинематический расчет. Во второй части работы построены математические модели 5D принтера с параллельной кинематикой.

Магистерская диссертация выполнена в текстовом редакторе MicrosoftWord 2010.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
1. Литературный обзор	6
2. Объект и методы исследования	17
3. Расчёты и аналитика	18
3.1 Исследовательская часть	19
3.1.1 Описание устройства и составных элементов	23
3.2 Исследование кинематики	27
3.2.1 Описание устройства алгебраически	27
3.3 Математическая модель установки	44
3.3.1 Принципы и подходы к построению математических моделей	44
3.3.2 Описание установки	47
3.3.3 Расчет жесткости и вязкого трения конструкции	50
3.3.4 Составление блок-схем и дифференциальных уравнений математических моделей	52
3.3.5 Результаты исследования	59
3.3.5.1 Построение графиков и их анализ	59
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	65
4.1 Общие сведения о научном исследовании	66
4.1.2 Потенциальные потребители результатов исследования	67
4.2 Анализ конкурентных технологических решений	68
4.3 SWOT анализ	68
4.4 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований	71
4.5 Планирование научно – исследовательских работ	72
4.5.1 Структура работ в рамках научного исследования	72
4.5.2 Определение трудоёмкости выполняемых работ	72
4.5.3 Разработка графика проведения научного исследования	74

4.6. Бюджет научно-технического исследования	76
4.6.1 Расчёт материальных затрат	77
4.6.2 Основная заработная плата исполнителей	78
4.6.3 Дополнительная заработная плата исполнителей	80
4.6.4 Отчисления во внебюджетные фонды	81
4.6.5 Оплата работ, выполняемых сторонними организациями и предприятиями	82
4.6.6 Накладные расходы	84
4.6.7 Формирование бюджета затрат н/и проекта	84
4.6.8 Оценка экономической эффективности проекта	85
5. Социальная ответственность	86
5.1 Анализ установки	87
5.2 Польза для человечества	89
5.3 Социальная ответственность работодателя	89
5.4 Требования к производственным помещениям	90
5.5 Микроклимат	91
5.6 Освещение на рабочем месте	92
5.7 Требования к организации освещения производственных помещений и рабочих мест	93
5.8 Анализ пожаро-взрывоопасности	95
5.9 Средства пожаротушения	95
5.10 Организационные меры по обеспечению пожаробезопасности	95
5.11 Мероприятия противопожарной профилактики	96
5.12 Медико-профилактическое обслуживание работников	97
5.13 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	98
Заключение	100
Список использованных источников	101
Приложение А	105
Приложение Б	116

Введение

Механизмы с параллельной кинематикой за последнее время получили достаточно большое распространение [1, 2], особенно в механизмах, требующих значительных скоростей движения рабочих органов и большое быстродействие. Число степеней свободы подвижного рабочего органа выбирается исходя из требований, предъявляемых к механизму, в нашем случае - 5 степеней: координаты X, Y, Z, A, B). Отличительная особенность механизмов с параллельной кинематикой заключается в том, что управляемые координаты приводов зависимы, поэтому положение точки на рабочем органе при движении по одной из декартовых координат зависит от всех управляемых координат приводов.

Актуальность работы.

Цель данной диссертации состоит в исследовании возможных механизмов с параллельной кинематикой. При этом решаются прямая и обратная задачи кинематики и динамики, определяются необходимые условия для устойчивости положения равновесия и определения рабочей зоны. Широкое применение в машиностроении подобных механизмов влечет за собой постановку перечисленных задач кинематики, динамики, устойчивости. Решения этих задач, основанные на методах аналитической механики, имеют практическую значимость, поэтому настоящая работа является актуальной.

Цель работы.

Разработка методов расчета и оценки влияния конструктивно-технологических параметров на динамические характеристики устройства на основе математического моделирования и теоретико-экспериментальных исследований для обеспечения качественных технологических режимов функционирования, достижение быстродействия.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие основные задачи:

Разработка математической модели состоит из следующих этапов:

1. Анализ разработанной конструкции движения и определение его параметров и построение расчетной схемы динамической системы.
2. Описание расчетной схемы системой дифференциальных уравнений.
3. Построение характеристик.
5. Определение рабочей зоны устройства.
6. Анализ динамического качества по его динамическим характеристикам.

Достоверность полученных результатов

Достоверность полученных результатов обеспечивается последовательным решением поставленных задач от простого к сложному путем корректного применения классических методов аналитической механики, математического анализа и теории дифференциальных уравнений. Результаты подтверждаются полученными данными при проведении экспериментальных опытов с построенными моделями, а также согласуются с выводами других авторов.

1 Литературный обзор

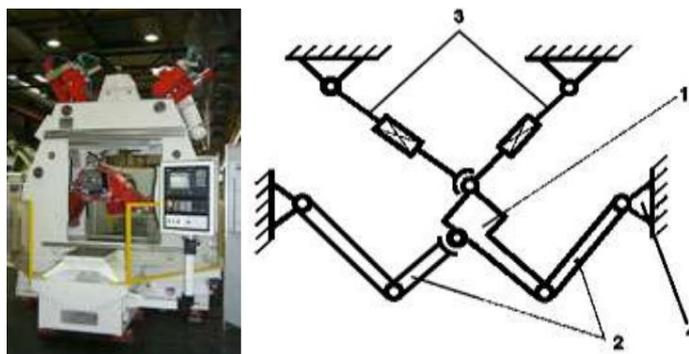
1.1. Литературно-патентный обзор механизмов с параллельной кинематикой

В самом общем виде все механизмы с параллельной кинематикой можно разделить на группы по числу степеней подвижности выходного звена, по виду привода, по типу управления и по области использования.

Двухстепенные механизмы с параллельной кинематикой.

Данные механизмы являются самыми простейшими представителями технологического оборудования, выполненного на основе механизмов параллельной структуры. Они представляют собой механизм параллельной структуры с двумя параллельными кинематическими цепями, с двумя управляемыми приводами, расположенными в кинематических цепях по одному в каждой, и обеспечивают перемещение выходного звена по двум независимым координатам.

Многоцелевой станок Dyna-M (Dynamil-Projekt) (рисунок. 1, а) выполнен по схеме с переменными длинами штанг и двумя дополнительными кинематическими цепями без приводов. Выходное звено 1 соединено с основанием двумя кинематическими цепями в виде штанг переменной длины с приводами 3 и двумя кинематическими цепями без приводов 2 (рис. 1, б). Кинематические цепи 2 используются для повышения жесткости в направлении перпендикулярном плоскости схемы и являются пассивными кинематическими цепями, которые могут быть использованы для повышения жесткости структуры, а также для изменения структуры движения выходного звена. Максимальная скорость рабочего органа станка 90 м/мин, а ускорение 1,5 g, объем рабочего пространства 630x630x500 мм³.



а)

б)

Рис. 1.1.1 Многоцелевой станок Dyna-M:

а – общий вид станка, б – кинематическая схема.

Трехступенные механизмы с параллельной кинематикой.

Данная группа механизмов параллельной структуры обеспечивает перемещение выходного звена по трем независимым координатам.

Дельта-механизм.

Манипуляторы с 3 поступательными степенями свободы особенно подходят для подъемно-транспортных работ и обработки резанием. Самый известный робот с тремя поступательными степенями свободы — *Delta* (рис. 2), разработанный Клавелем [35] и Политехнической школой Лозанны.

Три манипулятора, приводимые в движение карданной передачей, крепятся к базе, расположенной сверху в виде подвесной конструкции; сходящиеся внизу манипуляторы соединены небольшой треугольной платформой, которая во время работы смещается по осям X, Y или Z, а центральный, четвёртый рычаг даёт дополнительную степень свободы - вращательную.

Такой робот продается компанией «Demagex», подразделением ABB, под названием IRB 340ABB FlexPicker, а компания “CSEM” предлагает его микро-версию.

Благодаря тому, что приводы установлены в основании базовой конструкции, а «руки» выполнены из лёгкого композитного материала, робот

может совершать до 150 захватов в минуту. Чаще всего такие роботы используются для упаковки и сортировки изделий.



Рисунок 1.1.2. Дельта-робот и одна из его промышленных реализаций - FlexPicker IRB

Микроманипулятор с тремя степенями свободы.

Показанный на рис. 3 манипулятор с 3 степенями свободы был предложен Хантом и изучался многими авторами: Госселином, Ли, Пэрнэттом (в качестве микро-робота Orion), Уолдроном . Опоры соединены с основанием вращательными шарнирами, а с подвижной платформой — шаровыми, соединенными с линейными приводами, позволяющими изменять длины опор. Такой механизм имеет поступательную степень свободы вдоль вертикальной оси и 2 вращательные. Цзан использовал такой робот для балансировки схвата космического корабля, а Уолдрон и Хатиб — как микроманипулятор (под названием Artisan).



Рисунок 1.1.3. Предложенный Хантом и Ли 3-подвижный манипулятор и пример его применения в качестве развлекательного устройства

Трипод.

The Tripod.

Трипод (рисунок 4) является трехосевым механизмом, реализующим линейные перемещения исполнительного звена по трем осям X, Y, Z . В целом трипод является «упрощенной» версией гексапода. Однако, есть и отличия. Так как три штанги не могут обеспечить угловую жесткость, в конструкцию вводят четвертую центральную штангу, главной задачей которой является воспринимать изгибные напряжения.



Рисунок 1.1.4. Промышленные роботы линейки Tricert

Четырехстепенные механизмы с параллельной кинематикой.

Механизмы с 4 степенями свободы начали изучаться давно. В 1975 г. Куверманс представил механизм летного симулятора, использующий пассивные ограничения (рис. 5). Он имел три вращательные степени свободы и одну поступательную — перемещение вдоль оси z .

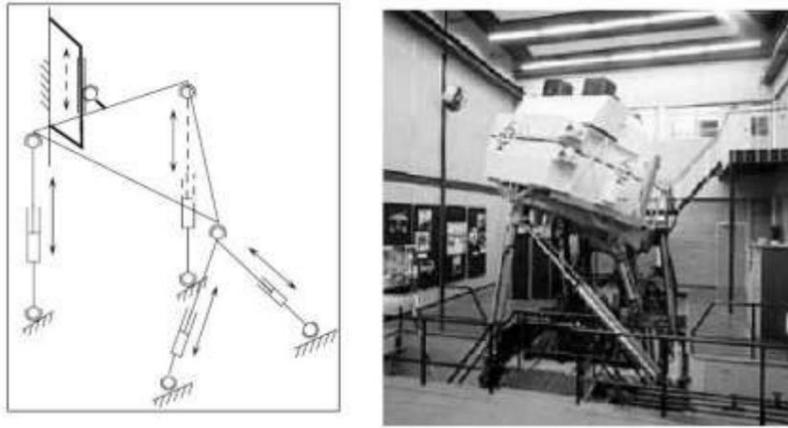


Рисунок. 1.1.5. Манипулятор Куверманса с 4 степенями свободы и пример его применения в качестве летного симулятора в NLR.

Для получения манипулятора с 4 степенями свободы можно использовать менее 4 опор, соответствующим образом расположив на них привода, либо соответствующим образом расположив оси шарниров [36].

Пятистепенные механизмы с параллельной кинематикой.

При проектировании роботов с 5 степенями свободы также следует полагаться на пассивные ограничения либо специфические конструкции. Такие роботы интересны в станкостроении, для так называемой 5-осевой обработки. Действительно, при такой обработке нет необходимости в 6 степенях свободы, так как одну степень свободы составляет вращение шпинделя. Примером станка на основе пяти степенного механизма параллельной структуры является модель Triomaxx (рис. 6). Выходное звено связано с основанием тремя кинематическими цепями в виде штанг переменной длины через карданные шарниры. Каждая цепь имеет два привода, один из которых изменяет длину штанги, а другой – угловую ориентацию шарнира вокруг оси штанги, поэтому штанги работают и на растяжение и сжатие, и на кручение [13].



Рисунок 1.1.6. Обрабатывающий центр Triomaxx

Шестистепенные механизмы с параллельной кинематикой.

Из всех ранее рассмотренных механизмов: двухстепенных, трехстепенных и т.д., шестистепенные механизмы реализуют в себе все преимущества механизмов параллельной структуры. Такие механизмы обладают высокой жесткостью, простотой конструкции и позволяют ориентировать выходное звено по шести степеням свободы.

Гексапод.

Архитектура, представленная на рис. 7, используется чаще всего. Такой тип манипулятора обычно называют платформой Гауфа или гексаподом. Гексапод представляет собой оборудование, обеспечивающее шесть степеней свободы выходному звену (платформе) и обладающее высокой точностью позиционирования. Платформа и основание гексапода связаны между собой шестью штангами, каждая из которых представляет собой поступательную пару. Штанга соединена с основанием и платформой сферическими шарнирами, и ограничена от вращения относительно продольной оси. Схема гексапода представлена на рисунке 7.

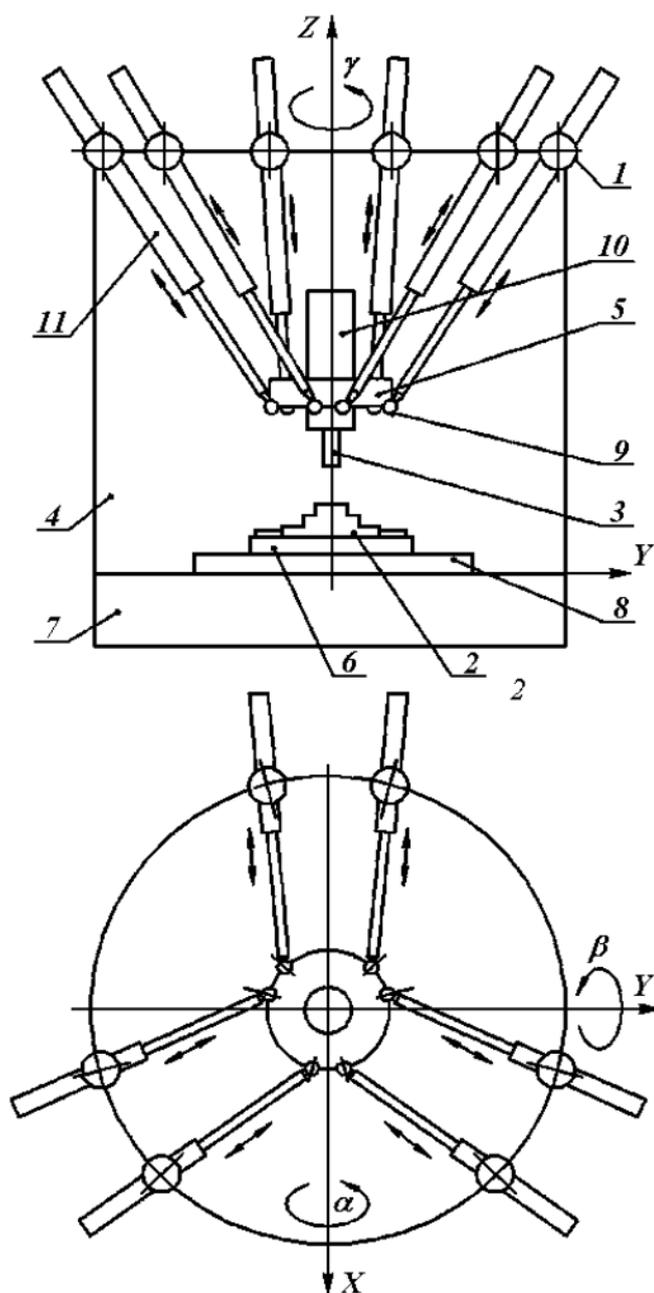


Рисунок 1.1.7. Принципиальная схема станка-гексапода

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

Первая реализация параллельного манипулятора этого типа была создана МакКаллионом из университета Кристчёрч в качестве роботизированной сборочной станции. В этом роботе двигатели располагались на неподвижном основании и приводили в движение шарико-

винтовые передачи через универсальные шарниры. Шарико-винтовые передачи позволяли изменять длины опор, соединяющих основание и подвижную платформы (рисунок 1.1.8).

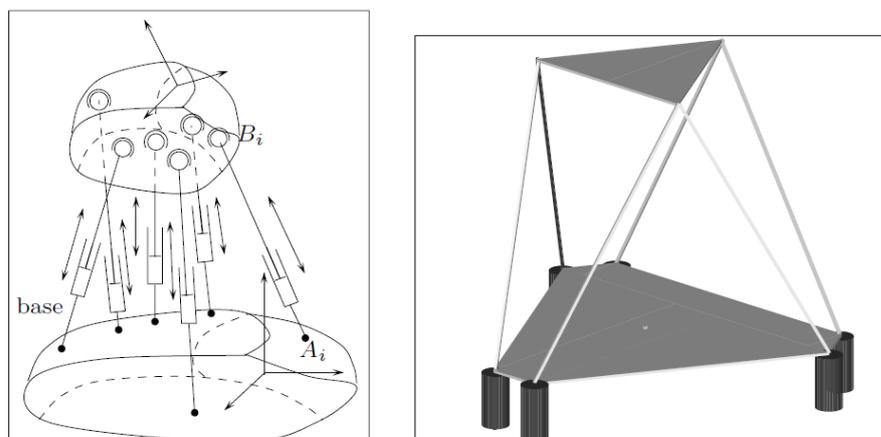


Рисунок. 1.1.8. Обобщенная структура параллельного робота с 6 степенями свободы.

На рисунке 1.1.9 показана практическая реализация гексапода — координатно-измерительная машина КИМ-1000, ООО «Лапик».

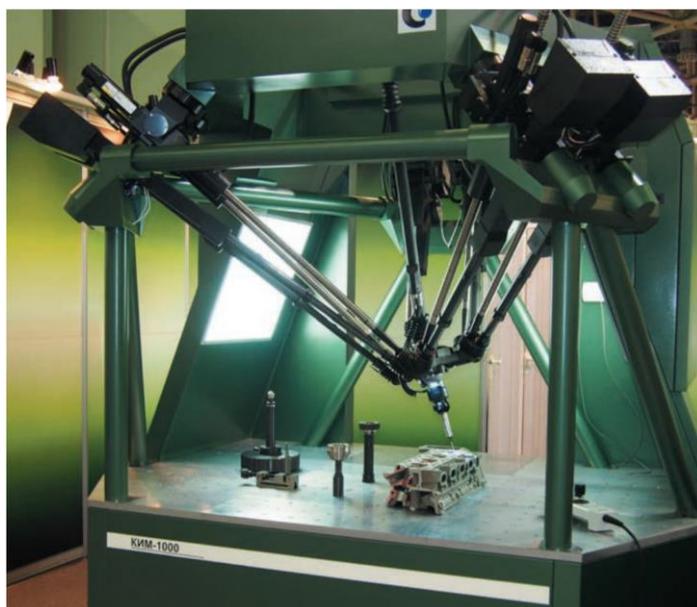


Рисунок 1.1.9. Координатно-измерительная машина КИМ-1000, ООО «Лапик».

Структура расположения пассивных пар на подвижной платформе и на основании различна. На рисунке 1.1.10. представлены компоновочные схемы

гексаподов, построенных с различными структурами крепления стержней: а) 3x3, б) 3x6, в) 6x3, г) 6x6. Расчеты показывают, что последняя структура имеет наибольшую жесткость. Однако не всегда такая структура обеспечивает оптимальные условия для доступа в рабочую область.

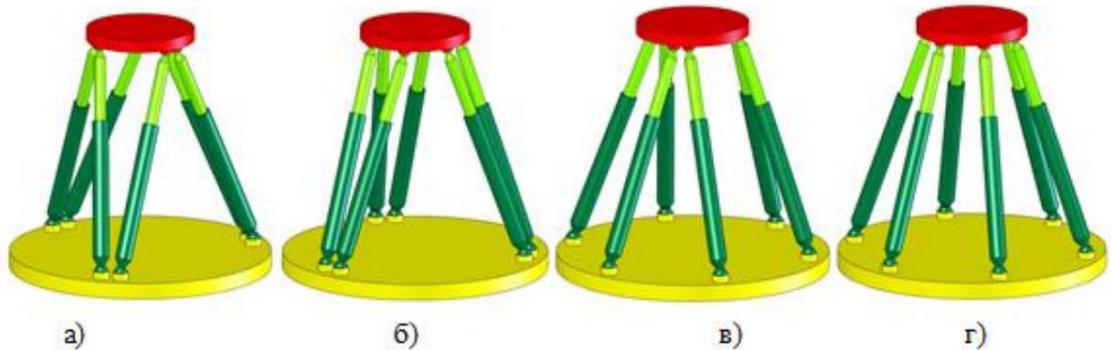


Рисунок 1.1.10. Компонентные схемы гексапода с различными структурами крепления стержней

Ротопод.

Еще одним примером шестиосевого механизма является ротопод (рисунок 1.1.11). В данной схеме ведущие двигатели расположены в поворотных шарнирах основания, а штанги имеют постоянную длину. Этим обеспечивается относительно меньшая масса самого устройства и большая скорость перемещения исполнительного узла, чем у механизма по схеме гексапод.

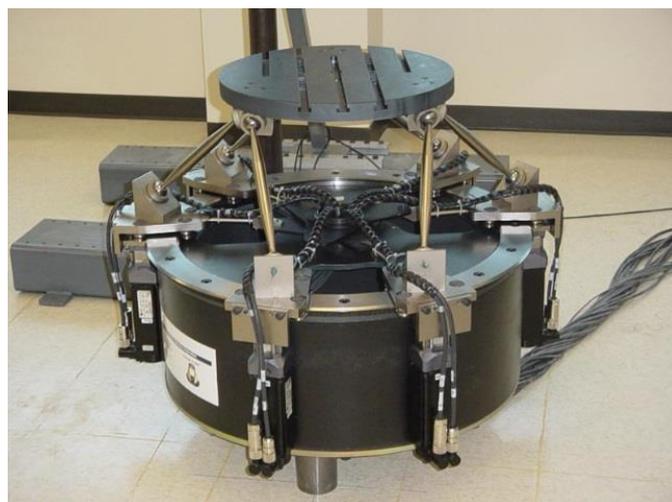


Рисунок 1.1.11. Ротопод PRSCO

Манипулятор-трипод с шестью степенями подвижности.

Манипулятор содержит рабочий орган и три идентичные параллельные кинематические цепи привода его перемещений и ориентации. Каждая из цепей состоит из двух соединенных промежуточным валом универсальных шарниров (УШ). Внутренние оси крестовин УШ параллельны, наружные оси крестовин УШ на входах кинематических цепей соединены с выходными валами блоков приводов, а наружные оси крестовин УШ на выходах кинематических цепей цилиндрическими шарнирами связаны с рабочим органом. На наружных осях крестовин двух УШ каждой кинематической цепи на равных расстояниях от центров УШ установлены два шарнира с осями, параллельными внутренним осям крестовин универсальных шарниров и соединенные жестким звеном. Длина звена равна расстоянию между центрами крестовин УШ. С наружными осями крестовин УШ на выходах кинематических цепей соединены безопорные ведущие валы дополнительно установленного механизма ориентации рабочего органа. Выходные валы блоков приводов дополнительно связаны с ведущими валами механизма ориентации рычажными механизмами, обеспечивающими параллельность осей пар упомянутых валов. Механизм ориентации рабочего органа выполнен в виде сферического рычажного механизма параллельной кинематики.

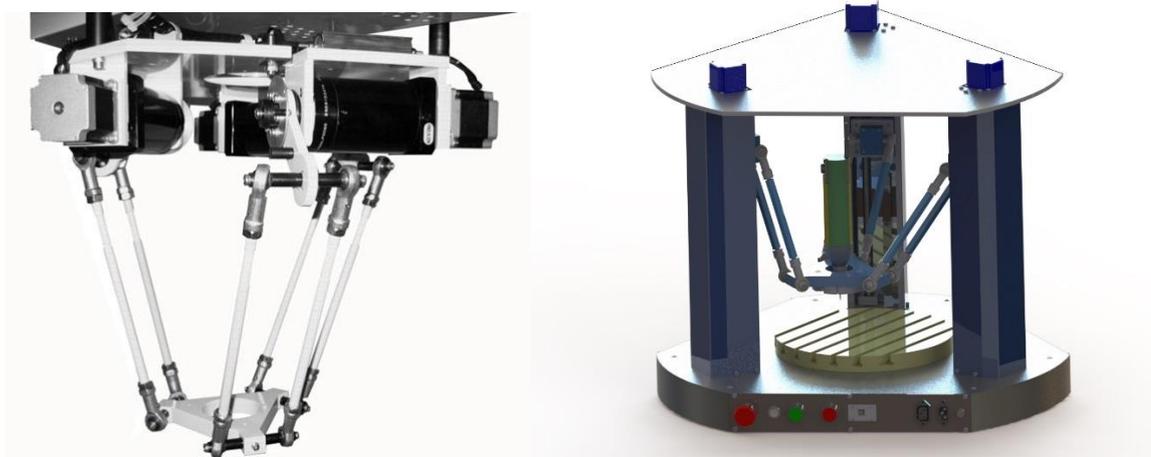


Рисунок 1.1.12. Манипулятор-трипод с шестью степенями подвижности

2. Объект и методы исследования

Объектом исследования является 5D принтер с параллельной кинематикой при расположении управляющих приводов вдоль оси цилиндра.

Данная работа предполагает исследование 5D-принтера с точки зрения кинематики и динамики с использованием виртуальных моделей, созданных в программном обеспечении Solidworks для принятых габаритов конструкции.

Данная работа выполняется в рамках большого проекта ES FP7 PARISE-GA-2013 -612691. Исходными данными являются: конструктивная схема 5-D принтера с параллельной кинематикой со следующими размерами рабочей зоны: $[x]=\pm 20\text{мм}$, $[y]=\pm 20\text{мм}$, $[z]=\pm 50\text{мм}$, $[A]=\pm 10^\circ$ $[B]=\pm 10^\circ$, $[C]=\pm 10^\circ$. Точность позиционирования $\Delta=0,2\text{мм}$ и $0,1^\circ$.

Математические модели данного 5-D принтера будут строиться посредством определения основных движений рабочего стола, составление схем и дифференциальных уравнений, написания кода в программе Pascal, и как следствие построение графиков и их анализ.

3 Расчёты и аналитика

3. Расчёты и аналитика

3.1 Исследовательская часть

Решение задач кинематики позволяет связать между собой при помощи математических зависимостей выходные координаты механизма с его обобщенными координатами: прямая задача связана с определением выходных координат по известным обобщенным; цель решения обратной задачи - определение обобщенных координат по заданным выходным.

Составление кинематических уравнений рассмотрено во многих публикациях, например, [12, 25]. Эти уравнения могут использоваться при анализе рабочего пространства механизма с параллельной кинематикой, а также при решении траекторных задач применительно к технологическому оборудованию, построенному на основе подобных механизмов [28].

Подвижный рабочий стол предназначен для выращивания на нем трехмерного каркаса сложной, произвольной формы. Управляя положением стола, по трем декартовым координатам, и добавочными наклонами стола по координатам A и B (повороты вокруг оси X и Y), можно «напечатать» трехмерный каркас со сложной поверхностью и порами, имеющие сложную пространственную ориентацию. Число требуемых управляемых координат, для обеспечений пространственной ориентации рабочей точки, зависит, как от ориентации координат привода и их вида (линейные или угловые перемещения), так и числа степеней подвижности, обеспечиваемыми шарнирными опорами (2 или 3 степени).

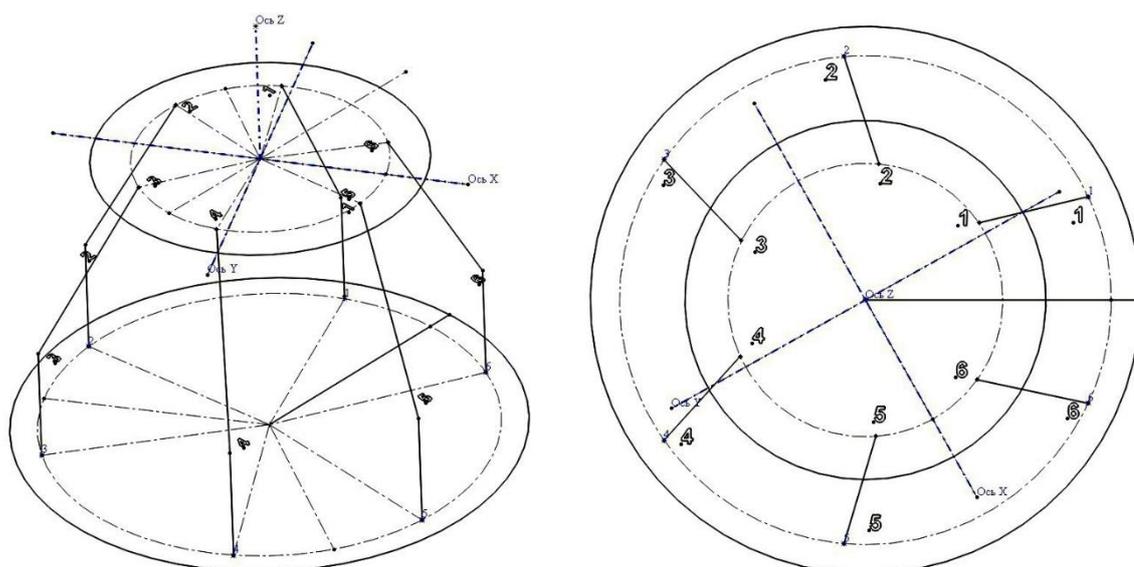


Рис.3.1.1 Кинематическая схема 5D-принтера.

В выбранной схеме все шаровые опоры имеют три степени свободы, все приводы обеспечивают линейное перемещение ползунков вдоль оси Z и расположены на образующей цилиндра с постоянным радиусом. Ползунки попарно сгруппированы, а пары, в угловом отношении, расположены под углом 120° . Аналогично попарно сгруппированы опоры на подвижном, столе. Шатуны с шаровыми опорами имеют одинаковую длину.

Анализ кинематики по виртуальной модели, созданной в программном обеспечении SolidWorks показал, что при определенном положении ползунков с опорами, и пространственное положение шатунов, обеспечивают устойчивое положение стола во всем рабочем объеме, и образуется большое количество секторов в данной системе координат, обладающими свойствами симметрии.

В большинстве разработках, посвященных анализу механизмов с параллельной кинематикой, решается прямая задача: задано движение точки на рабочем столе и по аналитическим зависимостям требуется установить связь этих координат с координатами управляемых приводов на образующей цилиндра:

$$\overline{M}(x, y, z, A, B) = \overline{P}(P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6) \quad (1)$$

Где вектор \overline{M} связан с координатами точки на рабочем столе и вектор \overline{P} , с каждым из приводов.

На основании этой системы уравнений разрабатывается алгоритм для настройки контроллера и вносятся элементы коррекции для индивидуальной настройки механизма при отклонении размеров звеньев, и их расположений. Это также усложняет программу для контроллера.

Для существенного сокращения вычислений в контроллере, необходимо каждое заданное положение вектора \bar{M} и вектора \bar{P} , априори, измерить с требуемой точностью и записать их в два взаимосвязанных, многомерных массива: массив \bar{M} с компонентами (x, y, z, A, B) и массив $P(p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, p_6)$. Тогда алгоритм управления сводится к простому поиску в массиве P , связанном с массивом M посредством указателя, требуемых компонент p_i ($i = 1 \dots 6$). Координата z , может быть опущена в связи с ориентацией осей приводов по оси Z , поэтому новое требуемое значение z потребует изменения координат p_i , ($i = 1 \dots 6$) на такую же величину.

Каждая из этих координат определяется как функция от приводов P_1 - P_6 :

$$x=f_x(p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, p_6);$$

$$y=f_y(p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, p_6);$$

$$z=f_z(p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, p_6)+z_0;$$

$$A=f_A(p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, p_6);$$

$$B=f_B(p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, p_6);$$

Рассмотрим подробно, какой объем данных требуется для хранения всех точек рабочей области, если границы этой области определены вектором \bar{M} : $-(x, y, z, A, B)$. Если задана точность позиционирования рабочего стола в точке M_j , то, рассмотрим выбранные габариты рабочего пространства: $-(x=\pm 20\text{мм}, y=\pm 20\text{мм}, z=\pm 50\text{мм}, A=\pm 10^\circ, B=\pm 10^\circ)$, а требуемую точность позиционирования Δ определим как $-(x=0,3\text{мм}, y=0,3\text{мм}, z=0,3\text{мм}, A=0,1^\circ, B=0,1^\circ)$ После расчета получаем требуемое количество точек по каждой из координат в заданном рабочем пространстве $-(x=67, y=67, z=167, A=100, B=100)$. Как было сказано

раннее координата z может быть опущена в связи с ориентацией осей приводов по оси Z .

Для каждой точки требуется 4 байта памяти, отсюда можно подсчитать необходимый объем памяти, который нам требуется:

$$[P]=67 \cdot 4 \cdot 67 \cdot 4 \cdot 100 \cdot 4 \cdot 100 \cdot 4 = 11491840000 \text{ байта} = 11,5 \text{ Гб.}$$

Как видно, практическая реализация этого алгоритма потребует огромный объем памяти.

Поэтому необходимо редуцировать данные для уменьшения объема памяти. Расположение ползунів привода на основании и опор шатунов на столе выбрано так, что измерения в одном (1) симметричном секторе, соответствуют другому сектору (2) с разницей смещения угла. При этом меняется лишь последовательность нумерации или чередование номеров приводов в массиве P . Это позволяет сократить объем памяти более чем на порядок, но данный массив еще достаточно велик.

Дальнейшая редукция данных связана с одной из нижеописанных аппроксимаций, которые позволяют существенно сократить объем данных в массиве для уменьшения необходимого объема памяти.

3.1.1 Описание устройства и составных элементов

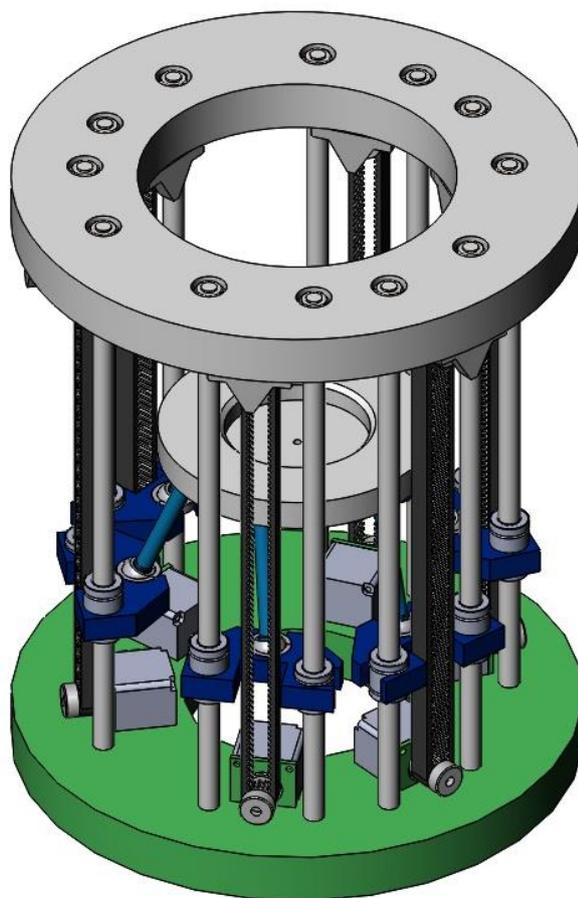


Рисунок 3.1.1.1- устройство 5 D принтера

Шарнирный подшипник ШС8К.

Габаритные размеры и конструкция подшипника:

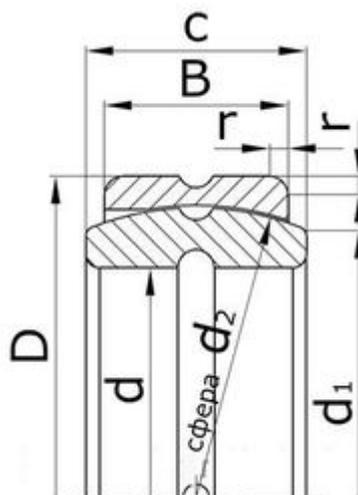


Рисунок 3.1.1.2. Подшипник шарнирный ШС8К

Технические характеристики описаны в Таблице 3.1.2

Таблица 3.1.2

Параметр	Обозначение	Значение	Единицы
Внутренний диаметр подшипника	d	8	мм
Наружный диаметр подшипника	D	17	мм
Диаметр пересечения сферы с торцом кольца подшипника	d ₁	10	мм
Диаметр сфер колец подшипника	d ₂	13	мм
Ширина наружного кольца подшипника	B	5	мм
Ширина внутреннего кольца подшипника	c	8	мм
Радиус монтажной фаски подшипника	r	0.5	мм
Масса подшипника	m	0.008	кг

Шаговый двигатель серии FL20STH42-0804A.

Основные характеристики шагового двигателя серии FL20STH 42-0804A представлены в таблице 3.1.3:

Таблица 3.1.3:

Модель	Напряжение питания	Ток/фаза	Сопрот./фаза	Индукт./фаза	Крутящий момент	Кол-во выводов	Момент инерции ротора	Вес	Длина
	В	А	Ω (Ом)	мГн	г·см		кг·м ²	кг	мм
FL20STH42-0804A	4,32	0,8	5,4	1,5	300	4	$3,6 \times 10^{-7}$	0,08	42

Технические характеристики шагового двигателя серии FL20STH 42-0804A представлены в таблице 3.1.4:

Таблица 3.1.4:

Наименование	Значение
Угловой шаг, град	1.8°
Погрешность углового шага, град	±5%(полный шаг, без нагрузки)
Погрешность сопротивления обмоток двигателя, %	±10%
Погрешность индуктивности, %	±20%
Повышение температуры	80 °C Max.(рабочий ток, 2 фазы)
Рабочая температура	-20 °C~+50 °C
Сопротивление изоляции	100MΩMin., 500VDC
Максимальное радиальное биение вала двигателя, мм	0.02
Максимальное осевое биение вала двигателя, мм	0.08

Габаритные размеры и конструкция двигателя:

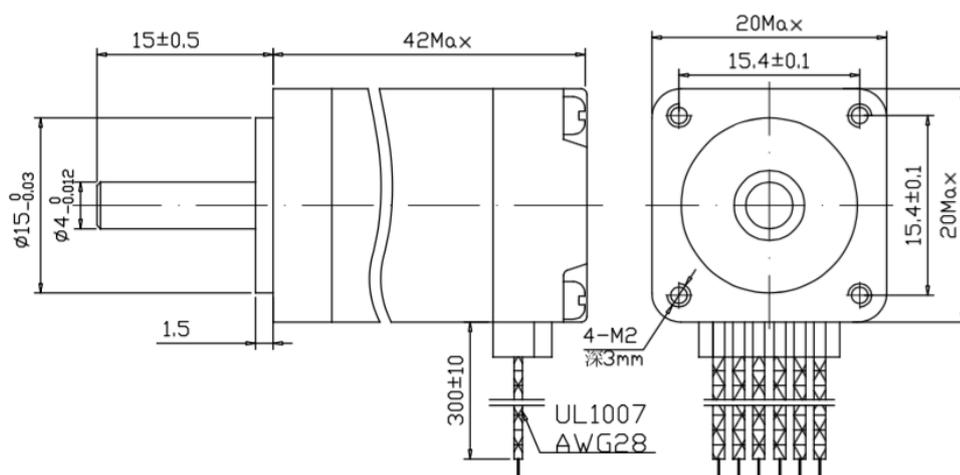


Рисунок 3.1.1.3 Шаговые двигатели серии 28H4(X)-V

Зубчатый ремень.

Полиуретановый зубчатый ремень T2,5/480 (T2,5 480)

Обозначение на ремне: MADE IN GERMANY
SYNCHROFLEX T2,5/480

Торговая марка: CONTI@SYNCHROFLEX

Производитель: ContiTechAG (Германия)

Зубчатый ремень из полиуретана метрического профиля с трапецевидной формой зуба T 2,5.

Размеры ремня представлены в таблице 3.1.5:

Таблица 3.1.5

Шаг зубьев	t	мм	2,5
Толщина	hs	мм	1,3
Высота зуба	ht	мм	0,7
Номинальная длина	L_p/L_w	мм	480
Количество зубьев			192
Минимальный шкив		Кол-во зубьев	10
Максимальная линейная скорость	V_{max}	м/с	80
Максимальная передаваемая мощность	P	кВт	0,5

Ползун.

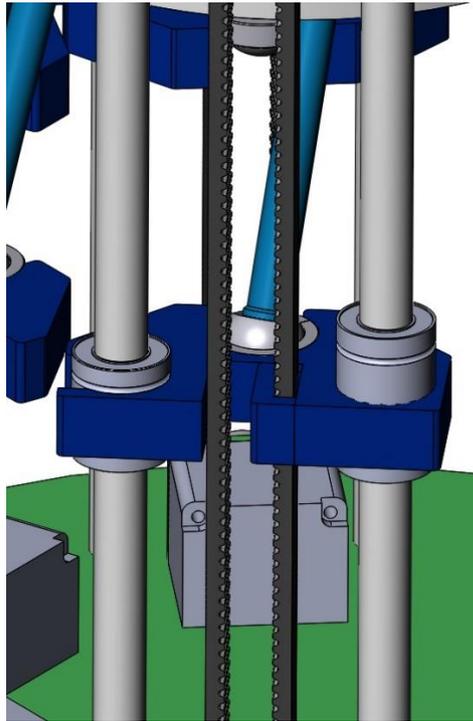


Рисунок 3.1.1.4 Конструкция ползуна

Ползун перемещается по двум направляющим посредством механизма ременной передачи.

3.2 Исследование кинематики.

3.2.1 Описание устройства алгебраически с помощью геометрии.

Устройство работает по трем независимым координатам и двум координатам вращения вдоль оси x и y $[A, B, x, y, z]$. Приводы P1-P6 – каждому приводу соответствуют координаты:

P1 – (A, B, x, y, z)

P2 – (A, B, x, y, z)

P3 – (A, B, x, y, z)

P4 – (A, B, x, y, z)

P5 – (A, B, x, y, z)

P6 – (A, B, x, y, z)

Рабочая зона данного устройства принята в виде цилиндра высотой 100 мм и диаметром 40 мм. Принято брать измерения в промежутках:

$$R(x)=[0...20]$$

$$A=[0...10^\circ]$$

$$B=[0...10^\circ]$$

Произведем исследования движения приводов для крайних положений рабочей зоны и крайнего положения наклона стола.

При помощи программного обеспечения Solidworks Motion, наклоним стол в нашей виртуальной модели по координате A на 10 градусов, и переместим его в крайнее положение по координате x вправо на 20 мм.

$$P_i(R) \rightarrow x;$$

$$A=[A_0];$$

$$B=[0];$$

$$C=[0]$$

$$I=1...6.$$

В таблицах и графиках приведенных ниже описано изменение положения ползунков относительно неподвижного основания при перемещении стола по заданному движению. Представленные опыты описаны в промежутке $R(x)$ от 1 мм до 20 мм.

Таблица 3.2.1.1.

R	P1	P2	P3	P4	P5	P6
1	141,2167	143,4129	139,577	135,4452	132,0757	133,3651
2	141,2185	143,4633	139,6204	135,3904	132,0114	133,3509
3	141,2253	143,6095	139,7466	135,2354	131,8292	133,3118
4	141,241	143,8457	139,9508	134,9965	131,5481	133,255
5	141,2707	144,1681	140,2306	134,6917	131,1883	133,1893
6	141,3205	144,5739	140,584	134,3392	130,7707	133,1238
7	141,3961	145,0603	141,0093	133,9566	130,3155	133,0675
8	141,5024	145,6242	141,5044	133,5602	129,841	133,0283
9	141,643	146,2613	142,0659	133,1643	129,3637	133,0129
10	141,8196	146,9655	142,6885	132,781	128,8976	133,0258
11	142,0318	147,7282	143,3648	132,4199	128,4539	133,0695
12	142,277	148,5381	144,0846	132,0883	128,0415	133,1441
13	142,5496	149,3804	144,8345	131,791	127,6666	133,2474
14	142,8417	150,2363	145,5975	131,5309	127,3336	133,3746

5	143,143	151,083	146,3529	131,3091	127,0447	133,5187
16	143,4405	151,8933	147,0761	131,1252	126,8007	133,6709
17	143,7194	152,6359	147,7391	130,9781	126,6015	133,8205
18	143,9636	153,2759	148,311	130,8658	126,4464	133,9557
19	144,1561	153,7767	148,7592	130,7869	126,3349	134,0644
20	144,2807	154,1014	149,0514	130,7403	126,267	134,1351

Для аппроксимации полученных данных опытные траектории движения ползуна опишем осредненными (линейными) линиями для каждого привода. Анализируя полученные графики (рисунки 3.3.1.1-7) можно сказать что каждый ползун при определенном положении стола R, имеет определенный угол K_i , лежащем в промежутке от 1 до 20 мм, в нашем случае мы нашли угол K_i для каждого привода при R равным 5 мм.

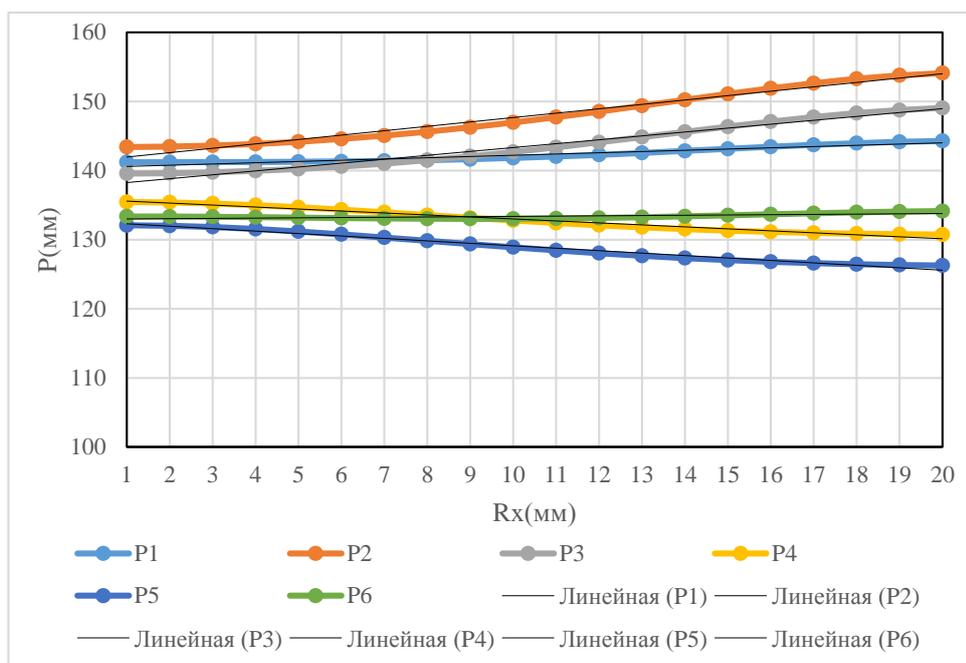


Рисунок 3.2.1.1 График изменения положений ползунков.

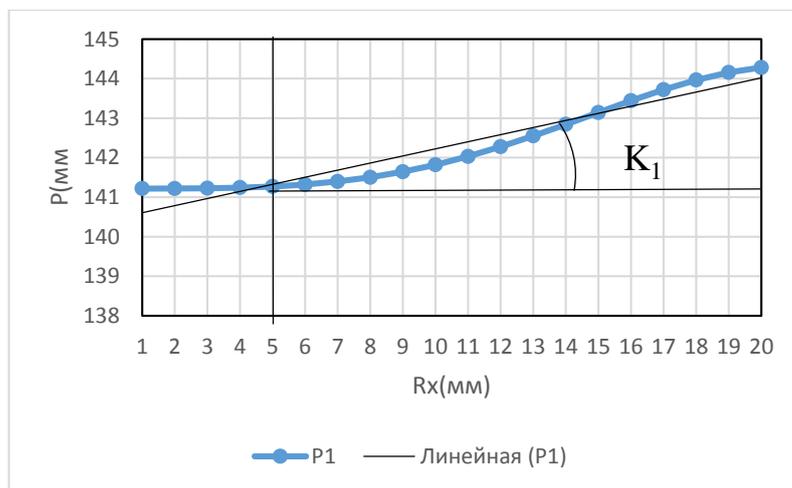


Рисунок 3.2.1.2. График изменения положения ползуна P1 от R.

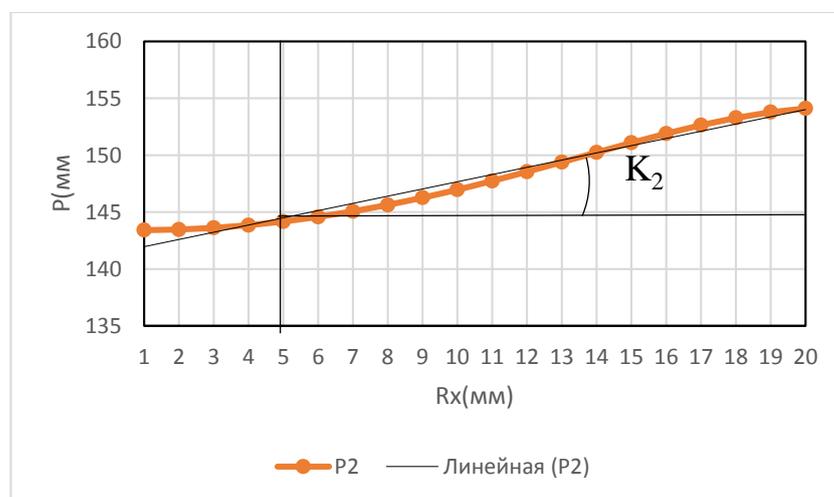


Рисунок 3.2.1.3. График изменения положения ползуна P2 от R.

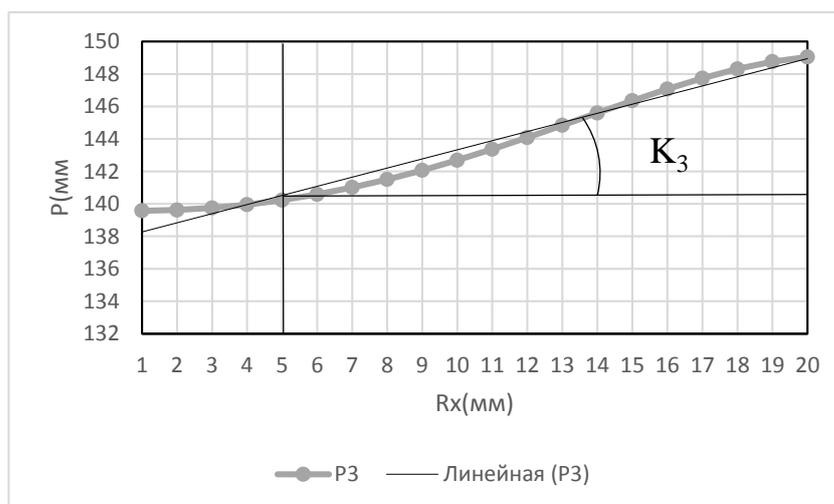


Рисунок 3.2.1.4. График изменения положения ползуна P3 от R.

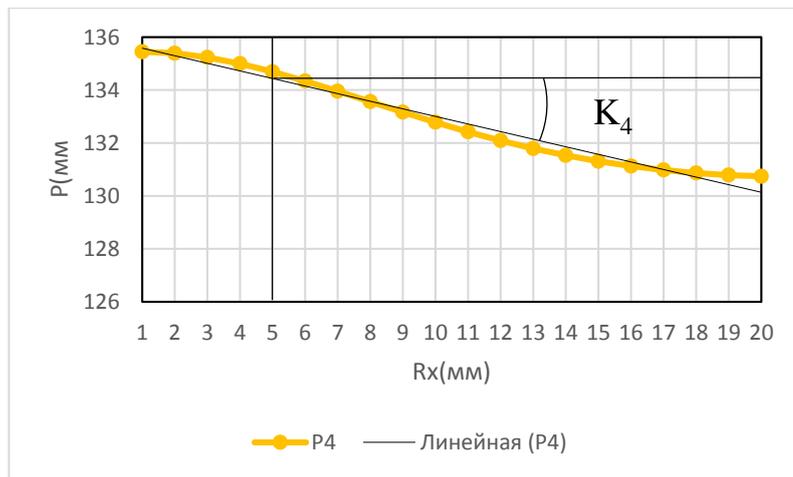


Рисунок 3.2.1.5. График изменения положения ползуна P4 от R.

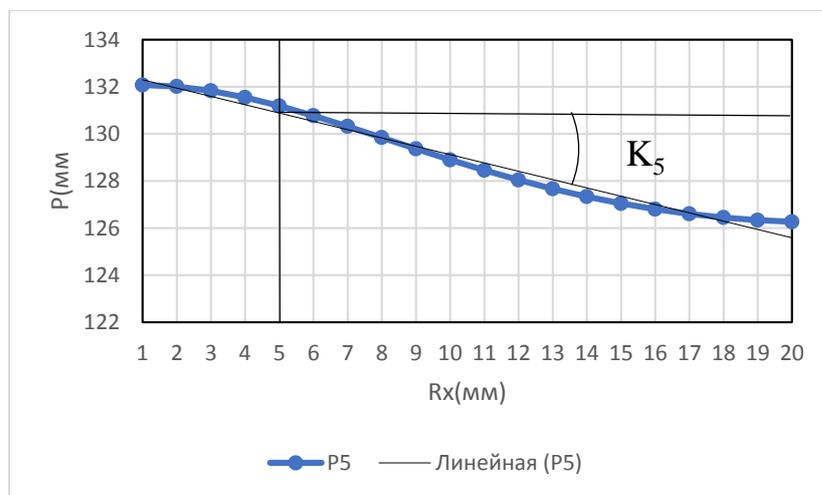


Рисунок 3.2.1.6. График изменения положения ползуна P5 от R.

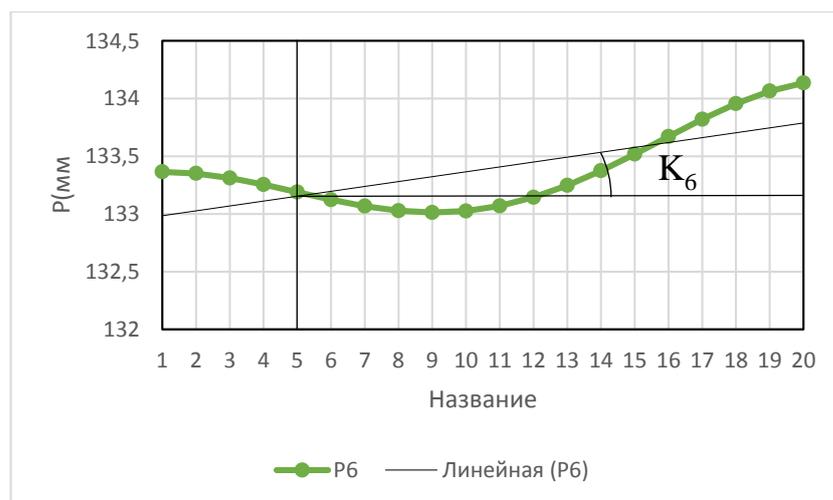


Рисунок 3.2.1.7. График изменения положения ползуна P6 от R.

На основе проведенных экспериментов была произведена редукция данных и приведено уравнение:

$$P_i = P_0 \pm K_{i1} \cdot R;$$

При $[R_1^* \dots R_2^*]$.

Используя данную аппроксимацию данных, объем точек необходимых для записи в массив сокращается на порядок, для одного привода необходимо записать начальную и конечную точки и их угловой коэффициент K_i .

Для нахождения ошибки аппроксимации необходимо произвести обратное исследование по дискрете, с целью выявления допустимой ошибки, если она находится в пределах точности позиционирования равным 0,2 мм значит данная аппроксимация удовлетворяет заданным условиям.

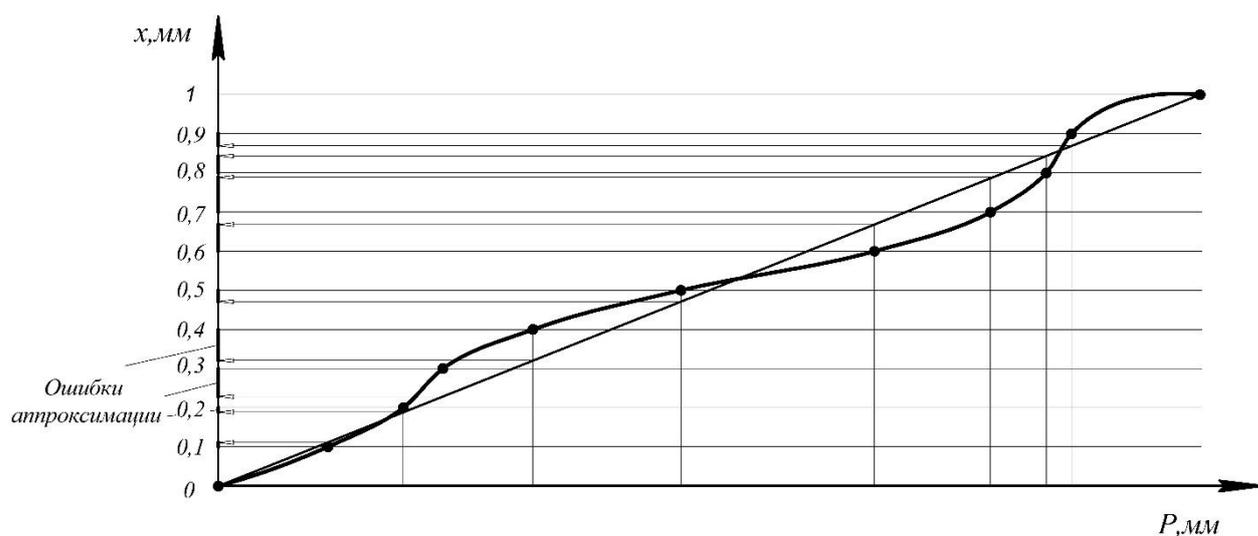


Рисунок 3.2.1.8. График примера определения ошибки аппроксимации по одной дискрете.

Чтобы найти ошибку необходимо спроецировать дискретную точку опытной траектории на ось P , и полученную точку на линейной траектории спроецировать на ось x , расстояние от дискреты до полученной точки на оси x и будет являться ошибкой аппроксимации для данной точки. Со всеми точками необходимо сделать тоже самое, найти максимальную ошибку и сравнить с точностью позиционирования.

В таблице 3.2.1.2 представлено изменение положения ползунов при таком же наклоне стола по координате A в крайнее положение на 10 градусов, и перемещение его по координате x на 20 мм влево:

$$P_i(R) \rightarrow x;$$

$$A = [A_0];$$

$$B = [0];$$

$$C = [0]$$

$$I = 1 \dots 6.$$

Таблица 3.3.1.2.

R	P1	P2	P3	P4	P5	P6
1	141,2167	143,4129	139,577	135,4452	132,0757	133,3651
2	141,2152	143,3627	139,5338	135,5004	132,1405	133,3796
3	141,2124	143,221	139,412	135,6602	132,328	133,4229
4	141,2128	143,0027	139,2248	135,9185	132,6304	133,4961
5	141,2225	142,7241	138,987	136,271	133,0424	133,6021
6	141,2479	142,4021	138,7136	136,7146	133,5597	133,7445
7	141,2954	142,0529	138,4195	137,2465	134,1787	133,9268
8	141,3706	141,6914	138,1179	137,8634	134,8951	134,1517
9	141,4775	141,3309	137,8206	138,5608	135,7038	134,4205
10	141,6184	140,9824	137,5373	139,3323	136,5974	134,7328
11	141,7933	140,6547	137,2755	140,1692	137,5663	135,0859
12	142,0001	140,3543	137,0404	141,0595	138,5972	135,4746
13	142,2341	140,0856	136,8353	141,9873	139,6728	135,891
14	142,4879	139,8509	136,6613	142,9327	140,7706	136,3244
15	142,7519	139,6511	136,5178	143,8706	141,8626	136,7612
16	143,0143	139,4855	136,4032	144,7712	142,9144	137,1849
17	143,2615	139,3528	136,3147	145,5993	143,885	137,5771
18	143,4786	139,2514	136,2495	146,3158	144,7276	137,9171
19	143,6503	139,1796	136,2048	146,8784	145,3913	138,184
20	143,7618	139,1367	136,1784	147,2449	145,8241	138,357

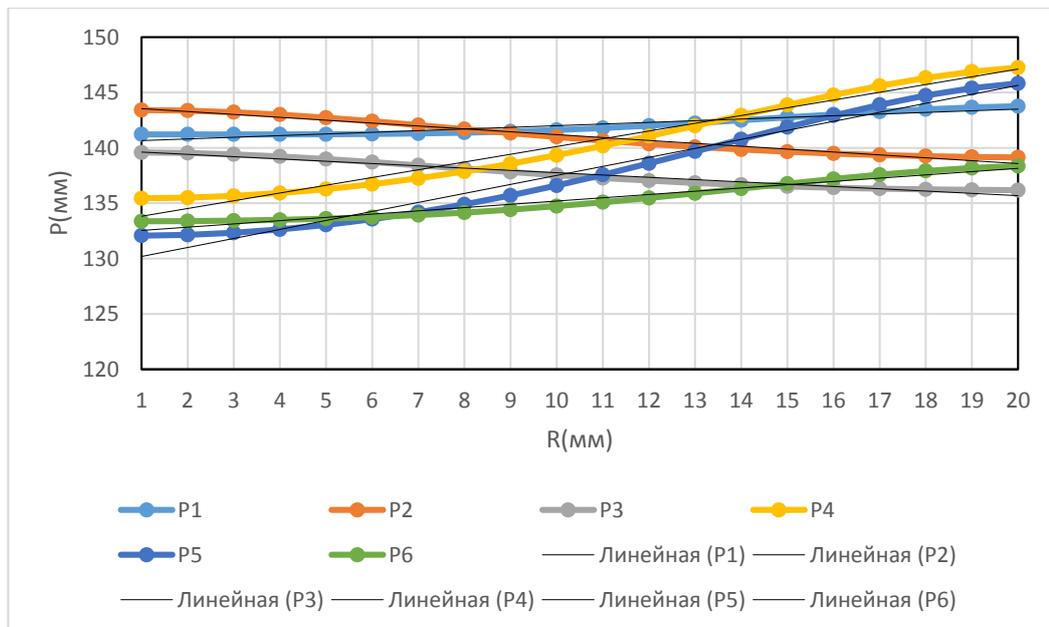


Рисунок 3.2.1.8. График изменения положения ползунов.

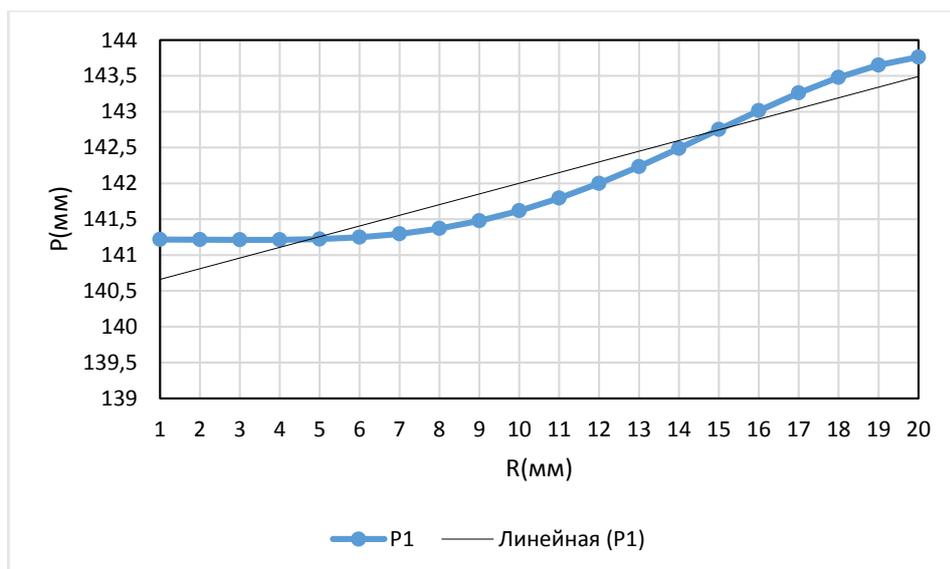


Рисунок 3.2.1.9. График изменения положения ползуна P1 от R.

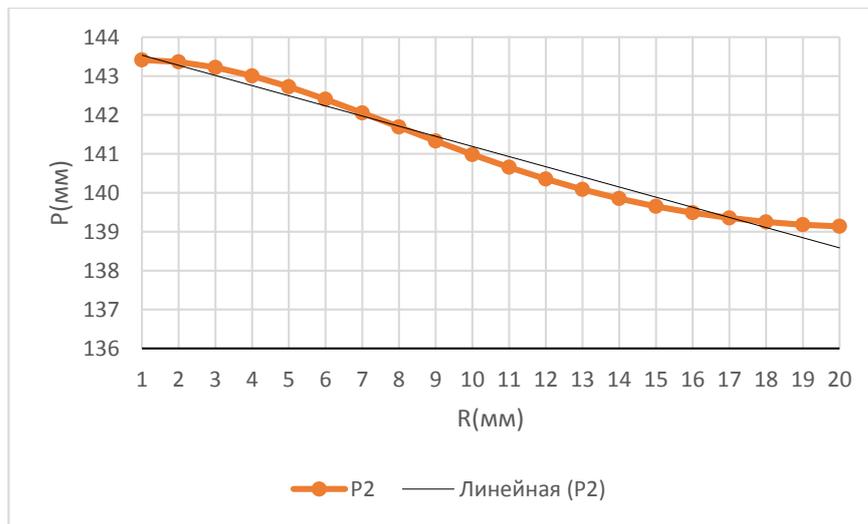


Рисунок 3.2.1.10. График изменения положения ползуна P2 от R.

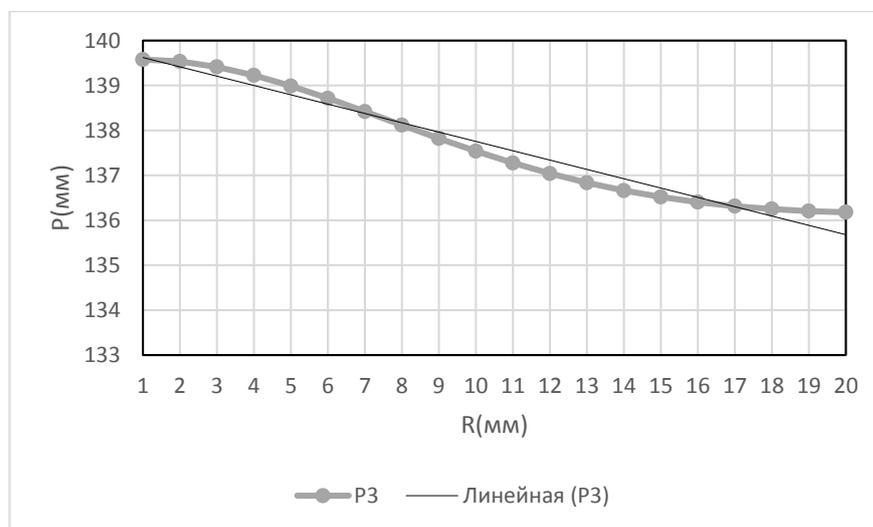


Рисунок 3.2.1.11. График изменения положения ползуна P3 от R.

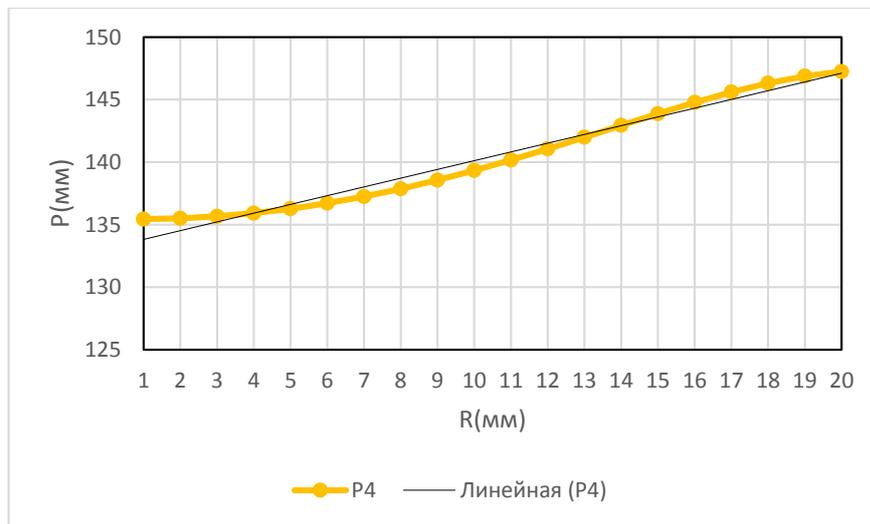


Рисунок 3.2.1.12. График изменения положения ползуна P4 от R.

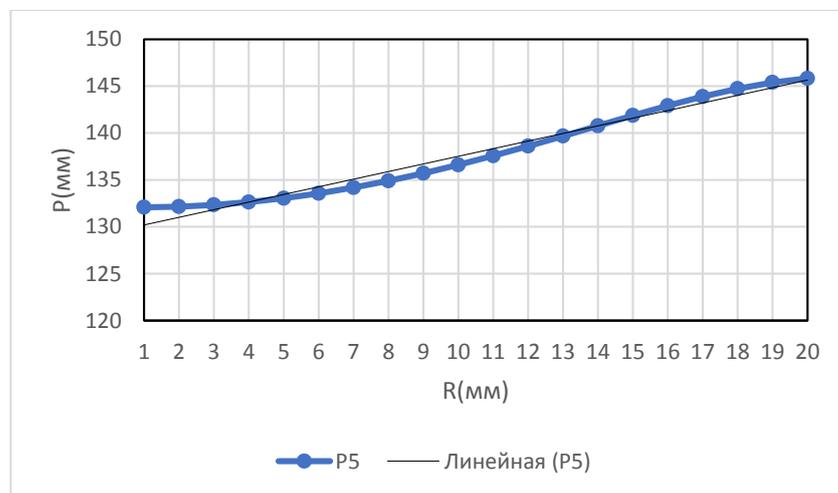


Рисунок 3.2.1.13. График изменения положения ползуна P5 от R.

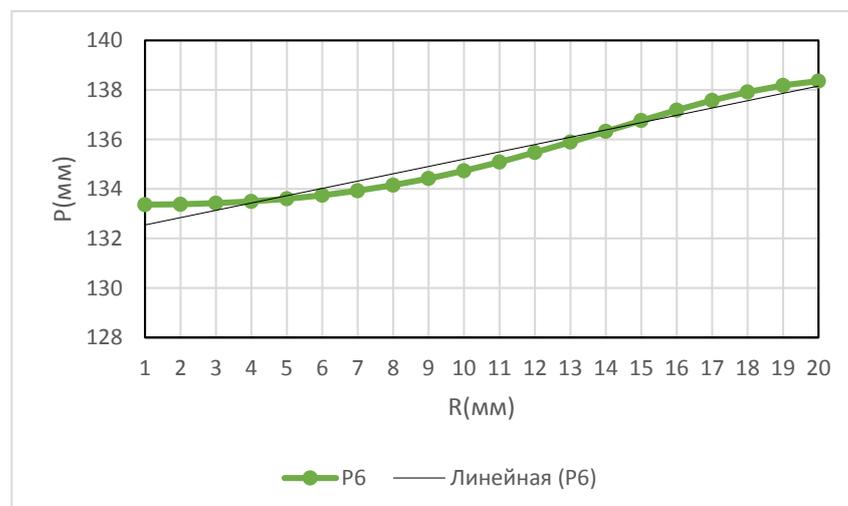


Рисунок 3.2.1.14. График изменения положения ползуна P6 от R.

В таблице 3.2.1.3 приведены изменения положений ползунов при наклоне стола по координате В на 10 градусов, и перемещении его по координате у на 20 мм вправо.

$$P_i(R) \rightarrow y;$$

$$A=[0];$$

$$B=[B_0];$$

$$C=[0];$$

$$I=1 \dots 6.$$

Таблица 3.2.1.3.

R	P1	P2	P3	P4	P5	P6
1	139,0626	133,4387	126,6331	126,6331	133,4387	139,0626
2	139,2431	133,3757	126,5304	126,5304	133,3757	139,2431
3	139,5342	133,2811	126,3734	126,3734	133,2811	139,5342
4	139,9304	133,1654	126,1756	126,1756	133,1654	139,9304
5	140,4276	133,0392	125,9509	125,9509	133,0392	140,4276
6	141,0217	132,9131	125,7126	125,7126	132,9131	141,0217
7	141,7085	132,7965	125,4731	125,4731	132,7965	141,7085
8	142,4825	132,6972	125,2428	125,2428	132,6972	142,4825
9	143,3363	132,6213	125,0304	125,0304	132,6213	143,3363
10	144,2602	132,5725	124,8422	124,8422	132,5725	144,2602
11	145,2409	132,5525	124,6823	124,6823	132,5525	145,2409
12	146,2614	132,5606	124,5524	124,5524	132,5606	146,2614
13	147,3	132,5939	124,4524	124,4524	132,5939	147,3
14	148,3298	132,6475	124,3801	124,3801	132,6475	148,3298
15	149,3183	132,7149	124,3319	124,3319	132,7149	149,3183
16	150,2273	132,7883	124,3031	124,3031	132,7883	150,2273
17	151,0137	132,8592	124,2886	124,2886	132,8592	151,0137
18	151,6312	132,9189	124,2831	124,2831	132,9189	151,6312
19	152,0327	132,9594	124,282	124,282	132,9594	152,0327
20	152,1749	132,974	124,2821	124,2821	132,974	152,1749

По полученным графикам можно увидеть, что полученные экспериментальные траектории напоминают параболу. Таким образом рядом с ними можно описать расчетную параболу. На графиках ниже приведены расчетная и экспериментальная параболы.

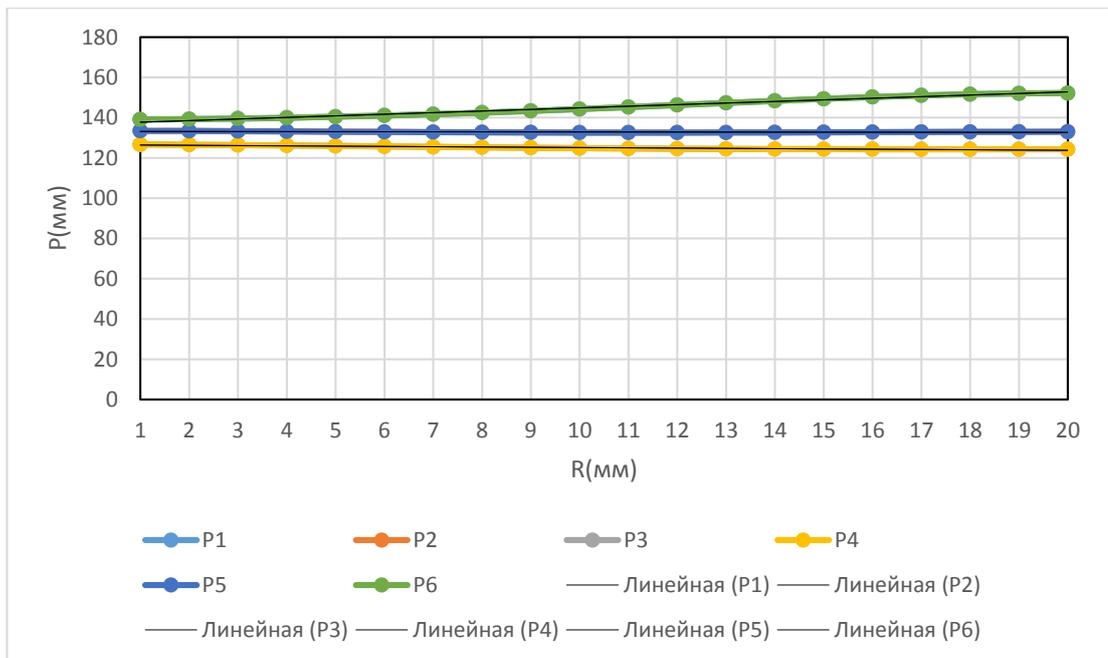


Рисунок 3.2.1.15. График изменения положения ползунков.

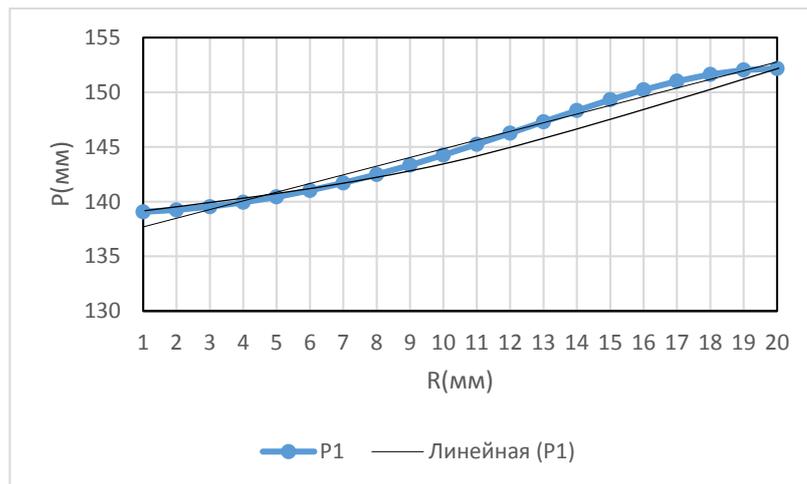


Рисунок 3.2.1.16. График изменения положения ползуна P1 от R.

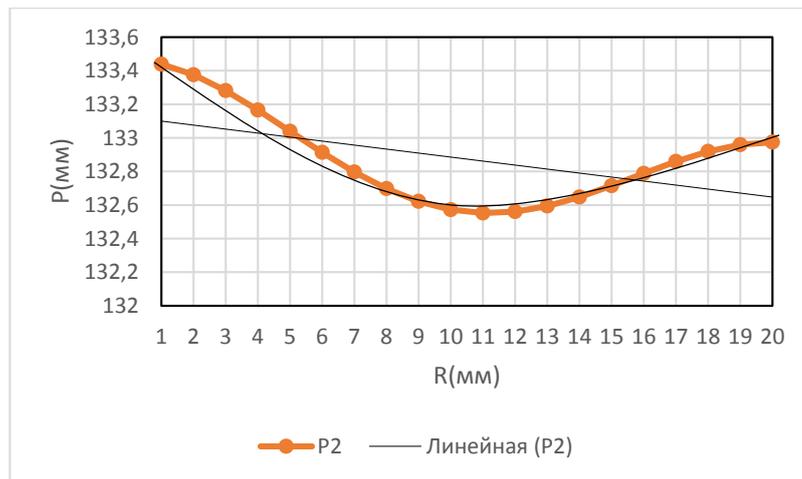


Рисунок 3.2.1.17. График изменения положения ползуна P2 от R.

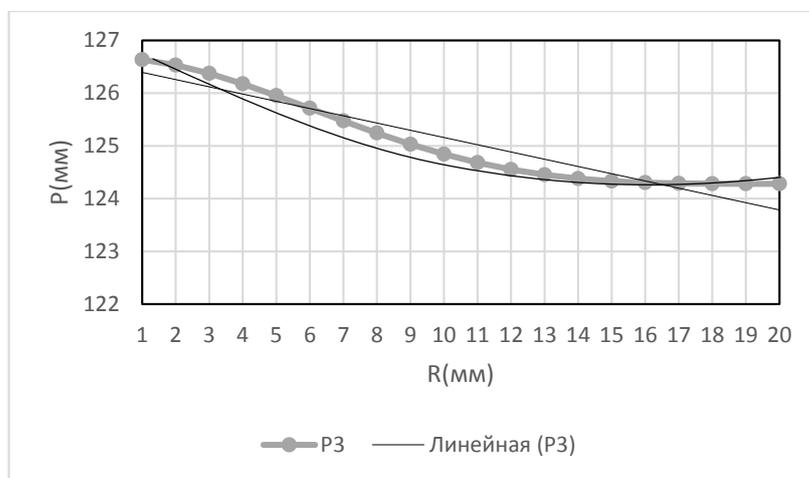


Рисунок 3.2.1.18. График изменения положения ползуна P3 от R.

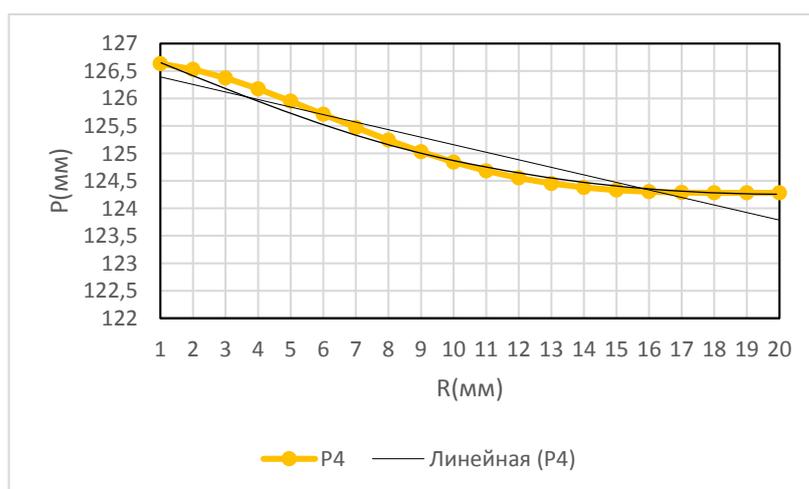


Рисунок 3.2.1.19. График изменения положения ползуна P4 от R.

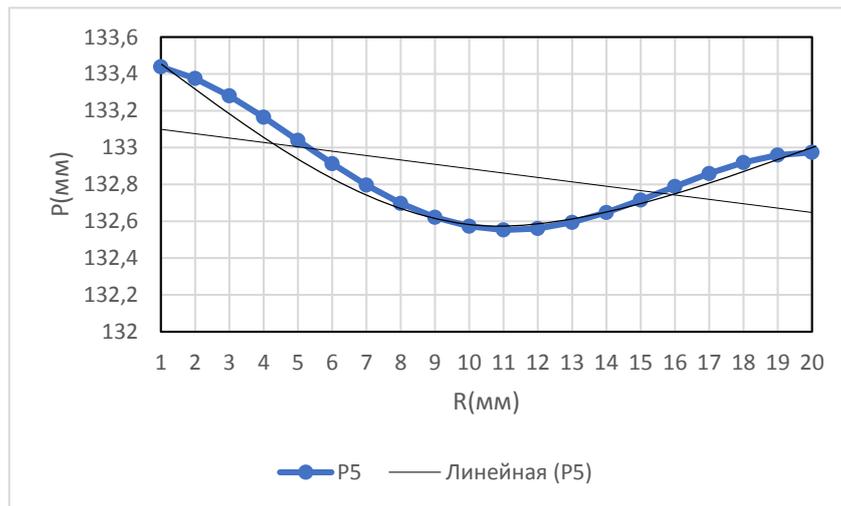


Рисунок 3.2.1.20. График изменения положения ползуна P5 от R.

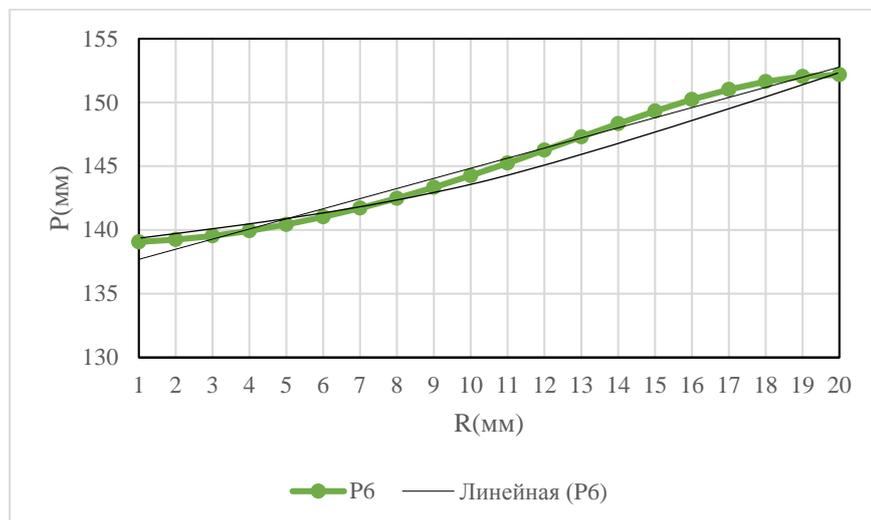


Рисунок 3.2.1.21. График изменения положения ползуна P6 от R.

Обрабатывая эти результаты для параболы P_j будет равняться некоторому значению начальной и конечной, $[R_1^* \dots R_2^*]$, в этом интервале производится аппроксимация, которая определяется следующим образом:

$$P_j = k_{2j} \cdot R^2 + K_{1j} + P_{j0} ;$$

Отсюда получается:

$$P_1 = P_{10} + K_1 R ;$$

$$P_2 = P_{20} + K_{22} R^2 + K_{21} + P_{20} ;$$

$$P_3 = P_{30} + K_3 R;$$

$$P_4 = P_{40} + K_4 R;$$

$$P_5 = P_{50} + K_{52} R^2 + K_{51} + P_{50};$$

$$P_6 = P_{60} + K_6 R;$$

Для дальнейшей аппроксимации необходимо разделить параболу на линейные участки, и найти угловой коэффициент K_{ii} для каждого, следовательно, в массиве будут храниться только опорные точки участков параболы и их угловые коэффициенты, также как представлено в графиках приведенных ниже.

В таблице 3.2.1.4 приведено изменение положения ползунот при наклоне стола по координате В на 10 градусов, и перемещении его по координате у на 20 мм влево.

Таблица 3.2.1.4.

R	P1	P2	P3	P4	P5	P6
1	138,9382	133,4841	126,7063	126,7063	133,4841	138,9382
2	138,7627	133,5512	126,8134	126,8134	133,5512	138,7627
3	138,4917	133,662	126,9875	126,9875	133,662	138,4917
4	138,1446	133,8178	127,2275	127,2275	133,8178	138,1446
5	137,7415	134,0204	127,5329	127,5329	134,0204	137,7415
6	137,3016	134,2718	127,9033	127,9033	134,2718	137,3016
7	136,8427	134,573	128,3377	128,3377	134,573	136,8427
8	136,3805	134,924	128,834	128,834	134,924	136,3805
9	135,9284	135,3231	129,3881	129,3881	135,3231	135,9284
10	135,4975	135,7661	129,9939	129,9939	135,7661	135,4975
11	135,0963	136,2464	130,6421	130,6421	136,2464	135,0963
12	134,7309	136,7547	131,3208	131,3208	136,7547	134,7309
13	134,4056	137,2784	132,0141	132,0141	137,2784	134,4056
14	134,1227	137,802	132,7028	132,7028	137,802	134,1227
15	133,8831	138,3072	133,3639	133,3639	138,3072	133,8831
16	133,6869	138,7726	133,971	133,971	138,7726	133,6869
17	133,5337	139,1752	134,4951	134,4951	139,1752	133,5337
18	133,4231	139,4909	134,9054	134,9054	139,4909	133,4231
19	133,3554	139,6958	135,1716	135,1716	139,6958	133,3554
20	133,3321	139,7683	135,2658	135,2658	139,7683	133,3321

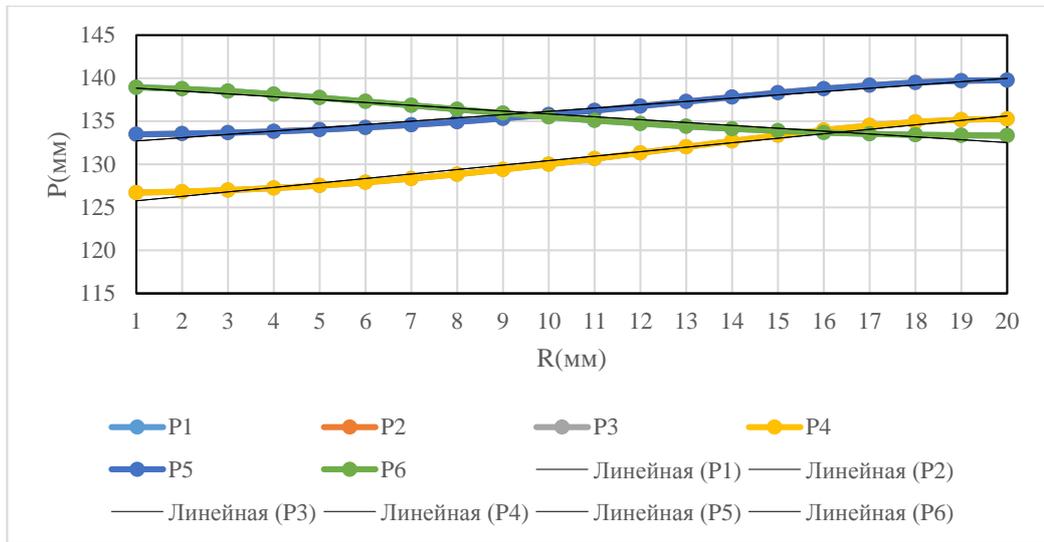


Рисунок 3.2.1.22. График изменения положения ползунков.

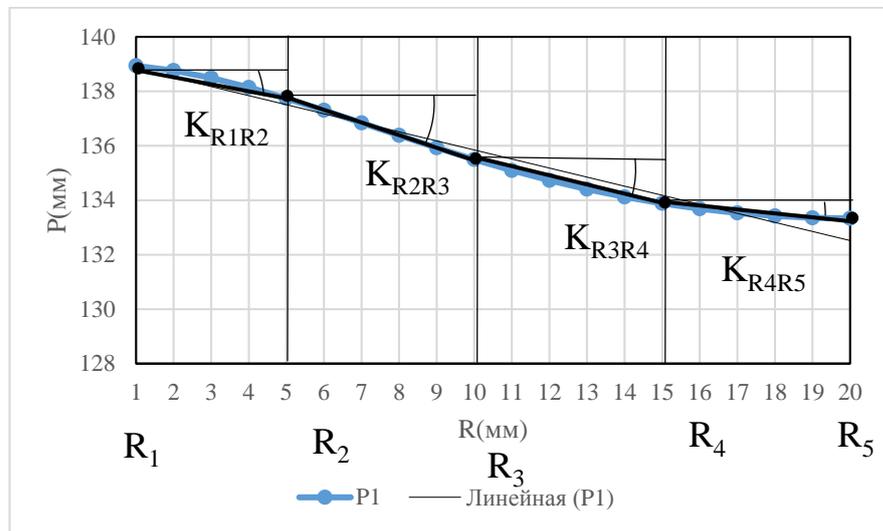


Рисунок 3.2.1.23. График изменения положения ползунка P1 от R.

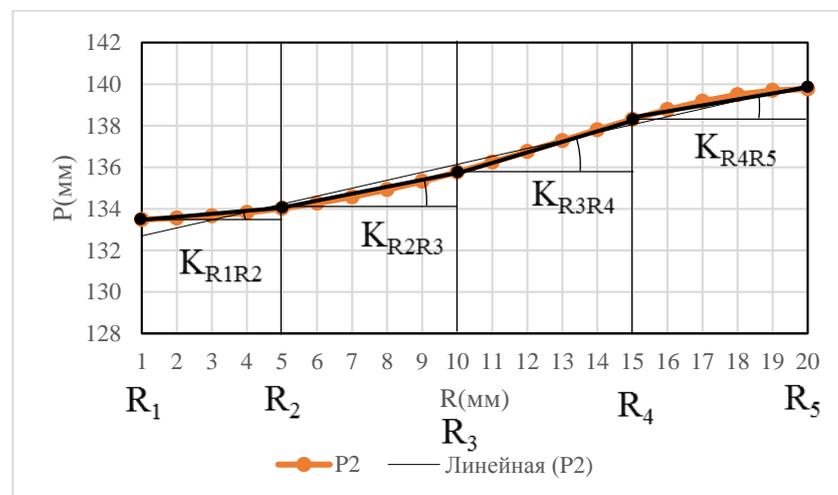


Рисунок 3.2.1.24. График изменения положения ползунка P2 от R.

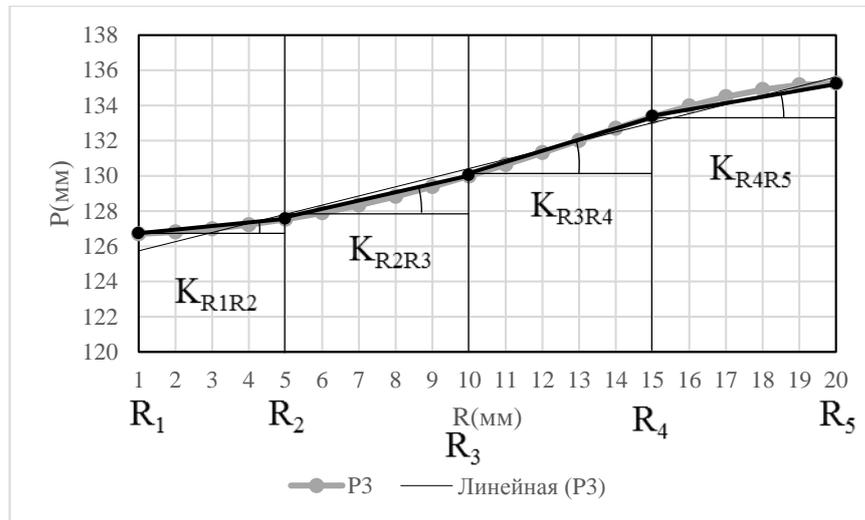


Рисунок 3.2.1.25. График изменения положения ползуна P3 от R.

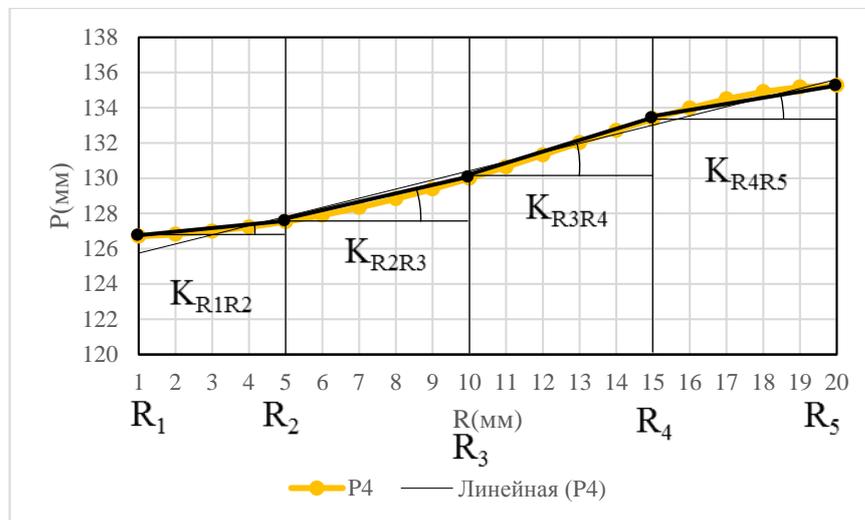


Рисунок 3.2.1.26. График изменения положения ползуна P4 от R.

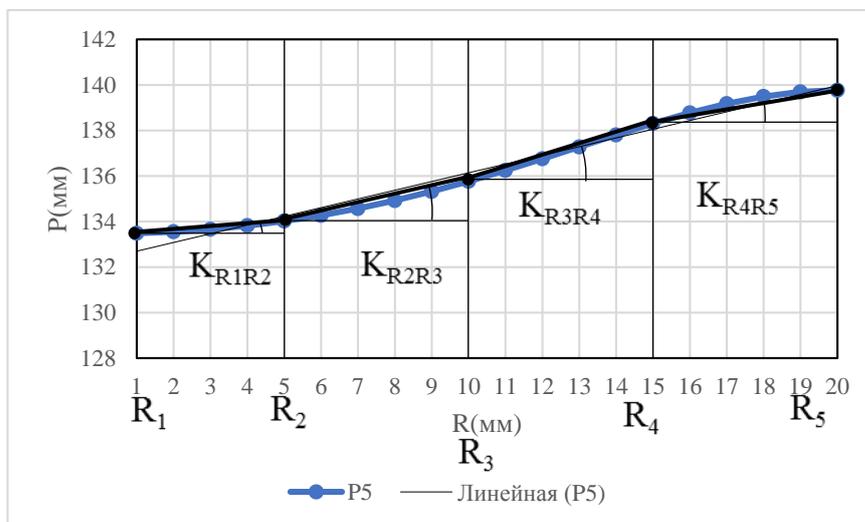


Рисунок 3.2.1.27. График изменения положения ползуна P5 от R.

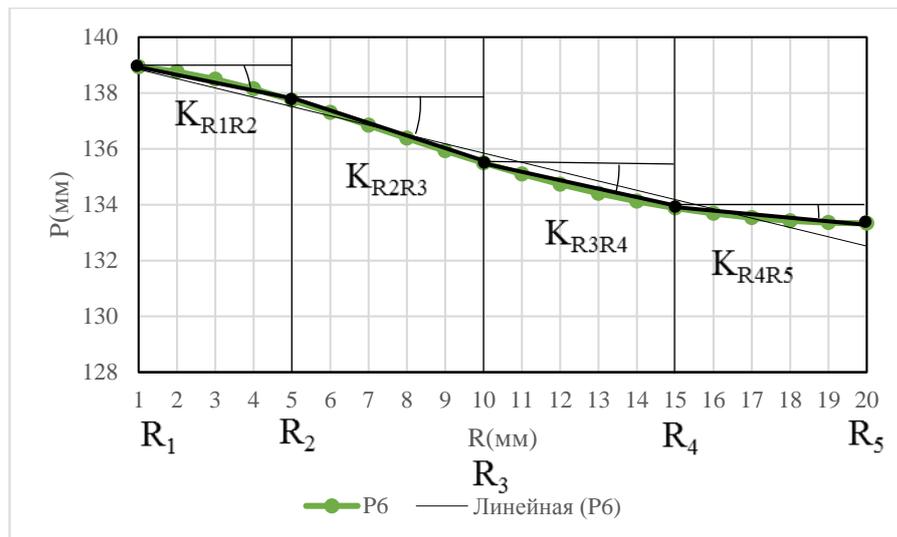


Рисунок 3.2.1.28. График изменения положения ползуна P6 от R.

На основе проведенных опытов можно сказать что есть много способов для сокращения объема данных, и путей создания алгоритмов для движения стола а именно были изучены аппроксимации движения ползунков: при замене траектории линейными траекториям с угловым коэффициентом K_i ; при замене траектории параболическими кривыми, которые в последующем разбиты на линейные участки, с угловым коэффициентом K_{ii} для каждого, что является более точной аппроксимацией, но с большим количеством точек по которым рассчитывается траектория; при разделении опытной траектории линейные участки с угловым коэффициентом K_{ii} для каждого, при котором как и с параболическими кривыми хранятся только опорные точки и угловые коэффициенты участков. На основе данных аппроксимаций массив можно на порядок сократить объем хранящихся в нем данных.

3.3 Математическая модель установки

3.3.1 Принципы и подходы к построению математических моделей.

В математическом моделировании большую роль играют опыт, интуиция и другие интеллектуальные качества человека. Поэтому невозможно написать достаточно формализованную инструкцию, определяющую, как должна строиться математическая модель той или иной системы. Тем не менее отсутствие точных правил не мешает опытным специалистам строить удачные и

правильные модели. К настоящему времени уже накоплен значительный опыт, дающий основание сформулировать некоторые принципы и подходы к построению моделей. При рассмотрении отдельно каждый из них может показаться довольно очевидным. Но совокупность взятых вместе подходов и принципов далеко не тривиальна. Многие ошибки и неудачи в практике моделирования являются прямым следствием нарушения этой методологии.

Принципы определяют общие требования, которым должна удовлетворять правильно построенная математическая модель:

1. Адекватность. Этот принцип предусматривает соответствие модели целям исследования по уровню сложности и организации, а также соответствие реальной системе относительно выбранного множества свойств. До тех пор, пока не решен вопрос, правильно ли отображает модель исследуемую систему, ценность модели незначительна.

2. Соответствие модели решаемой задаче. Модель должна строиться для решения определенного класса задач или конкретной задачи исследования системы. Попытки создания универсальной модели, нацеленной на решение большого числа разнообразных задач, приводят к такому усложнению, что она оказывается практически непригодной.

3. Упрощение при сохранении существенных свойств системы. Модель должна быть в некоторых отношениях проще прототипа—в этом смысл моделирования. Чем сложнее рассматриваемая система, тем по возможности более упрощенным должно быть ее описание, умышленно утрирующее типичные и игнорирующее менее существенные свойства. Этот принцип может быть назван принципом абстрагирования от второстепенных деталей.

4. Соответствие между требуемой точностью результатов моделирования и сложностью модели. Модели по своей природе всегда носят приближенный характер. Возникает вопрос, каким должно быть это приближение. С одной стороны, чтобы отразить все сколько-нибудь существенные свойства, модель необходимо детализировать. С другой стороны, строить модель, приближающуюся по сложности к реальной системе, очевидно, не имеет смысла.

Она не должна быть настолько сложной, чтобы нахождение решения оказалось слишком затруднительным. Компромисс между этими двумя требованиями достигается нередко путем проб и ошибок.

5. Баланс погрешностей различных видов. В соответствии с принципом баланса необходимо добиваться, например, баланса систематической погрешности моделирования за счет отклонения модели от оригинала и погрешности исходных данных, точности отдельных элементов модели, систематической погрешности моделирования и случайной погрешности при интерпретации и осреднении результатов.

6. Многовариантность реализаций элементов модели. Разнообразие реализаций одного и того же элемента, отличающихся по точности (а, следовательно, и по сложности), обеспечивает регулирование соотношения «точность/сложность».

7. Блочное строение. При соблюдении принципа блочного строения облегчается разработка сложных моделей и появляется возможность использования накопленного опыта и готовых блоков с минимальными связями между ними. Выделение блоков производится с учетом разделения модели по этапам и режимам функционирования системы. К примеру, при построении модели для системы радиоразведки можно выделить модель работы излучателей, модель обнаружения излучателей, модель пеленгования и т.д.

В зависимости от конкретной ситуации возможны следующие подходы к построению моделей;

- непосредственный анализ функционирования системы;
- проведение ограниченного эксперимента на самой системе;
- использование аналога;
- анализ исходных данных.

Имеется целый ряд систем, которые допускают проведение непосредственных исследований по выявлению существенных параметров и отношений между ними. Затем либо применяются известные математические модели, либо они модифицируются, либо предлагается новая модель. Таким

образом, например, можно вести разработку модели для направления связи в условиях мирного времени.

К построению модели можно приступить на основе анализа исходных данных, которые уже известны или могут быть получены. Анализ позволяет сформулировать гипотезу о структуре системы, которая затем апробируется. Так появляются первые модели нового образца иностранной техники при наличии предварительных данных об их технических параметрах.

Разработчики моделей находятся под действием двух взаимно противоречивых тенденций: стремления к полноте описания и стремления к получению требуемых результатов возможно более простыми средствами. Достижение компромисса ведется обычно по пути построения серии моделей, начинающихся с предельно простых и восходящих до высокой сложности (существует известное правило: начинай с простых моделей, а далее усложняй). Простые модели помогают глубже понять исследуемую проблему. Усложненные модели используются для анализа влияния различных факторов на результаты моделирования. Такой анализ позволяет исключать некоторые факторы из рассмотрения.

3.3.2 Описание установки

Механизмы с параллельной кинематикой за последнее время получили достаточно большое распространение, особенно в механизмах, требующих значительных скоростей движения рабочих органов и большое быстродействие. Число степеней свободы подвижного рабочего органа выбирается исходя из требований, предъявляемых к механизму, в нашем случае - 5 степеней: координаты X, Y, Z, A, B).

В выбранной схеме все шаровые опоры имеют три степени свободы, все приводы обеспечивают линейное перемещение ползунов вдоль оси Z и расположены на образующей цилиндра с постоянным радиусом. Ползуны и направляющие попарно сгруппированы, а пары, в угловом отношении, расположены под углом 120° . Аналогично попарно сгруппированы опоры на подвижном, столе. Шатуны с шаровыми опорами имеют одинаковую длину.

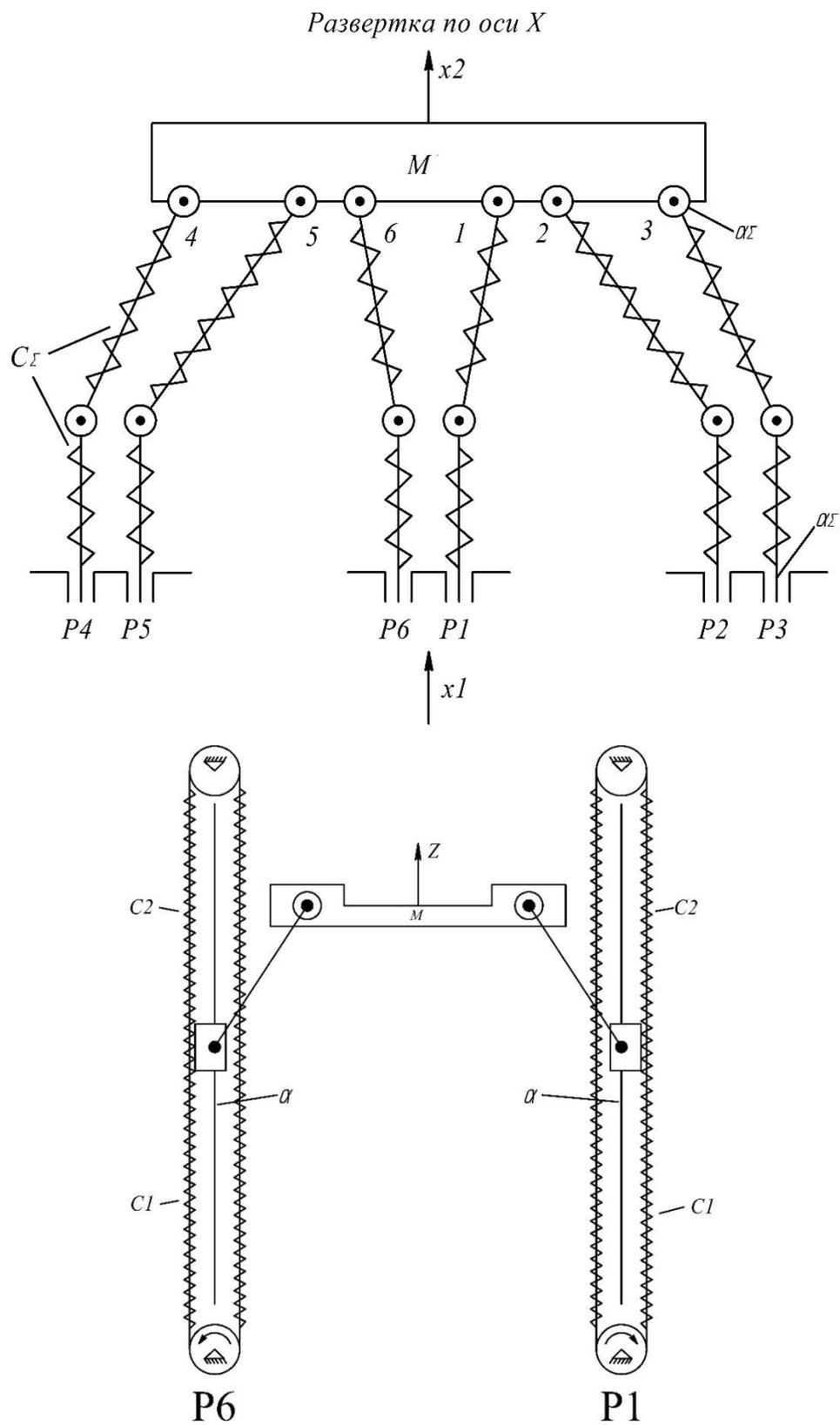


Рисунок 3.3.2.1. Кинематическая схема 5-D принтера.

Так как приводы находятся параллельно оси Z , для первого случая их все можно заметить эквивалентом P - некоторая величина которая поступает на все приводы и перемещает их по оси Z которая соответствует x_1 , то есть $P \equiv Z \equiv x_1$. Если бы они находились под разными углами относительно оси Z , то был бы нужен их суммарный пересчет. Каждый привод имеет вязкое трение, α_{1-6} которое можно заменить суммарным эквивалентом α_{Σ} . Каждый находится на своем угле. Есть суммарная жесткость C_{Σ} , определяемая всеми шестью приводами. Все приводы имеют одинаковую конструкцию, одинаковое быстродействие и двигаются одновременно по оси Z . Коэффициент передачи K_{RP} примем равным 1. Динамику привода мы не учитываем, учитывается только динамика исполнительного механизма.

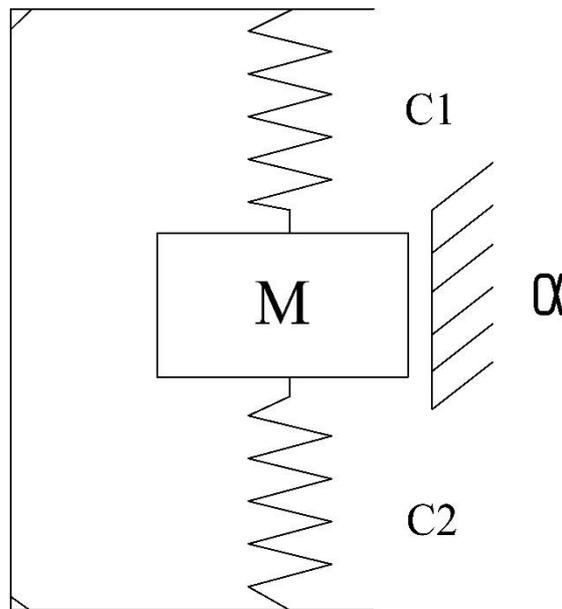


Рисунок 3.3.2.2. Схема масса-пружина.

Стол мы сводим к нулевой точке, и нас интересует только она. Другие точки мы не рассматриваем, вокруг этой точки существует масса.

Габариты конструкции выбраны небольшие с рабочей зоной исполнительного механизма в виде цилиндра диаметром 40 мм и высотой 100 мм, для нее необходимо определить жесткость. Масса стола равна 0,2 кг.

3.3.3 Расчет жесткости и вязкого трения конструкции.

Для расчета жесткости конструкции было выбрано программное обеспечение SolidWorks Simulation. Так как жесткость для каждого привода C_{1-6} одинакова, достаточно рассчитать жесткость для одного привода. Это и будет $1/6 C_{\Sigma}$ от суммарной жесткости нашей установки.

Приводы находятся в среднем положении. Была выбрана методика расчета, статического перемещения шатуна от нагрузки по отдельности, и жесткость зубчатого ремня, чтобы определить жесткость конструкции в целом.

Сначала рассматриваем шатун. Жестко закрепляем основание шатуна. Сверху прикладываем нагрузку 2Н.

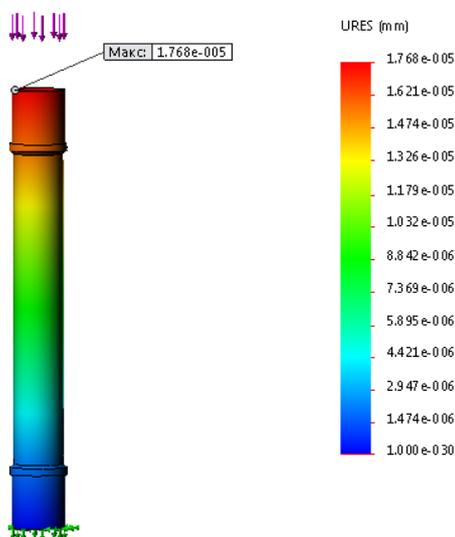


Рисунок 3.3.3.1. Статический анализ шатуна

Статическое перемещение шатуна $\Delta x_{ш}$ под этой нагрузкой получилось равным 0,017 мкм.

Но так как он находится под углом $67,51^\circ$ от ползуна, перемещение будет больше и равным:

$$\Delta x_{ш} = 0,017 / \sin 67,51^\circ = 0,018 \text{ мкм.}$$

Так как это маленькая величина, этим можно пренебречь, считая, что шатун абсолютно жесткий.

Рассчитаем жесткость ремня.

Так как выбранный ремень имеет длину 480 мм, сначала рассчитаем его удлинение от максимальной нагрузки.

Удельную окружную силу можно рассчитать по формуле:

$$F = \frac{P}{V \cdot B} = \frac{500}{80 \cdot 8} = 0,78 \text{ Н/мм}; \quad (3.3.3.1)$$

где P – максимальная передаваемая мощность, Н·м/с;

V – максимальная линейная скорость, м/с;

B – ширина ремня, мм.

Удлинение ремня равно 1% от его длины:

$$\Delta x_p = L_p \cdot 1\% = 480 \cdot 1\% = 4,8 \text{ мм}. \quad (3.3.3.2)$$

где L_p – длина ремня, мм;

Отсюда жесткость ремня для одного привода будет равна:

$$C_p = \frac{F}{\Delta x_p} = \frac{0,78}{4,8} = 0,16 \text{ Н/мм} \quad (3.3.3.3);$$

Жесткость на единицу длины:

$$C_{ед.p} = \frac{C_p}{L_p} = \frac{0,16}{480} = 0,0003 \text{ Н/мм}; \quad (3.3.3.4)$$

В разных положениях ползуна жесткости ремня C_1 и C_2 будут меняться, найдем жесткости для среднего положения:

$$C_{p1} = L_1 \cdot C_{ед.p} = 120 \cdot 0,0003 = 0,036 \text{ Н/мм};$$

$$C_{p2} = L_2 \cdot C_{ед.p} = 360 \cdot 0,0003 = 0,108 \text{ Н/мм};$$

Так как в конструкции привода расположены попарно-параллельно суммарная жесткость равна:

$$\begin{aligned} C_{\Sigma} &= C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5 + C_6 = \\ &= 0,16 + 0,16 + 0,16 + 0,16 + 0,16 + 0,16 = \end{aligned}$$

$$0,96 = H/мм.$$

Рассчитаем суммарный коэффициент вязкого трения α :

$$\zeta = \frac{\alpha_{\Sigma}}{2\sqrt{c_{\Sigma} \cdot m}} = 0,3; \quad (3.3.3.5)$$

где ζ – коэффициент безразмерного демпфирования, принимаем 0,3;

m - масса стола равна 0,2 кг.

Суммарный коэффициент вязкого трения будет равен:

$$\alpha_I = \zeta \cdot 2 \cdot \sqrt{c_{\Sigma} \cdot m} = 0,3 \cdot 2 \cdot \sqrt{0,96 \cdot 0,2} = 0,263 \text{ Н} \cdot \text{сек}/\text{мм};$$

3.3.4 Составление блок схем и дифференциальных уравнений математических моделей

Подобную систему можно описать при помощи следующего дифференциального уравнения:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + \alpha_{\Sigma} \frac{dx}{dt} + c_{\Sigma} x = K_{RP} \cdot P;$$

Силу P примем равной 0, тогда у нас получается следующее уравнение:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + \alpha_{\Sigma} \frac{dx}{dt} + c_{\Sigma} x = 0$$

$$\frac{dv}{dt} = \frac{1}{m} (0 - \alpha_{\Sigma} v - c_{\Sigma} x) \quad (3.3.4.1)$$

$$\frac{dx}{dt} = v \quad (3.3.4.2)$$

Перейдем к составлению структурной схемы математической модели, которая будет описывать вышеизложенные уравнения.

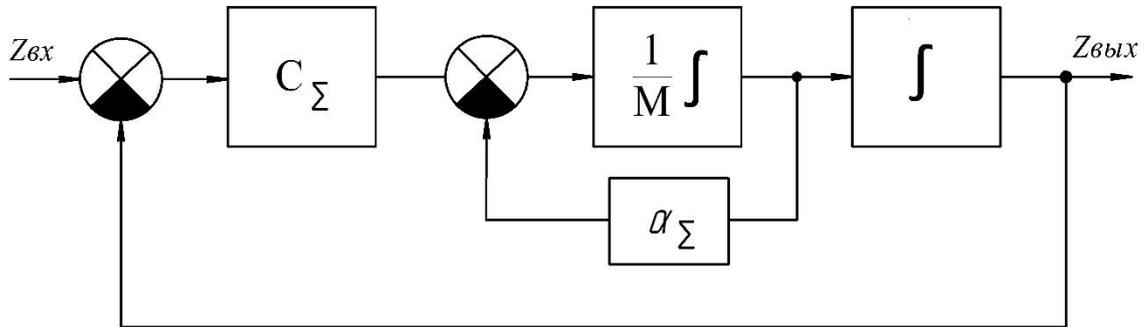


Рисунок 3.3.4.1. Математическая модель при поднятии всех приводов одновременно.

Откуда

$$f1 := (P - \alpha_1 * y - c * x) / m, \text{ где } x = x, y = v$$

$$f2 := y, \text{ где } y = v$$

Решаем такие уравнения методом Рунге-Кутты 4-го порядка (методом последовательных приближений).

$$\begin{cases} x^{n+1} = x^n + \frac{1}{6}(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4), \\ k_1 = \tau f(t_n, x^n), & k_2 = \tau f\left(t_n + \frac{\tau}{2}, x^n + \frac{k_1}{2}\right), \\ k_3 = \tau f\left(t_n + \frac{\tau}{2}, x^n + \frac{k_2}{2}\right), & k_4 = \tau f(t_{n+1}, x^n + k_3). \end{cases}$$

Для решения этих уравнений составлена следующая программа (приложение 1). Позволяющая решать эти уравнения с варьированием различных параметров и построением графиков получаемых функций.

Во второй математической модели мы приводим в движение одновременно, на одинаковое расстояние два симметричных привода на величину $2\Delta z$. При рассмотрении данного случая и аналогичных – перемещение несимметричных приводов было проанализировано и выявлено:

1. Перемещение двух симметричных приводов – рассматриваемая точка поворачивается по координате B , и перемещается по x и z .

2. Перемещение двух несимметричных приводов – рассматриваемая точка поворачивается по координате C , и перемещается по x и y .

Следовательно, можно сделать вывод о том, что при перемещении двух симметричных или несимметричных приводов рассматриваемая точка всегда перемещается в 3-х координатах, и при включении дополнительной пары приводов точка также, как и с симметричными приводами перемещается в трех координатах.

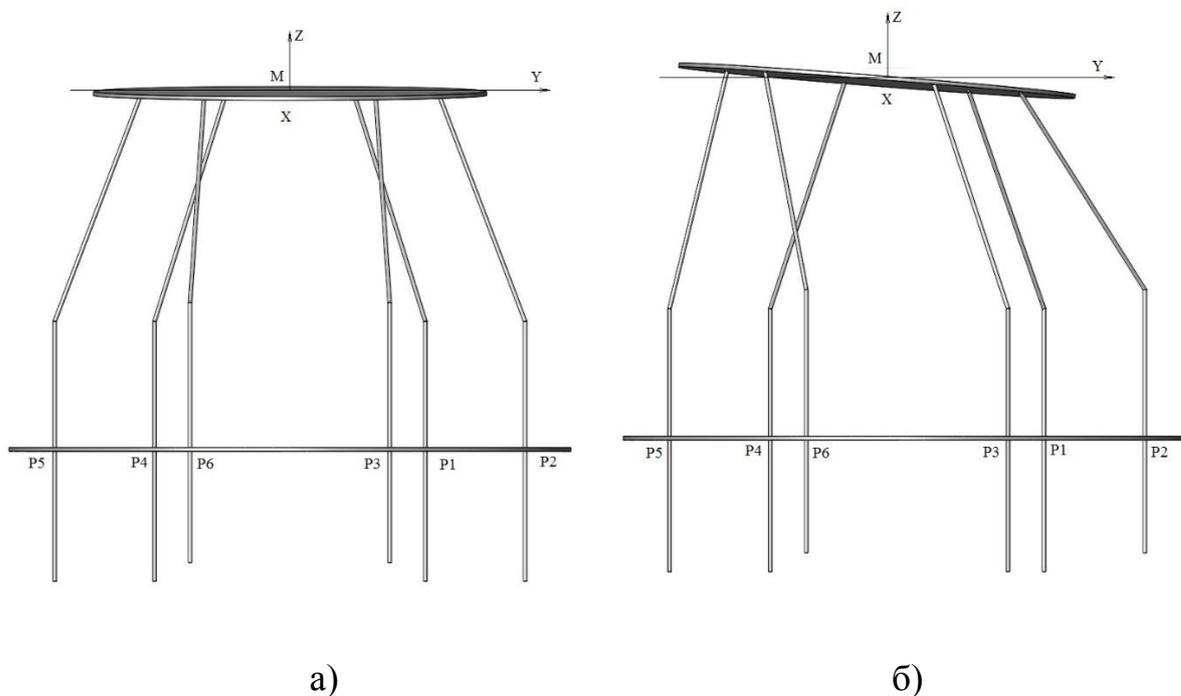


Рисунок 3.3.4.2. Поднятие 2-х приводов: а) симметричных, б) несимметричных

Также, каждый привод имеет вязкое трение α_{Σ} . Каждый находится на своем угле. Есть суммарная жесткость C_{Σ} . Все приводы имеют одинаковую конструкцию, одинаковое быстродействие и два симметричных привода двигаются одновременно по оси Z .

Отдельно рассмотрим перемещение стола по оси x , и поворот стола по координате B при поднятии одновременно двух симметричных приводов.

Аналогично составим схемы масса-пружина, дифференциальные уравнения и структурные схемы.

1. Перемещение стола по оси x :

Принимаем, что перемещение приводов $P_{1...6}$ по оси z соответствует x_1 , то есть $z \equiv P \equiv x_1$, а перемещение стола по оси x соответствует x_2 .

Коэффициент передачи $K_{x,p}$ для данного случая будет равен:

$$K_{x,p} = \frac{x_2}{\Delta P}; \quad (3.3.4.3)$$

С помощью программного обеспечения Solidworks было рассчитано перемещение x_2 , которое при подъёме двух приводов на 5 мм каждый получилось равным 10,02 мм.

$$K_{x,p} = 10,02/5 = 2,004$$

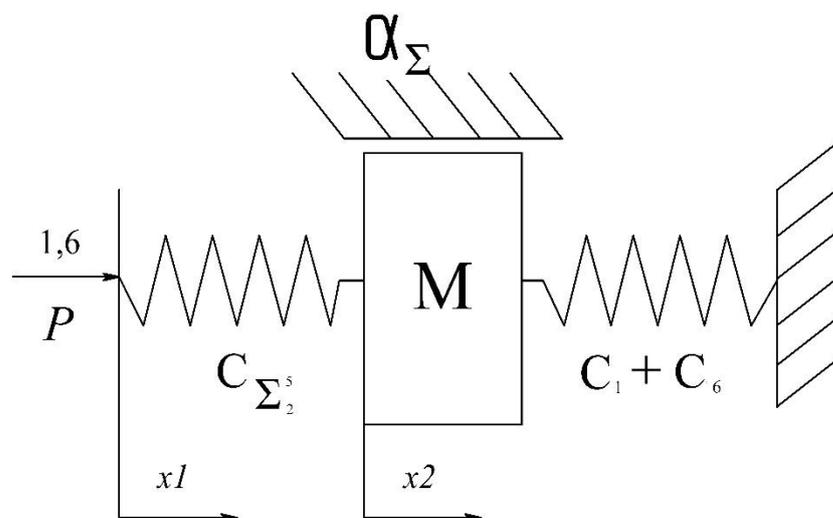


Рисунок 3.3.4.3. Схема масса-пружина для перемещения стола по оси x .

Найдем суммарную жесткость для первого и шестого привода $C_1 + C_6$, расчет жесткости производился в предыдущей математической модели и был равным 0,16 Н/мм, следовательно:

$$C_1 + C_6 = 0,16 + 0,16 = 0,32 \text{ Н/мм};$$

Подобную систему можно описать при помощи следующего дифференциального уравнения:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + \alpha_{\Sigma} \frac{dx}{dt} + c_{\Sigma} \cdot x1 = K_{RP} \cdot P + (c_1 + c_6) \cdot x2;$$

Силу Р также примем равной 0, тогда у нас получается следующее уравнение:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + \alpha_{\Sigma} \frac{dx}{dt} + c_{\Sigma} x = (c_1 + c_6) \cdot x1$$

$$\frac{dv}{dt} = \frac{1}{m} ((c_1 + c_6) \cdot x1 - \alpha_{\Sigma} v - c_{\Sigma} x) \quad (3.3.4.4)$$

$$\frac{dx}{dt} = v \quad (3.3.4.5)$$

Также составим структурную схему математической модели, которая будет описывать вышеизложенные уравнения.

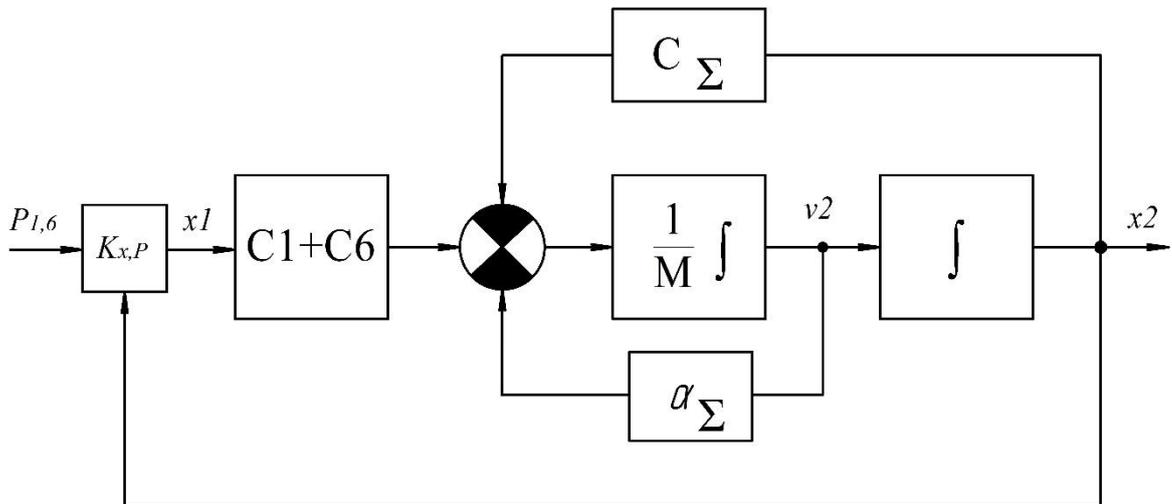


Рисунок 3.3.4.4. Математическая модель при поднятии одновременно двух симметричных приводов.

2. Поворот стола по координате В

Принимаем, что перемещение приводов $P_{1...6}$ по оси z соответствует φ_1 , то есть $z \equiv P \equiv \varphi_1$, поворот стола соответствует φ_2 .

Тогда коэффициент передачи $K_{\varphi,P}$ для данного случая будет равен:

$$K_{\varphi,P} = \frac{\Delta\varphi}{\Delta P};$$

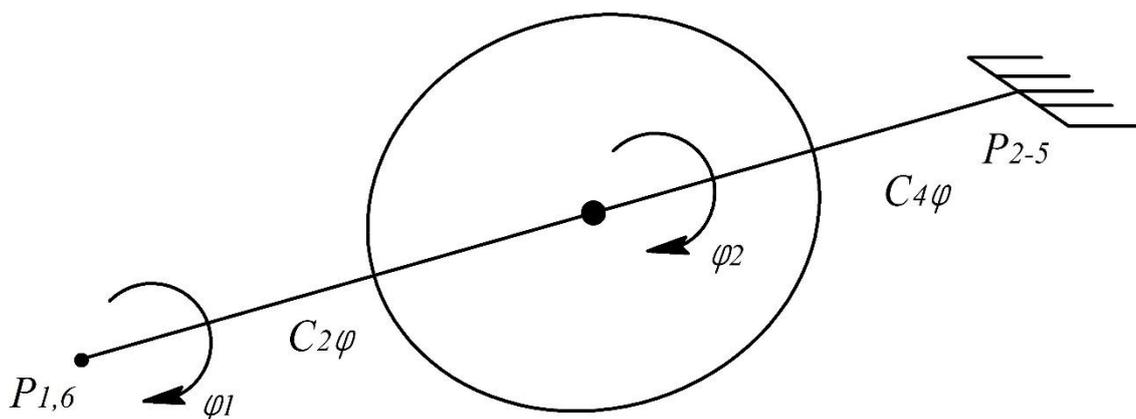


Рисунок 3.3.4.5. Схема для поворота стола по координате B .

Аналогично рассчитываем коэффициент передачи с помощью Solidworks, при подъеме приводов на 5 мм, стол повернулся по координате B на 1,5 градуса.

$$K_{\varphi,P} = \frac{1,5}{5} = 0,3.$$

Верхняя площадка имеет центр, относительно этого центра имеется момент инерции J вокруг центральной оси z , при симметричном поднятии приводов, если столик поворачивается под любым углом по A и B , то тогда величина J_A точно соответствует величине J_B :

$$J_{A,B} \equiv J_A \equiv J_B$$

Момент инерции, который нас интересует определяется вокруг диска относительно центра.

Формула для момента инерции диска имеет вид:

$$J = mR_0^2; \quad (3.3.4.6)$$

где R_0 – радиус диска, равный 105 мм;

m – масса стола, равная 0,2 кг.

Тогда момент инерции будет равен:

$$J=0,2 \cdot 52,5^2=551,25 \text{ кг} \cdot \text{мм}^2;$$

Значит столик мы можем охарактеризовать как диск, который обладает массой M , моментом инерции J_A, B и J_C , поворот в трех осях или в произвольной, и эта величина одинакова.

Для расчета дифференциального уравнения необходимо рассчитать средний радиус (плечо), так как шатуны стоят не вертикально:

$$R_{cp} = \frac{R_n + R_s}{2} \quad (3.3.4.7)$$

где R_n – радиус от центра до шаровых опор на столе, мм;

R_s - радиус от центра до шаровых опор на основании, мм.

$$R_{cp} = \frac{R_n + R_s}{2} = \frac{40 + 63}{2} = 51,5 \text{ мм};$$

Подобную систему можно описать при помощи следующего дифференциального уравнения:

$$mR_0^2 \frac{d^2 \varphi}{dt^2} + \alpha_{\Sigma} \cdot R_{cp}^2 \frac{d\varphi}{dt} + c_{\Sigma} \cdot R_{cp}^2 \varphi l = K_{\varphi, P} \cdot P + (c_1 + c_6) \cdot R_{cp}^2 \varphi 2;$$

Силу P также примем равной 0, тогда у нас получается следующее уравнение:

$$mR_0^2 \frac{d^2 \varphi}{dt^2} + \alpha_{\Sigma} \cdot R_{cp}^2 \frac{d\varphi}{dt} + c_{\Sigma} \cdot R_{cp}^2 \varphi l = (c_1 + c_6) \cdot R_{cp}^2 \varphi 2$$

$$\frac{dw}{dt} = \frac{1}{m} \left(\frac{(c_1 + c_6) \cdot R_{cp}^2 \varphi 2 - \alpha_{\Sigma} \cdot R_{cp}^2 w - c_{\Sigma} \cdot R_{cp}^2 \varphi l}{R_0^2} \right) \quad (3.3.4.8)$$

$$\frac{d\varphi}{dt} = w \quad (3.3.4.9)$$

Тогда структурная схема математической модели, которая будет описывать вышеизложенные уравнения.

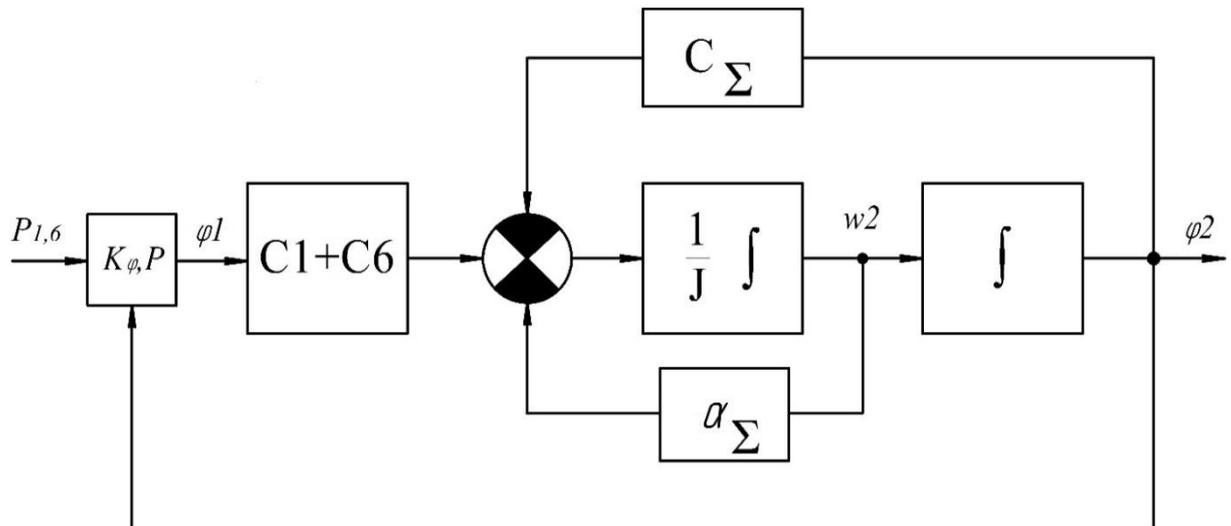


Рисунок 3.3.4.6. Математическая модель для поворота стола, при одновременном поднятии двух симметричных приводов.

3.3.5 Результаты исследования

3.3.5.1 Построение графиков и их анализ

На основе математической модели, приведенной на рисунке 9 и уравнений составлена программа текст, которой приведен в приложении 1. Применяя данную программу, построим графики зависимости координаты x_1 от u_1 , варьируя различными параметрами (масса, коэффициент вязкого трения, жесткость) произведем анализ графиков и выведем зависимости.

Данная программа позволяет сохранять выведенные на экран графики в качестве изображений с расширением BMP, которые и будут приведены ниже.

Когда центр стола уходит по x или y , жесткость на одних приводах становится больше, на других меньше, поэтому можно принять диапазон частот от 0,5 до 2 и выполнить второе вычисление. ΣR_{ii}

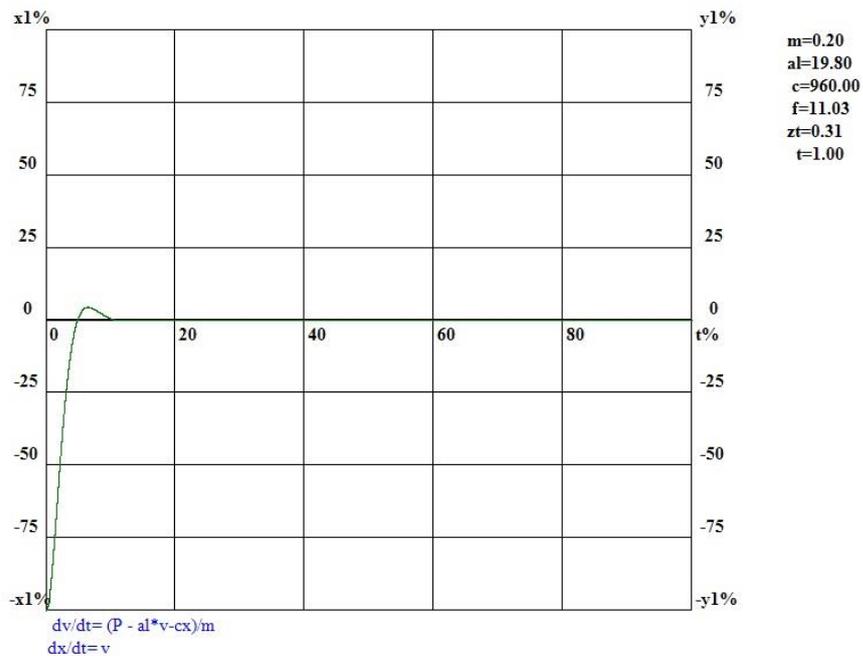


Рисунок 3.3.5.1.1. График переходного процесса стола для рассчитанной жесткости и вязкого трения конструкции при поднятии всех приводов одновременно.

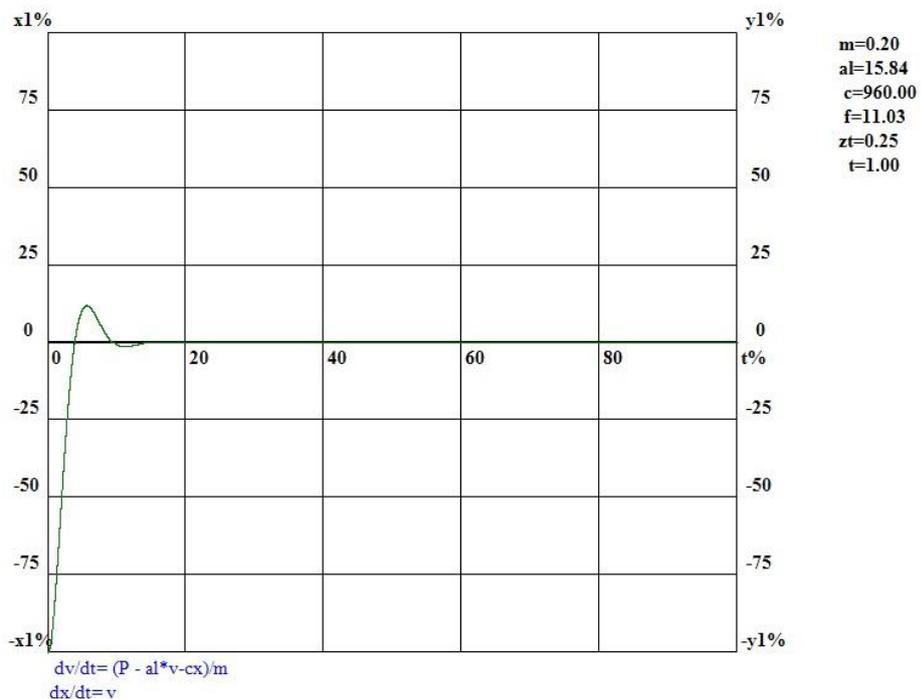


Рисунок 3.3.5.1.2. График переходного процесса стола для уменьшенного вязкого трения на 20%, при поднятии всех приводов одновременно.

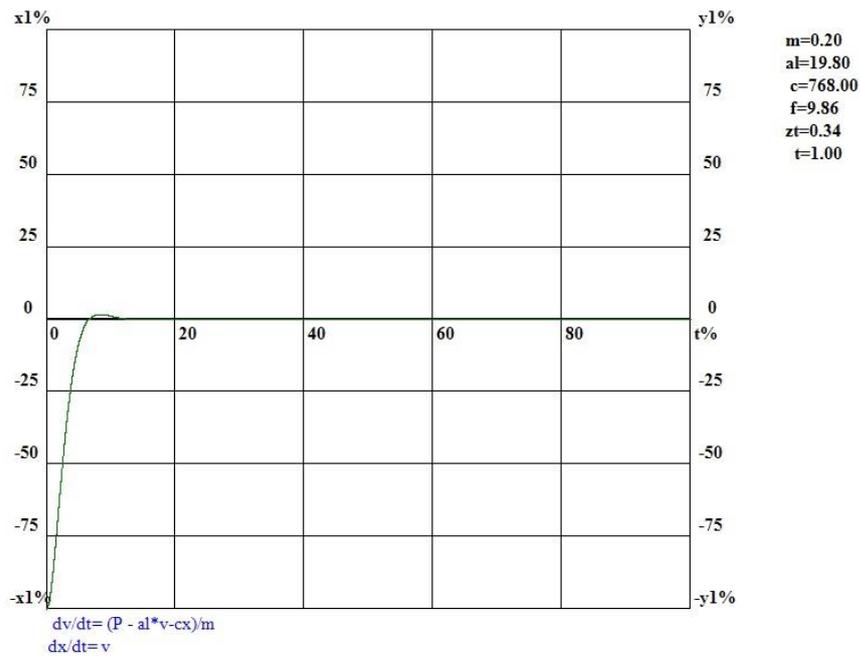


Рисунок 3.3.5.1.3. График переходного процесса стола для уменьшенной жесткости на 20%, при поднятии всех приводов одновременно.

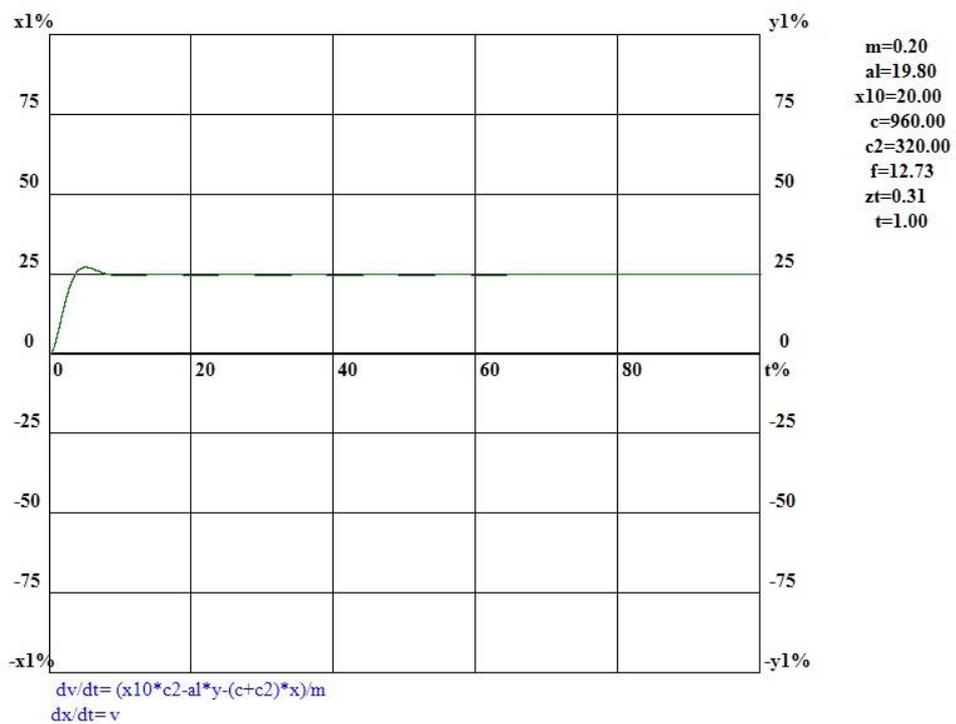


Рисунок 3.3.5.1.4. График переходного процесса стола для рассчитанной жесткости и вязкого трения конструкции при поднятии одновременно двух симметричных приводов.

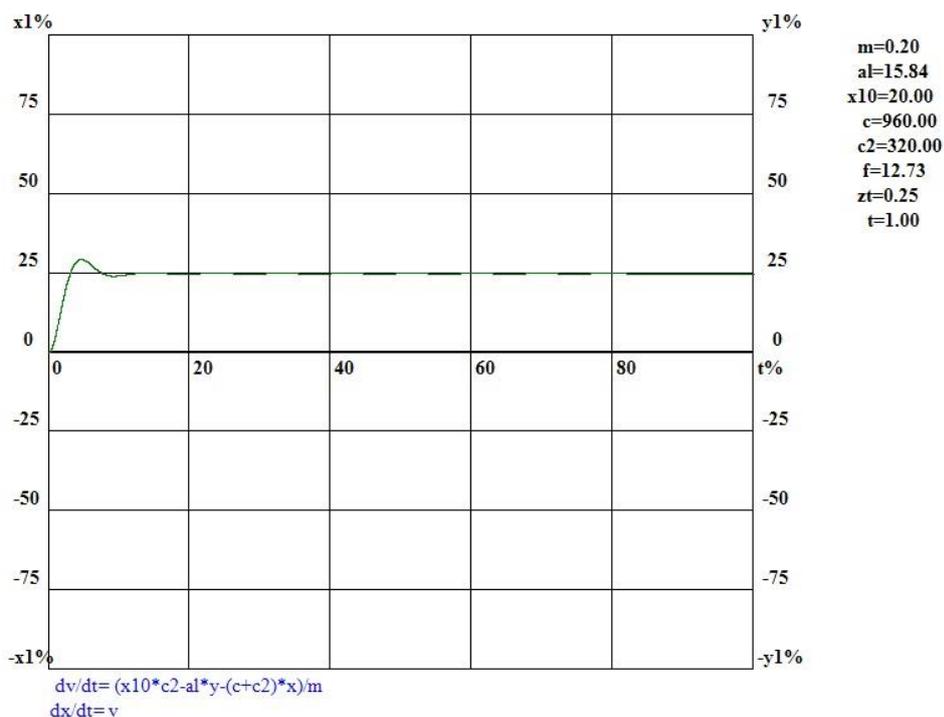


Рисунок 3.3.5.1.5. График переходного процесса стола для уменьшенного вязкого трения на 20%, при поднятии одновременно двух симметричных приводов.

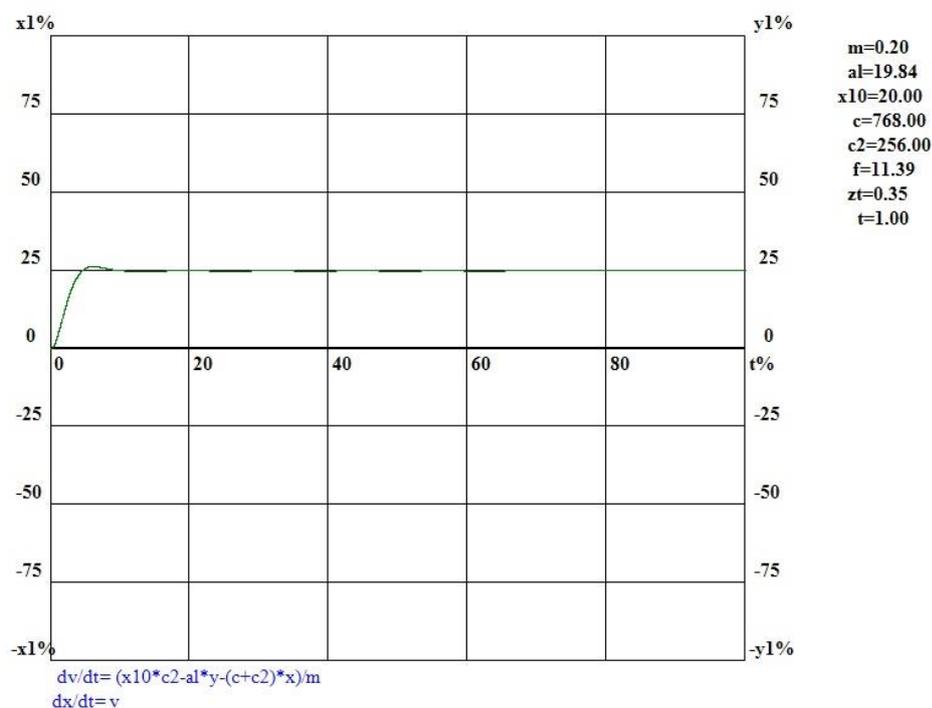


Рисунок 3.3.5.1.6. График переходного процесса стола для уменьшенной жесткости на 20%, при поднятии одновременно двух симметричных приводов.

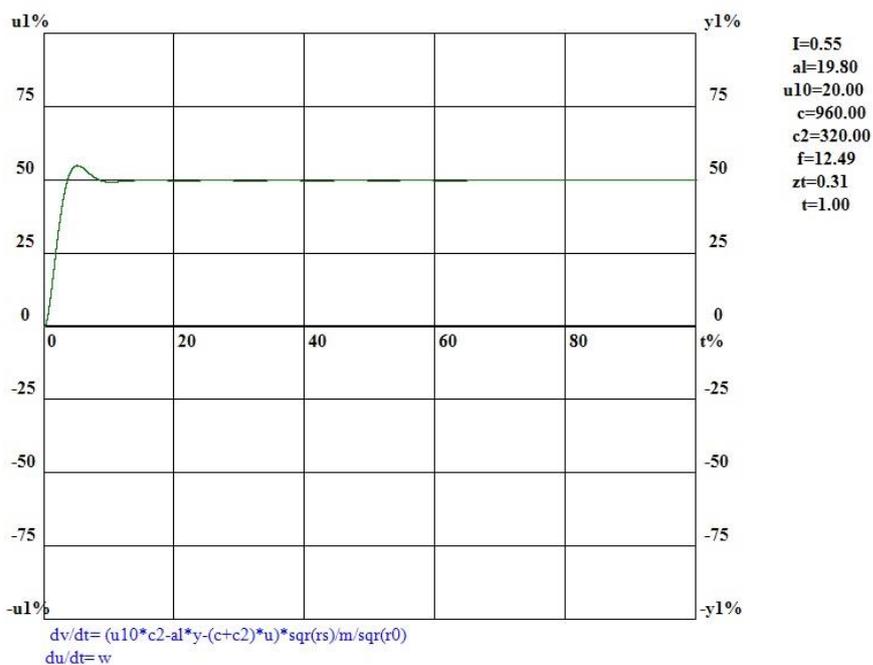


Рисунок 3.3.5.1.7. График переходного процесса при повороте стола по координате B для рассчитанной жесткости и вязкого трения конструкции при поднятии одновременно двух симметричных приводов.

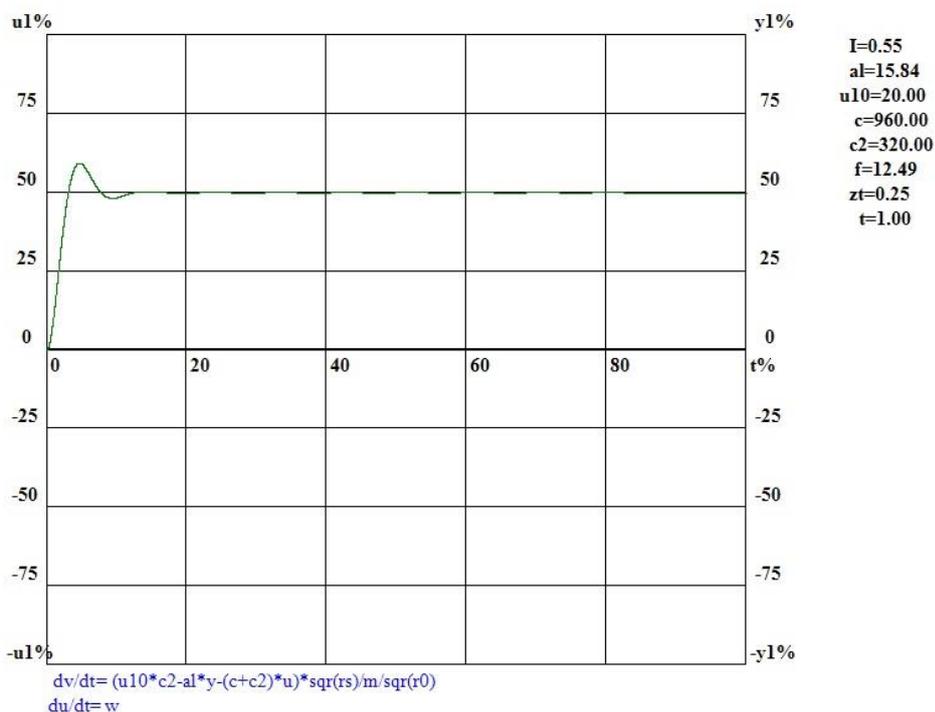


Рисунок 3.3.5.1.8. График переходного процесса при повороте стола по координате B для уменьшенного вязкого трения на 20%, при поднятии одновременно двух симметричных приводов.

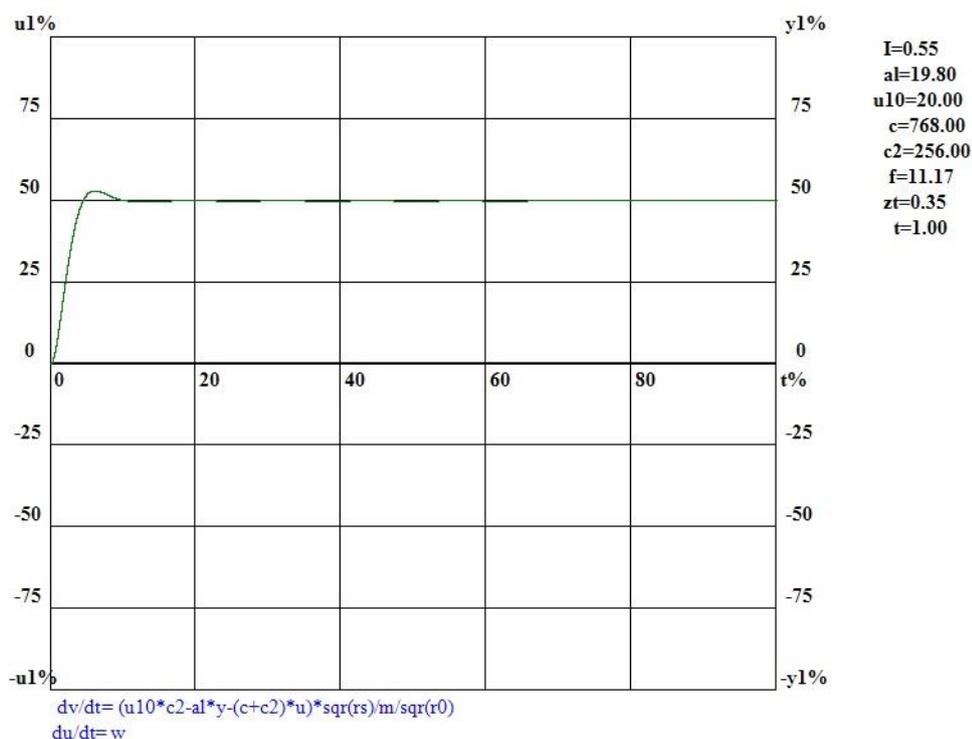


Рисунок 3.3.5.1.6. График переходного процесса при повороте стола по координате B для уменьшенной жесткости на 20%, при поднятии одновременно двух симметричных приводов.

На полученных графиках, которые представлены выше изображен переходный процесс системы при различных движениях стола. Также показаны графики при изменении коэффициента вязкого трения и жесткости конструкции. Анализируя полученные результаты можно сделать вывод о том, что, регулируя параметры можно добиться наиболее оптимального результата, увидеть и проанализировать, как будет вести себя система для различных необходимых габаритах конструкции рассчитав для них жесткость и вязкость.

Данная программа динамической модели представлена в приложении Б.

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.

4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.

4.1. Общие сведения о научном исследовании.

Цель данной диссертационной работы состоит в исследовании класса механизмов с параллельной кинематикой. При этом решаются прямая и обратная задачи кинематики и динамики, определяются необходимые условия для устойчивости положения равновесия и определения рабочей зоны. Широкое применение в машиностроении подобных механизмов влечет за собой постановку перечисленных задач кинематики, динамики, устойчивости. Решения этих задач, основанные на методах аналитической механики, имеют практическую значимость, поэтому настоящая работа является актуальной.

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности научно-исследовательского проекта, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- разработка общей экономической идеи проекта, формирование концепции проекта;
- организация работ по научно-исследовательскому проекту;
- определение возможных альтернатив проведения научных исследований;
- планирование научно-исследовательских работ;
- оценки коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

4.1.2. Потенциальные потребители результатов исследования

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

Целевой рынок: отрасли применения 5Д принтеров.

		Вид компании		
		Медицина	Машиностроение	Строительство
Размер компании	Большая			
	Средняя			
	Маленькая			

Рис. 4.1.2.1. Карта сегментирования рынка услуг по разработке 5D-принтера.

По данной карте сегментирования видно, на какие рынки услуг больше будет продвигаться разработка 5Д проектирования, и где уровень конкуренции низок. Выбирают, как правило, два-три сегмента, на которые и направляют максимальные усилия и ресурсы предприятия. Как правило, выбирают сегменты со сходными характеристиками, которые будут формировать целевой рынок. Внедрение 5Д принтеров преимущественно будет внедряться в медицинскую отрасль, для создания прототипа человеческой кости.

4.2. Анализ конкурентных технических решений

На рынке нет аналогов 5Д принтера с параллельной кинематикой, поэтому анализ конкурентов будем проводить с 3Д принтерами.

Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений
(разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Б _ф	Б _{кл}	К _ф	К _{кл}
1	2	3	5	6	7
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
1. Мобильность	10	10	0	100	0
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	10	9	3	90	30
3. Производительность	5	4	5	20	25
4. Энергоэкономичность	5	4	4	20	20
5. Надежность	4	4	4	16	16
6. Уровень шума	5	4	3	20	15
7. Безопасность	8	8	8	64	64
8. Потребность в ресурсах памяти	8	8	8	80	80
9 Простота эксплуатации	8	7	6	56	48
Экономические критерии оценки эффективности					
1. Конкурентоспособность продукта	10	9	9	90	90
2. Уровень проникновения на рынок	7	0	5	0	35
3. Цена	8	6	5	48	40
4. Предполагаемый срок эксплуатации	4	4	4	16	16
5. Послепродажное обслуживание	4	3	3	12	12
6. Срок выхода на рынок	4	3	2	12	8
Итого	100	83	69	644	499

По оценочной карте видно, что 5Д принтер является конкурентоспособным, так как по многим показателям превосходит 3Д принтеры. Главным достоинством данного устройства является его мобильность и сокращенный объем данных.

4.3. SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Матрица SWOT

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии.</p> <p>С2. Экологичность технологии.</p> <p>С3. Возможность выращивания более сложных структур, благодаря повороту стола по А и В.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Очень сложные алгоритмы движения.</p> <p>Сл2. Отсутствие квалифицированных кадров у потенциальных потребителей по работе с научной разработкой</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Быстрое продвижение на рынок.</p> <p>В2. Усовершенствование устройства.</p> <p>В3. Появление дополнительного спроса на новый продукт</p>	<p>В1С1С3 – быстрое продвижение на рынок в связи с уникальностью данного устройства.</p> <p>В2С2 – усовершенствование устройства, так как относительно низкая себестоимость конструкции.</p> <p>В3С1 – дополнительный спрос может появиться в связи с усовершенствованием устройства и выборе другого конструктива.</p>	<p>В1Сл2 – необходимость квалифицированных специалистов может притормозить продвижение на рынок.</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Развитая конкуренция технологий производства.</p> <p>У2. Отсутствие спроса на новые технологии производства.</p> <p>У3. Кризис</p>		<p>У1Сл2 – При появлении специалистов в данной области может развиться высокая конкуренция.</p>

Таблица 3

Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта				
Возможности проекта		С1	С2	С3
	В1	+	+	+
	В2	0	0	+
	В3	+	+	+

Таблица 4

Интерактивная матрица проекта

Слабые стороны проекта			
Возможности проекта		Сл1	Сл2
	В1	0	-
	В2	+	+
	В3	0	-

Таблица 5

Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта				
Угрозы		С1	С2	С3
	У1	0	-	0
	У2	-	0	-

Таблица 6

Интерактивная матрица проекта

Слабые стороны проекта			
Угрозы		Сл1	Сл2
	У1	0	+
	У2	0	0

4.4 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

Морфологический подход основан на систематическом исследовании всех теоретически возможных вариантов, вытекающих из закономерностей строения (морфологии) объекта исследования.

Таблица 7

Морфологическая матрица для 5D-принтера

	1	2
А. Материал столика	Алюминий	Алюминий
Б. Тип передачи движения	Ременная передача	Шарико-винтовая передача.

Варианты решения задачи:

A1B1 – Исполнение 1

A2B2 – Исполнение 2

4.5. Планирование научно-исследовательских работ

4.5.1. Структура работ в рамках научного исследования

Таблица 8

Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб		Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Постановка задачи	НР
	2	Разработка и утверждение технического задания (ТЗ)	НР, С
Выбор направления исследований	3	Подбор и изучение материалов по тематике	НР, С
	4	Разработка календарного плана	НР, С
	5	Обсуждение литературы	НР, С
Теоретические и экспериментальные исследования	6	Выбор структурной схемы устройства	НР, С
	7	Выбор принципиальной схемы устройства	НР, С
	8	Расчет принципиальной схемы устройства	С
Оформление отчета	9	Оформление расчетно-пояснительной записки	С
	10	Оформление графического материала	С
	11	Подведение итогов	НР, С

4.5.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости:

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{min}i} + 2t_{\text{max}i}}{5}, \quad (4.5.1.1)$$

где $t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

$t_{\text{min}i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{p_i} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}, \quad (4.5.1.2)$$

где T_{p_i} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Таблица 9

Ожидаемое время выполнения работы			
Основные этапы	№ раб		$t_{ож}$, чел.-дн.
Разработка технического задания	1	Постановка задачи	2,8
	2	Разработка и утверждение технического задания (ТЗ)	2,8
Выбор направления исследований	3	Подбор и изучение материалов по тематике	10,8
	4	Разработка календарного плана	2,4
	5	Обсуждение литературы	3,8
Теоретические и экспериментальные исследования	6	Выбор структурной схемы устройства	8,8
	7	Выбор принципиальной схемы устройства	8,8
	8	Расчет принципиальной схемы устройства	11,2
Оформление отчета	9	Оформление расчетно-пояснительной записки	6,8
	10	Оформление графического материала	4,4
	11	Подведение итогов	3,8
Итого:			66,4

Расчет продолжительности одной работы не является необходимым, т.к. на каждой работе задействован один исполнитель, то есть $T_p = t_{ож}$.

4.5.3 Разработка графика проведения научного исследования

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (4.5.3.1)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (4.5.3.2)$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе T_{ki} необходимо округлить до целого числа.

Все рассчитанные значения необходимо свести в таблицу (табл. 10).

Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работ			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях T_p		Длительность работ в календарных днях T_k	
	t_{min}	t_{max}	$t_{ож}$		НР	ИН	НР	ИН
Постановка задачи	2	4	2,8	НР	2,8	–	4,17	–
Разработка и утверждение технического задания (ТЗ)	2	4	2,8	НР, С	1,4	2,8	2,08	4,17
Подбор и изучение материалов по тематике	10	12	10,8	НР, С	2,16	10,8	3,22	16,09
Разработка календарного плана	2	3	2,4	НР, С	2,4	1,2	3,58	1,79
Обсуждение литературы	3	5	3,8	НР, С	1,9	3,8	2,8	5,66
Выбор структурной схемы устройства	8	10	8,8	НР, С	4,4	8,8	7,43	13,1
Выбор принципиальной схемы устройства	8	10	8,8	НР, С	4,4	8,8	7,43	13,1
Расчет принципиальной схемы устройства	10	13	11,2	С	–	11,2	–	16,69
Оформление расчетно-пояснительной записки	6	8	6,8	С	–	6,8	–	10,13
Оформление графического материала	4	5	4,4	С	–	4,4	–	6,56
Подведение итогов	3	5	3,8	НР, С	1,9	3,8	2,8	5,66

$$k_{\text{кал}} = \frac{366}{366 - 106 - 14} = 1,49$$

Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№ р а б о т	Вид работ	Испол ители	T_k		Продолжительность выполнения работ										
					Март			Апрель			Май			Ию нь	
			НР	ИН	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	
1	Постановка задачи	НР	4,17	–	■										
2	Разработка и утверждение ТЗ	НР, С	2,08	4,17	■	■									
3	Подбор и изучение материалов по теме	НР, С	3,22	16,09		■	■	■							
4	Разработка календарного плана	НР, С	3,58	1,79			■	■							
5	Обсуждение литературы	НР, С	2,8	5,66			■	■							
6	Выбор структурной схемы устройства	НР, С	7,43	13,1				■	■						
7	Выбор принципиальной схемы устройства	НР, С	7,43	13,1					■	■					
8	Расчет принципиальной схемы устройства	С	–	16,69							■	■			
9	Оформление расчетно- пояснительной записки	С	–	10,13									■	■	
10	Оформление графического материала	С	–	6,56										■	■
11	Подведение итогов	НР,С	2,8	5,66										■	■

■ - Научный руководитель

■ - Студент

4.6. Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НТИ;

- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- затраты научные и производственные командировки;
- контрагентные расходы;
- накладные расходы.

4.6.1. Расчет материальных затрат НИИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m \Pi_i \cdot N_{расхи} , \quad (4.6.1.1)$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{расхи}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

Π_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Значения цен на материальные ресурсы могут быть установлены по данным, размещенным на соответствующих сайтах в Интернете предприятиями-изготовителями (либо организациями-поставщиками).

Величина коэффициента (k_T), отражающего соотношение затрат по доставке материальных ресурсов и цен на их приобретение, зависит от условий договоров поставки, видов материальных ресурсов, территориальной удаленности поставщиков и т.д. Транспортные расходы принимаются в пределах 15-25% от стоимости материалов. Материальные затраты, необходимые для данной разработки, заносятся в таблицу 12.

Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (З _м), руб.
Шаговый двигатель	шт.	6	2000	12000
Направляющие	шт.	12	150	1800
Ремень	шт.	6	590	3540
Шкив	шт.	6	300	1800
Натяжитель	шт.	6	350	2100
Платформа 1	шт.	1	1000	1000
Платформа 2	шт.	1	1200	1200
Столик	шт.	1	800	800
Шариковая втулка (удлиненная)	шт.	6	350	2100
Шариковая втулка	шт.	6	300	1800
Ползун	шт.	6	300	1800
Обойма	шт.	6	100	600
Шатун	шт.	6	500	3000
Итого				33000

4.6.2. Основная заработная плата исполнителей темы

Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20–30 % от тарифа или оклада. Расчет основной заработной платы сводится в табл. 13.

Расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапа	Исполнитель	Трудоемкость, чел.-дн	Заработная плата на один чел.-дн., тыс. руб.		Всего заработная плата по тарифу, тыс. руб.	
				НР	ИН	НР	ИН
1	Постановка задачи	НР	2,8	2253,07	–	6308,6	–
2	Разработка и утверждение технического задания (ТЗ)	НР, С	2,8	2253,07	399,64	6308,6	1119

3	Подбор и изучение материалов по тематике	НР, С	10,8	2253,07	399,64	24333,2	4316,1
4	Разработка календарного плана	НР, С	2,4	2253,07	399,64	5407,4	959,1
5	Обсуждение литературы	НР, С	3,8	2253,07	399,64	8561,7	1518,6
6	Выбор структурной схемы устройства	НР, С	8,8	2253,07	399,64	19827	3516,8
7	Выбор принципиальной схемы устройства	НР, С	8,8	2253,07	399,64	19827	3516,8
8	Расчет принципиальной схемы устройства	С	11,2	–	399,64	–	4476
9	Оформление расчетно-пояснительной записки	С	6,8	–	399,64	–	2717,6
10	Оформление графического материала	С	4,4	–	399,64	–	1758,4
11	Подведение итогов	НР, С	3,8	2253,07	399,64	8561,7	1518,6

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$Z_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}, \quad (4.6.2.1)$$

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

$Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата (12-20 % от $Z_{\text{осн}}$).

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

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p, \quad (4.6.2.2)$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника;

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (табл. 8);

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (4.6.2.3)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

М – количество месяцев работы без отпуска в течение года:
 при отпуске в 24 раб. дня М = 11,2 месяца, 5-дневная неделя;
 при отпуске в 48 раб. дней М = 10,4 месяца, 6-дневная неделя;
 F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (табл. 14).

Таблица 14

Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	366	366
Количество нерабочих дней - выходные дни - праздничные дни	106 14	106 14
Потери рабочего времени - отпуск - невыходы по болезням	47 -	47 -
Действительный годовой фонд рабочего времени	199	199

$$Z_{\text{дн1}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{43111,731 \cdot 10,4}{199} = 2253,07 \text{ руб.} - \text{зарплатная плата руководителя за 1}$$

день;

$$Z_{\text{дн2}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{6976,22 \cdot 11,4}{199} = 399,64 \text{ руб.} - \text{зарплатная плата студента за 1 день.}$$

$$Z_{\text{осн1}} = 2253,07 \cdot 21 = 47314,5 \text{ руб.} - \text{руководитель;}$$

$$Z_{\text{осн2}} = 399,6 \cdot 62 = 24775,2 \text{ руб.} - \text{студент.}$$

$$Z_{\text{зн1}} = 47314,5 + 47314,5 \cdot 0,12 = 52992,2 \text{ руб.} - \text{руководитель;}$$

$$Z_{\text{зн2}} = 24775,2 + 24775,2 \cdot 0,12 = 27748,2 \text{ руб.} - \text{студент.}$$

4.6.3. Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и

общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}} \quad (4.6.3.1)$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

$$З_{\text{доп1}} = 0,12 \cdot 148702,62 = 17844,3 \text{ руб.} - \text{научный руководитель.}$$

$$З_{\text{доп2}} = 0,12 \cdot 26373,6 = 3164,8 \text{ руб.} - \text{студент.}$$

4.6.4. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}), \quad (4.6.3.2)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На 2016 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2016 году водится пониженная ставка – 27,1%¹.

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в табличной форме (табл. 15).

¹ Федеральный закон от 24.07.2009 №212-ФЗ «О страховых взносах в Пенсионный фонд Российской Федерации, Фонд социального страхования Российской Федерации, Федеральный фонд обязательного медицинского страхования»

Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, р.уб.
Руководитель проекта	47314,5	5677,7
Студент-дипломник	24775,2	2973
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	27,1%	27,1%
Итого	15897,6+8324,5= 24222,1	

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 27,1\% (47314,5 + 5677,7) = 14360,9 \text{руб.} - \text{научный руководитель}$$

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 27,1\% (24775,2 + 2973) = 7519,8 \text{руб.} - \text{студент-дипломник}$$

4.6.5. Оплата работ, выполняемых сторонними организациями и предприятиями.

Данный раздел включает затраты, связанные с выполнением каких-либо работ по теме сторонними организациями (контрагентами, субподрядчиками), т.е.:

1) Работы и услуги производственного характера, выполняемые сторонними предприятиями и организациями. К работам и услугам производственного характера относятся:

- выполнение отдельных операций по изготовлению продукции, обработке сырья и материалов;
- проведение испытаний для определения качества сырья и материалов;
- контроль за соблюдением установленных регламентов технологических и производственных процессов;
- ремонт основных производственных средств;
- поверка и аттестация измерительных приборов и оборудования, другие работы (услуги) в области метрологии и прочее.
- транспортные услуги сторонних организаций по перевозкам грузов внутри организации (перемещение сырья, материалов, инструментов, деталей,

заготовок, других видов грузов с базисного (центрального) склада в цехи (отделения) и доставка готовой продукции на склады хранения, до станции (порта, пристани) отправления).

2) Работы, выполняемые другими учреждениями, предприятиями и организациями (в т.ч. находящимися на самостоятельном балансе опытными (экспериментальными) предприятиями по контрагентским (соисполнительским) договорам на создание научно-технической продукции. Головной (генеральный) исполнитель этих работ является данная научная организация).

Расчет величины этой группы расходов зависит от планируемого объема работ и определяется из условий договоров с контрагентами или субподрядчиками.

В таблице 16 представлены исполнители операций по сборке нашей конструкции.

Таблица 16

Сторонние исполнители

№ п/п	Профессия	Количество работников	Разряд рабочего
1	Инженер	1	2

Сборку необходимо выполнить непосредственно на кафедре АРМ. Оклад инженера 5111,2 т.р.

На выполнение работ по изготовлению рамы для мобильного устройства отводится 2 дня.

Подсчитаем зарплату за 3 дня инженера на кафедре АРМ. Результаты расчетов представлены в таблице 17. Заработная плата рассчитывается по методике из разд. 4.6.3, отчисления во внебюджетные фонды по методике 4.6.5.

Таблица 17

Оплата труда сторонних исполнителей

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, р.уб.
Инженер	863,1	103,6
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	30%	
Отчисления во внебюджетные фонды	290	

$$Z_{\text{дн}} = \frac{5111,2 \cdot 11,2}{199} = 287,7 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{осн1}} = 287,7 \cdot 3 = 863,1 \text{ руб. – основная зарплата инженера}$$

$$Z_{\text{зп1}} = 863,1 + 863,1 \cdot 0,12 = 966,7 \text{ руб. – зарплата инженера}$$

$$Z_{\text{внеб1}} = 30\% \cdot 966,7 = 290,01 \text{ руб. – внебюджетные отчисления}$$

4.6.6. Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 7) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (4.6.6.1)$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

4.6.7. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в табл. 18.

Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	Примечание
1. Материальные затраты НИИ	33000	Пункт 3.4.1
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	72089,7	Пункт 3.4.2
3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	8650,7	Пункт 3.4.3
4. Отчисления во внебюджетные фонды	21880,7	Пункт 3.4.4
5. Оплата работ, выполняемых сторонними организациями и предприятиями.	1256,7	Пункт 3.4.5
6. Накладные расходы	21900,4	16 % от суммы ст. 1-7
7. Бюджет затрат НИИ	158778,2	Сумма ст. 1- 8

Прибыль составляет 32298,9 рублей (20 %) от расходов на разработку.

4.6.8. Оценка экономической эффективности проекта

Выполнение экономической части научно-исследовательской нельзя оценить количественно, в связи с тем, что данное исследование является составной частью одного большого международного проекта: ES FP7 PARISE-GA-2013 -612691, с участием ТПУ. Конечным результатом будет являться устройство, в состав, которого входит исследовательская работа. В связи с этим, нельзя получить конкретные данные по экономическому эффекту, следовательно, оценить экономическую эффективность. В связи с этим, как было ранее оценка экономического эффекта не корректна.

5 Социальная ответственность

5. Социальная ответственность

5.1. Анализ установки с точки зрения БЖД

Скорее всего, самые удивительные возможности 5D-печати раскроются в области медицины. Такие технологии несут огромный потенциал для изготовления протезов, имплантов, лекарств, а также создания живых тканей, внутренних органов и полноценных частей тел. Большинство медицинских начинаний, связанных с 5D-принтерами, находятся на стадии экспериментов. Но первые результаты в отдельных направлениях уже могут впечатлить.

В данной диссертационной работе рассматривается - 5Dпринтер с параллельной кинематикой при расположении управляющих приводов вдоль оси цилиндра. Устройство рис.3.1, на которой приведена кинематическая схема пространственного механизма с параллельной кинематикой. Подвижный элемент (рабочий стол) предназначен для перемещения его центральной точки к специальному соплу - «печатающей» головки с нагревателем, через который подается расплав неорганического вещества. Управляя положением стола, с определенной ориентацией положения кромки сопла, на которой находится микро капля расплава, по трем декартовым координатам, с добавочными наклонами стола по координатам A и B (повороты вокруг оси X и Y), можно «напечатать» трехмерный каркас со сложной пространственной поверхностью и порами, имеющие сложную пространственную ориентацию. Число требуемых управляемых координат, для обеспечений пространственной ориентации рабочей точки в рабочей зоне, зависит, как от пространственной ориентации координат привода и их вида (линейные или угловые перемещения), так и числа степеней подвижности, обеспечиваемыми шарнирными опорами (2 или 3 степени).

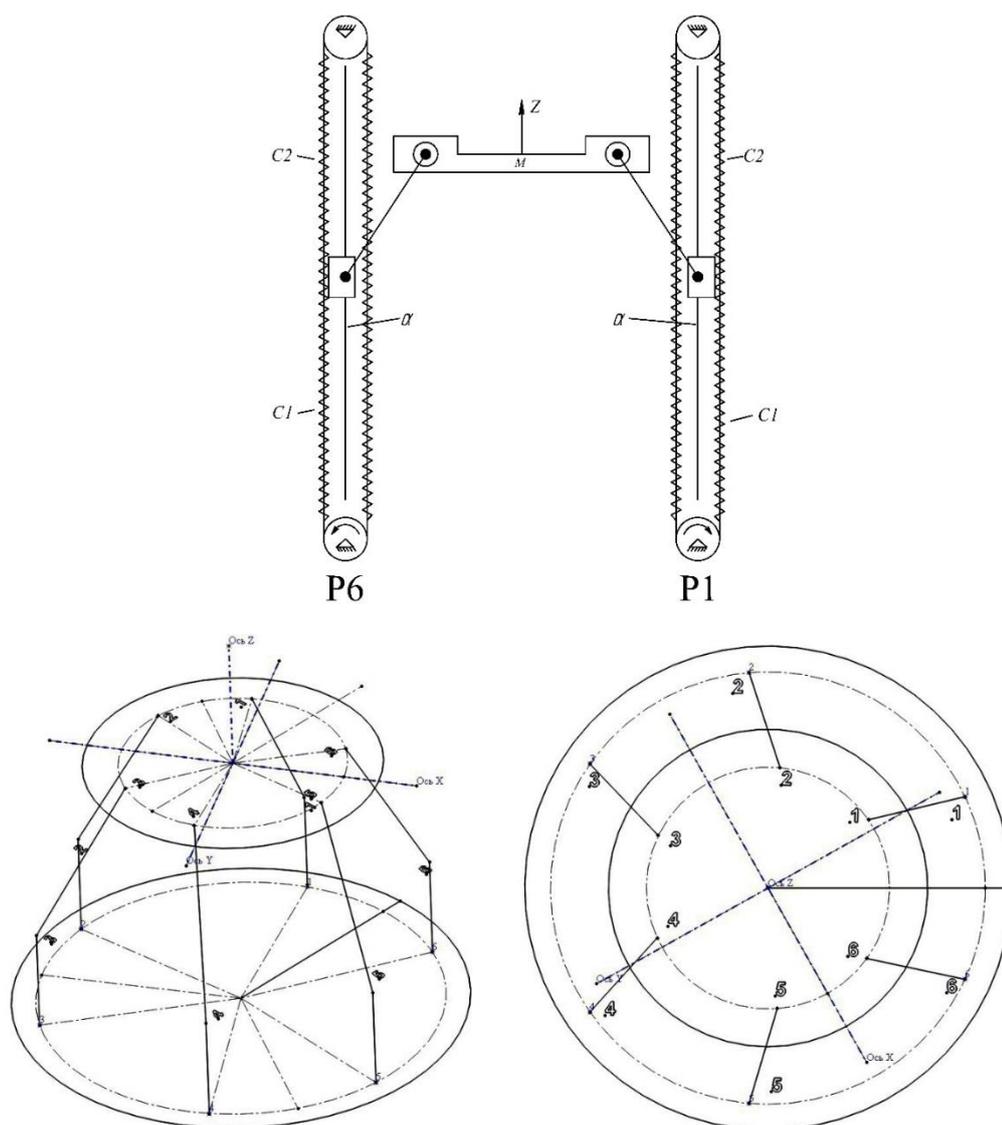


Рис.5.1.1. Кинематическая схема 5D-принтера.

Основными факторами, которые следует учитывать при оценке условий труда людей при эксплуатации устройства являются факторы, которые предназначены для использования 3D принтеров.

В соответствии с постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 30.05.2003 N 107 (ред. от 07.09.2010) "О введении в действие санитарно-эпидемиологических правил и нормативов СанПиН 2.2.2.1332-03" (вместе с "СанПиН 2.2.2.1332-03. 2.2.2. Гигиена труда. Технологические процессы, сырье, материалы и оборудование, рабочий инструмент. Гигиенические требования к организации работы на копировально-множительной технике. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы",

утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 28.05.2003)
(Зарегистрировано в Минюсте РФ 16.06.2003 N 4685.

5.2. Польза для человечества

Возможности 3D-печати практически безграничны. Технология трехмерной печати позволяет на порядок ускорить изобретательскую деятельность, решение задач подготовки производства, а в ряде случаев она уже активно применяются и для производства готовой продукции.

Широкое распространение получили 3D-принтеры, которые начинают захватывать все большие сферы, такие как строительство, машиностроение, текстильная промышленность, медицина и т.д.

Новые технологии могут служить не только на благо потребителей, но и внести ощутимый вклад в восстановление окружающей среды.

В настоящее время в современном мире происходит достаточно большое количество аварий, катастроф, несчастных случаев и т.п., после чего люди могут получить серьезные травмы. Данная разработка 5D-принтера, имеет более точное позиционирование, и имеет возможность «напечатать» трехмерный каркас со сложной пространственной поверхностью и порами, имеющие сложную пространственную ориентацию. Главная идея направлена на то, чтобы появилась возможность «печати» человеческой кости, которая не отторгалась бы организмом. Это будет огромным прорывом в медицине. И людям, при серьезных травмах вместо железных конструкций, спиц и т.п. можно было бы заменить кость, без болезненных ощущений в будущем.

5.3 Социальная ответственность работодателя.

Данная работа проводится в Томском Политехническом Университете, на кафедре Автоматизации и Роботизации в Машиностроении.

Для студентов выделяются компьютерные аудитории, с мощными компьютерами и полным необходимым программным обеспечением, у которых имеется по два монитора, что очень практично и удобно в целях работы. Аудитории хорошо отапливаются зимой, и охлаждаются кондиционерами летом. Круглый год в аудиториях оптимальная температура воздуха.

Также помимо помещения и компьютерных классов на кафедре АРМ имеются лаборатории, но экспериментальная модель данной работы, была выполнена в виртуальной среде SolidWorks, и все необходимые исследования и вычисления были проведены там же.

5.4 . Требования к производственным помещениям

1. Размещение в подвальных помещениях любых типов зданий не допускается.

2. Не допускается размещение в жилых зданиях, за исключением аппаратов настольного типа, необходимых для ведения работ в организациях и учреждениях, разрешенных к размещению на первом и цокольных этажах жилых зданий в соответствии с действующими нормами.

3. При проектировании помещений для копировально-множительной техники следует предусмотреть возможность организации поточности технологического процесса, механизации работ, связанных со вспомогательными операциями.

4. При применении аппаратов копировально-множительной техники настольного типа, а также единичных стационарных копировально-множительных аппаратов, используемых периодически, для нужд самого предприятия, допускается их установка в помещениях, где производятся другие виды работ, с соблюдением требований настоящих Санитарных правил.

5. Площадь и кубатура помещений на одного работающего рассчитывается в соответствии с требованиями технологической и эксплуатационной документации (не менее 6 м², при кубатуре - не менее 15 м³). Определение минимальной площади производственных и складских помещений производится, исходя из устанавливаемого (запроектированного) оборудования, количества вспомогательных материалов, количества рабочих мест.

6. Расстановка оборудования производится с учетом обеспечения свободного доступа ко всем частям механизмов машин и аппаратов как для обслуживания, так и для ремонта. Расстояние от стены или колонны до краев машины или аппарата (с учетом конструкции вентсистем) составляет не менее 0,6 м, а со стороны зоны обслуживания - не менее 1,0 м. Между станками и машинами предусматриваются места для размещения сырья, полуфабрикатов и готовой продукции. Минимальные размеры проходов - не менее 0,6 м.

7. При использовании в технологии порошковых материалов предусматривается отдельное помещение для их хранения.

5.5. Микроклимат.

Одним из необходимых условий здорового и высокопроизводительного труда является обеспечение чистоты воздуха и нормальных метеорологических условий в лаборатории.

Для оценки метеоусловий в помещении производят измерения температуры, влажности, запылённости, скорости движения воздуха и интенсивности теплового излучения. Результаты измерений сравнивают с нормативами ГОСТ 12.1.005-88. Они приведены в таблице 3. 1

Таблица 5.1

Наименование норм	Оптимальная		Допустимая	
	зимний период	летний период	зимний период	летний период
1. Температура воздуха С.	20-22	20-24	18-25	не > 22
2. Относит. Влажность %	50-60	50-60	не > 70	70
3. Скорость движения воздуха, м/с	0.2	0.3	0.3	0.5

Система отопления лаборатории должна обеспечить достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха в аудитории в холодный период

года, а также безопасность в отношении пожара и взрыва. Так же необходимо обеспечить приток воздуха в аудиторию. Минимальный расход воздуха определяется из расчета 50-60 м³ /ч на одного человека по СНиП 41-01-2003. Для обеспечения установленных норм микроклиматических параметров и частоты воздуха в лаборатории возможно применить вентиляцию СНиП 41-01-2003.

Для поддержания данных санитарных норм достаточно иметь естественную неорганизованную вентиляцию помещения и местный кондиционер установки полного кондиционирования воздуха, обеспечивающий постоянство температуры, относительной влажности, скорости движения и чистоты воздуха. Необходима система центрального отопления, обеспечивающая заданный уровень температуры в зимний период по СНиП-41-01-2003.

В зимний период в аудитории для поддержания необходимой температуры используется система водяного отопления. Эта система надежна в эксплуатации и обеспечивает возможность регулирования температуры в широких пределах.

При устройстве системы вентиляции и кондиционирования воздуха в помещении лаборатории необходимо соблюдать определенные требования пожарной безопасности.

Для обеспечения требуемого микроклимата воздушной среды в лаборатории рекомендую применять искусственную вентиляцию в сочетании с "местной" искусственной, так и естественной.

5.6. Освещение на рабочем месте.

Для обеспечения нормативной освещенности необходимо использовать совмещенное освещение, при котором естественное дополняется искусственным. Причём естественное освещение является боковым (осуществляется через световые проёмы в наружных стенах), а искусственное - общим. В условиях недостаточной освещенности в утреннее и вечернее время используется искусственное освещение. Роль искусственного освещения

выполняют люминесцентные лампы. Они обладают высокой световой отдачей и имеют более продолжительный срок службы в отличие от обычных ламп накаливания. Согласно, действующим ГОСТР 50948 ; ГОСТР 50949 ; СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03; СНиП 23-05-95 для искусственного освещения регламентировано наименьшая допустимая освещенность рабочего места 300лк. - 500лк. , яркость светящихся поверхностей (окна светильники и др.), находящихся в поле зрения $< 200\text{кд/м}^2$, коэффициент пульсации $< 5\%$. Измерения освещенности рабочих мест производится с помощью люксметров.

5.7. Требования к организации освещения производственных помещений и рабочих мест

1. Показатели световой среды на участках копировально-множительных работ должны соответствовать требованиям действующих нормативных документов (Приложение 1).

Приложение 1 к САНПИН 2.2.2.1332-03

N	Наименование отделений, участков, оборудования	Плоскость нормирования освещенности (измерения)	Разряд, подразряд зрительных работ	Наименьшая искусственная освещенность рабочих поверхностей		
				Комбинированное освещение		Общее освещение
				Всего	От общ.	
1 1.1	Редакционно-оформительское отделение Участок наборно-пишущих машин	Г-0,8 м от пола	4б	500 ЛК	300 ЛК	400 ЛК
1.2	Стол корректора	наклонная плоскость стола	3в	750 ЛК	200 ЛК	300 ЛК
2.	Зона обслуживания копировально-множительной техники различных видов	Г-0,8 м от пола	4			300 ЛК
3.	Брошюровочно-переплетное отделение	Г-0,8 м от пола	4г			200 ЛК

4. 4.1	Складские помещения Склад материалов (кислот, щелочей и т.д.)	Г-0,8 м от пола	8б			75 ЛК
4.2	Склад бумаги	Г-0,8 м от пола	8в			50 ЛК

2. В качестве источников света в установках общего и местного освещения рекомендуется предусматривать газоразрядные лампы типа ЛБ или другие источники света с аналогичными характеристиками. (п. 8.3 в ред. Изменения N 1, утв. Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 07.09.2010 N 120)

3. В светильниках общего и местного освещения предусматривается светорассеивающая арматура.

4. Искусственное освещение помещений обеспечивает требуемые уровни освещенности, правильную цветопередачу, не создавая слепящей яркости и повышенной пульсации освещенности, оборудуется легкоуправляемыми и безопасными устройствами эксплуатации. Показатель ослепленности допускается не более 40, коэффициент пульсации от установок общего освещения - не более 20%.

Требования, которые должны соблюдаться при оборудовании рабочих мест, предназначенных для работы с вычислительной техникой:

1. Обеспечить уровни освещенности и контрастности на экране и вокруг него, которые обеспечили бы зрительный комфорт и позволяли бы адаптацию к типу задачи оператору.

2. Соблюдать равномерную яркость в различных зонах зрительного пространства так, чтобы избежать зрительного дискомфорта.

Освещенность на рабочем месте должна быть порядка 500 люкс, так как согласно СНиП 23-09-95 при сборке и разборке установки скорость различения деталей при этой освещенности максимальна и не требует большого зрительного напряжения.

Для общего освещения не менее 300 люкс при использовании газоразрядных ламп.

5.8. Анализ пожаро-взрывоопасности.

Помещения и здания по пожаровзрывной и пожарной опасности классифицируются на категории А, Б, В, Г и Д. Помещение лаборатории относится к категории В - пожароопасное, т.е. помещения, в которых горючие и трудно горючие вещества и материалы способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть.

Согласно ПУЭ классом зоны пожароопасности этих помещений является П-Па, т.е. это зона, расположенная в помещениях, в которых обращаются твёрдые горючие вещества.

Степень защиты электрооборудования:

- стационарное IP44,
- передвижное IP54,
- светильник IP20.

5.9. Средства пожаротушения.

Средства пожаротушения подразделяются на:

- организационные (вынужденная эвакуация людей при пожаре);
- эксплуатационные (вода, водо-химические растворы, огнетушащие пены, инертные газы, ингибиторы и флегматизаторы и т.д.);
- режимные (системы автоматической сигнализации и автоматического пожаротушения, противодымовая защита).

Для обеспечения пожаробезопасности аудитории имеются два углекислотных огнетушителя типа ОУ-5 (согласно ГОСТ 12.1.004-88 ССБТ). Установлена система автоматической пожарной сигнализации (реагирует на появление дыма, кроме того она формирует сигнал на включение системы аварийной вентиляции дымоудаления, других устройств). В коридоре установлен пожарный кран.

5.10. Организационные меры по обеспечению пожаробезопасности.

Во избежание пожаров необходимо периодически производить инструктаж с пользователями по пожаробезопасности, недопустимо приносить и хранить в комнатах взрывопожароопасные вещества и материалы. При обнаружении пожара, необходимо:

- вызвать пожарную охрану по «01»;
- обеспечить вынужденную эвакуацию всех людей;
- до прибытия команды ПО принять все необходимые меры по тушению пожара.

5.11. Мероприятия противопожарной профилактики.

1. Хранить информацию желательно в обособленных помещениях, оборудованных несгораемыми шкафами и стеллажами.
2. В помещениях, смежных с аудиторией для электроприборов, не желательно размещение помещений категории «А» и «В».
3. Система вентиляции должны быть оборудована устройством, обеспечивающим автоматическое отключение при пожаре.
4. Подачу воздуха к электрооборудованию, для охлаждения, необходимо предусматривать.
5. Система электропитания оборудования должна иметь блокировку, обеспечивающую отключение в случае неисправности.
6. Работы по ремонту узлов оборудования должны производиться в отдельных помещениях.
7. Необходимо производить очистку от пыли всех аппаратов и узлов электрооборудования (желательно раз в месяц).
8. В помещении лаборатории должна предусматриваться автоматическая пожарная сигнализация, также необходимо устанавливать реле реагирующее на дым.

5.12. Медикопрофилактическое обслуживание работников и проведение медицинских осмотров

1. Медикопрофилактическое обслуживание работников осуществляется в соответствии с действующими нормативными документами.

2. К работе оператора не допускаются лица моложе 18 лет, беременные женщины и имеющие медицинские противопоказания. Приложение 2 к СанПиН 2.2.2.1332-03.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2 К САНПИН 2.2.2.1332-03

Перечень вредных веществ, подлежащих контролю в воздухе производственных помещений

Вещество	Технологический процесс	ПДК, мг/м ³	Класс опасности
Аммиак	Диазوكопирование (светокопирование)	20,0	4
Азота оксид (в пересчете на NO ₂)	Диазокопирование (светокопирование), контактное копирование, электрография (ксерокс, ЭРА), полноцветные лазерные аппараты	5,0	3
Ацетон	Электрография (ксерокс, ЭРА), ремонтные работы	200	4
Водород селенистый	Электрография (ксерокс, ЭРА) при ремонтных работах	0,2	2
Стирол	Электрография	5,0	3
Бензин	Участки подготовки бумаги и переплетно-брошюровочный участок (ремонтные работы)	100	4
Озон	Диазокопирование (светокопирование), контактное копирование, электрография (все виды), полноцветные лазерные аппараты	0,1	1
Эпихлоргидрин	Электрография	1,0	2
Этиленоксид	Участки подготовки бумаги и переплетно-брошюровочный участок (ремонтные работы)	1,0	2
Пыль бумажная (с примесью диоксида кремния менее 2%)	Участок переплетно-брошюровочный	6	4

5.13. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.

Защита населения—главная задача гражданской обороны. Она представляет собой комплекс мероприятий, имеющих цель не допустить поражение людей ядерным, химическим и бактериологическим оружием или максимально ослабить степень их воздействия, а также предотвратить последствия стихийных бедствий, аварий, катастроф.

Из-за многообразия поражающих факторов можно выделить лишь наиболее общие мероприятия, направленные на обеспечение безопасности жизнедеятельности населения в ЧС:

1. Непрерывное наблюдение и лабораторный контроль за радиоактивным, химическим и биологическим заражением объектов внешней среды, наблюдение за опасными природными явлениями, прогнозирование обстановки в зонах экологического бедствия.

2. Оповещение населения об угрозе нападения противника, радиоактивного заражения, катастрофического затопления, о химическом или биологическом заражении.

3. Применение средств индивидуальной защиты и медицинских средств защиты.

4. Применение режимов защиты людей на зараженной территории.

5. Эвакуация населения.

6. Проведение специальных профилактических и санитарно-гигиенических мероприятий, направленных на предотвращение массовых инфекционных заболеваний.

7. Обучение населения способам защиты в очагах поражения.

8. Принятие мер по недопущению употребления населением, зараженных продовольствия и воды.

9. Ликвидация заражения в очаге поражения.

Основные способы защиты населения

1. Укрытие населения в защитных сооружениях.

2. Эвакуация населения.

3.Рассредоточение.

4.Обеспечение всего населения СИЗ.

Укрытие в защитных сооружениях обеспечивает различную степень защиты от поражающих факторов ядерного, химического и биологического оружия. Этот способ обеспечивает надежную защиту и вместе с тем практически исключает в период укрытия производственную деятельность объектов.

Эвакуация населения—комплекс мероприятий по организованному выводу и вывозу всеми видами имеющегося транспорта из городов и размещение его в загородной зоне.

Рассредоточение—комплекс мероприятий по организованному вывозу (выводу) из городов и размещение в загородной зоне для проживания и отдыха рабочих и служащих объектов экономики, продолжающих свою деятельность в особых условиях.

Рассредоточение и эвакуация людей планируются и проводятся по производственно-территориальному принципу, т.е. по объектам и по месту жительства. Предусматривается комбинированный способ эвакуации, обеспечивающий ее проведение в сжатые сроки. При этом используются все виды имеющегося транспорта, независимо от форм собственности.

В первую очередь вывозятся медицинские учреждения; лица, которые не могут передвигаться пешком, а также рабочие и служащие свободных смен предприятий, продолжающих свою деятельность в чрезвычайных ситуациях. Все остальные выводятся пешком.

К защитным относятся инженерные сооружения, предназначенные для укрытия людей, сельскохозяйственной техники, сельскохозяйственных животных и имущества от опасностей, возникающих в результате последствий аварий или катастроф на потенциально опасных объектах либо стихийных бедствий в районах размещения этих объектов, а также от воздействия современных средств поражения.

Заключение.

В результате проделанной работы был произведен анализ, существующих устройств с параллельной кинематикой, рассмотрены принципы построения компоновочных схем. В ходе проведения исследований диссертационной работы была построена виртуальная модель принтера, для исследования кинематики движения рабочего стола, рассмотрены общие принципы построения математических моделей, составление расчетных схем установки, составление дифференциальных уравнений математических моделей, а также построение и анализ графиков, полученных с помощью программы, код которой написан по описываемым математическим моделям.

В заключении хотелось бы отметить, что 5D принтеры в настоящее время является мало изученной и весьма перспективной темой, как в научно-исследовательской деятельности, так и для внедрения ее в различные отрасли промышленности.

Список использованных источников

1. Александров В.В., Садовничий В.А., Чугунов О.Д. Математические задачи динамической имитации полета. М.: Изд-во МГУ. 1986. 181 с.
2. 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.
3. Александров В.В., Буков В.Н., Воронин Л.И. и др. Сквозная динамическая имитация космических полетов // Гагаринские чтения по космонавтике и авиации; 1990,1991 гг. М.: Наука. 1991. С.165-166.
4. Александров В.В., Дылевский И.В. и др. Алгоритм имитации полета на динамическом стенде опорного типа // Изв. АН СССР. Механика твердого тела. 1983. № 2. С. 30-37.
5. Александров В.В. Абсолютная устойчивость имитационных динамических систем в первом приближении // Докл. АН СССР. 1988. Т. 299. № 2 С. 296-301.
6. Александров В.В. Об имитации кажущегося ускорения // Докл. АН СССР. 1981. т. 256. № 2. С. 314-317.
7. 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.
8. Александров В.В. и др. Математические задачи динамической имитации аэрокосмических полетов / В.В. Александров, Л.И. Воронин, Ю.Н. Глазков, А.Ю. Ишлинский, В.А. Садовничий. Под ред. В.А. Садовничего. М.: Изд-во МГУ. 1995. 160 с.
9. Александров В.В., Злочевский С.И., Лемак С.С., Парусников Н.А. Краткий курс по механике управляемых систем. М.: Изд-во МГУ. 1991. 104
10. Александров В.В., Антонов И.А., Тиханина И.Г. Об одном принципе управления имитатором ускорения. // В кн.: Некоторые вопросы теории навигационных систем. Научные труды Института механики, МГУ. 1979.
11. Артоболевский И.И. Теория механизмов. М.: Наука. 1967.

12. Афонин В.Л., Крайнев А.Ф., Ковалев В.Е. и др. Обрабатывающее оборудование нового поколения. М.: Машиностроение, 2001.-256 с.
13. Бушуев В.В., Еремин А.В., Какоило А.А. и др. Металлорежущие станки. Под редакцией Бушуева В.В. Т.2. – Машиностроение, 2011. С. 463-470.
14. Волошинова Т.В., Трифоненко Б.В. О моделировании управления случайным движением твердого тела. // Межвуз. сб.: Устойчивость и колебания механических систем. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та. 1988. (Прикл. мех., вып. 7). С. 18-23.
15. Воробьев Е.И., Диментберг Ф.М. Пространственные шарнирные механизмы. М.: Наука. 1991. 264 с.
16. Глазунов В.А., Колискор А.Ш., Крайнев А.Ф., Модель Б.И. Принципы классификации и методы анализа пространственных механизмов с параллельной структурой // Проблемы машиностроения и надежности машин. 1990. №1. С. 41-49.
17. Глазунов В.А., Колискор А.Ш., Крайнев А.Ф. Пространственные механизмы параллельной структуры. М.: Наука. 1991. 94 с.
18. Диментберг Ф.М. Об особенных положениях пространственных механизмов // Машиноведение. 1977. №5. С.53-58.
19. Диментберг Ф.М. Теория пространственных шарнирных механизмов, М.: Наука. 1982. 336 с.
20. Ершов Б.А., Трифоненко Б.В. Синтез оптимальных кинематических схем и исследование динамики шестистепенных имитаторов движения. // Труды III Всесоюзной научно-технической конференции “Тренажеры и компьютеризация”. Калининград. 1991. Т.2. С.232.
21. Ершов Б.А., Трифоненко Б.В. Движение твердого тела при действии управляющих связей // Вестн. Ленингр. ун-та. 1985. № 8. С. 52-56.
22. Зегжда С.А., Солтаханов Ш.Х., Юшков М.П. Уравнения движения неголономных систем и вариационные принципы механики. Новый класс задач управления. М.: Наука. 2005. 269 с.

23. Зуев С.М. Определение управляющих сил, перемещающих поступательно платформу Стюарта с шестью степенями свободы по заданному закону. // Восьмые Окуневские чтения. 2013. С. 162-164.
24. Зуев С.М. Стабилизация положения равновесия материальной точки на трех кривошипно-шатунных опорах // Вестн. С.-Петерб. ун-та. 2014. Серия 1. Вып. № 1. С. 101-109.
25. Корендясев А.И., Саламандра Б.Л., Тывес Л.И. и др. Манипуляционные системы роботов. М.: Машиностроение. 1989. 472 с.
26. Меркин Д.Р. Введение в теорию устойчивости движения. М.: Наука. 1976. 320 с. 108
27. Поляхов Н.Н., Зегжда С.А., Юшков М.П. Теоретическая механика. М.: Юрайт. 2012. 593 с.
28. Смирнов В.А. Алгоритм управления механизмом с параллельной кинематической структурой. Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2005. – Вып. 7. - №14(54). – С. 23-27.
29. Хант К. Кинематические структуры манипуляторов с параллельным приводом // Тр. Американского общ-ва инженеров-механиков. Кон- 109 струирование и технология машиностроения. М.: Мир. 1983. №4. С.201- 210.
30. Янг Д., Ли Т. Исследование кинематики манипуляторов платформенного типа // Тр. Американского общ-ва инженеров-механиков. Конструирование и технология машиностроения. М.: Мир. 1984. №2. С.264- 272.
31. Шульмин В. А. Экономическое обоснование в дипломных проектах : учебное пособие для вузов / В. А. Шульмин, Т. С. Усынина. – Старый Оскол: ТНТ, 2012. – 192 с.
32. Безопасность жизнедеятельности: учебник для высших учебных заведений Министерства образования и науки РФ /В.Н.Азаров, А.И.Ажгиревич, В.А.Грачёв и др.; под общ.ред.В.В.Гутенёва. – М. – Волгоград: ПринТерра, 2009. – 512с.
33. Захаров Л.Н. Техника безопасности в химической в химических лабораториях. – Л: Химия. – 1985. -98с.

34. Alexandrov V.V., Salazar H., Guerra L., Sobolevskaya I.N., Trifonova A.V. Stabilization of relative position of Stewart platforms // Mathematical Modeling of Complex Information Processing Systems. Moscow: Moscow University Press. 2001. P. 71—83.
35. 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.
36. 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.

НОРМАТИВНАЯ ЛИТЕРАТУРА

37. ГОСТ 12.1.007 – 76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.
38. ГОСТ 12.3.002 – 75 ССБТ. Процессы производственные. Общие требования безопасности.
39. ГОСТ 1284.1-3-89. Ремни приводные клиновые нормальных сечений ГОСТ 1284.1-3-89
40. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278 – 03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий. М.: Минздрав России, 2003.
41. СНиП 2.04.05 – 91. Отопление, вентиляция и кондиционирование.
42. СНиП 23 – 05 –95. Нормы проектирования. Естественное и искусственное освещение. М.: Минстрой России, 1995.

Список публикаций студента

1. Кинематика и алгоритмы управления 5D мехатронным устройством.
Прокопова А.Д., Крауиньш П.Я., Тычинский А.В.
Международный независимый институт Математики и Систем "МиС"
Ежемесячный научный журнал
№10 (21) / 2015

Приложение А

1.1. LITERATURE AND PATENT REVIEW OF MECHANISMS WITH PARALLEL KINEMATICS

Generally speaking all mechanisms with the parallel kinematics can be divided into groups by the number of degrees of the mobility of an output element, by the type of an actuator, by the type of a control and by the field of use.

The two-degree-of-freedom mechanisms with parallel kinematics.

These mechanisms are the simplest representatives of the processing equipment that are fulfilled in terms of the mechanisms of the parallel structure. Usually they represent the mechanism of the parallel structure with the two parallel kinematic chains, the two controlled actuators are positioned in the kinematic chains one in each, and they provide a displacement of the output element by the two independent coordinates.

The machining center Dyna-M (Dynamil-Projekt) (figure 1.1.1, a) is fulfilled according to the scheme with the variable lengths of the guide bars and the two additional kinematic chains without the actuators. The output element 1 is connected to the base by the two kinematic chains in the form of the variable lengths of the guide bars with the actuators 3 and the two kinematic chains without the actuators 2 (figure 1.1.1, b). The kinematic chains 2 are used for the stiffening in the perpendicular direction to the scheme plane and they are the passive kinematic chains, which can be used for the stiffening of the structure, also for changing the structure of the movement of the output element. The maximum velocity of the machine working body is 90 m/min, the acceleration is 1,5 g, and the volume of the working space is 630x630x500 mm³.

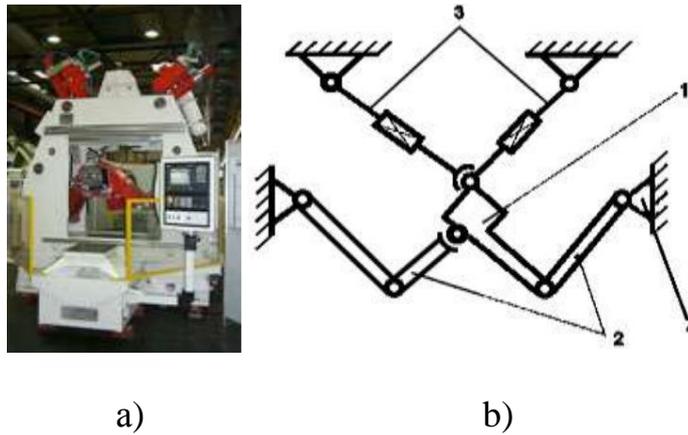


Figure 1.1.1. The machining center Dyna-M:

a – the general form of the machine, b – the kinematic scheme

The three-degree-of-freedom mechanisms with parallel kinematics.

This group of the mechanisms of the parallel structure provides a displacement of the output element by the three independent coordinates.

The delta-mechanism.

The manipulators of the 3 translation degrees of freedom particularly suit for the pick-and-place operations and the machining operations. The most famous robot with the three translation degrees of freedom is the *Delta* (figure 2), that was developed by Clavel and by Polytechnique school from Lausanne.

The gimbal actuates the three manipulators, which are attached to the base that is located at the top in the form of the suspended structure; at the bottom the manipulators fitting together and the manipulators are connected by a small triangular platform, which displaces along the X, Y or Z-directions during the operation, also the central fourth lever provides the additional degree of a freedom – rotational.

This robot is marketed by the «Demaurex» company by the division of the ABB under the name IRB 340ABB FlexPicker, and the «CSEM» company offers its micro version.

In response to that, the actuators are set up into the base of the basic construction, and the “arms” are made from the light composite material, the robot can perform up to the 150 grips per a minute. Most often these robots are used for packing and sorting products.



Figure 1.1.2. The Delta robot and one of its industrial implementation - the FlexPicker IRB

The micromanipulator with three degrees of freedom.

The manipulator with the 3 degrees of freedom, which is shown on the figure 3, was offered by Hunt and has been studied by the various authors: Gosselin, Lee, Pernette (as a micro-robot under the name *Orion*), Waldron. The backstops are linked with the base by the rotary falling hinges, and the backstops are linked with the moving platform by the ball-and-socket, which are connected to the linear actuators that allow the variation of the backstops lengths. This mechanism has the translational degree of freedom along the vertical axis, and 2 rotational. This robot has been used by Zhang for the balancing of a spaceship arm and as a micro-manipulator (under the name of *Artisan*) by Waldron and Khatib.



Figure 1.1.3. The manipulator with the three degrees of freedom offered by Hunt and Lee and the example of its application as an entertainment motion base.

The tripod.

The Tripod (figure 4) is the three-axis mechanism that implements the linear displacement of the actuating link along the three axes X , Y , Z . In general, a tripod is a "simplified" version of the hexapod. However, there are differences. Since the three guide bars cannot provide an angular rigidity the fourth-central guide bar is introduced into the design, which perceives any bending stresses is the main task.



Figure 1.1.4. The industrial robots of the Tricept line.

The four-degree-of-freedom mechanisms with parallel kinematics.

The mechanisms with the 4 degrees-of-freedom have begun to be studied long ago. In 1975, Koevermans presented a flight simulator mechanism that uses the passive constraints (figure 1.1.5). It had the three rotational degrees of freedom and one translation – the displacement about the z axis.

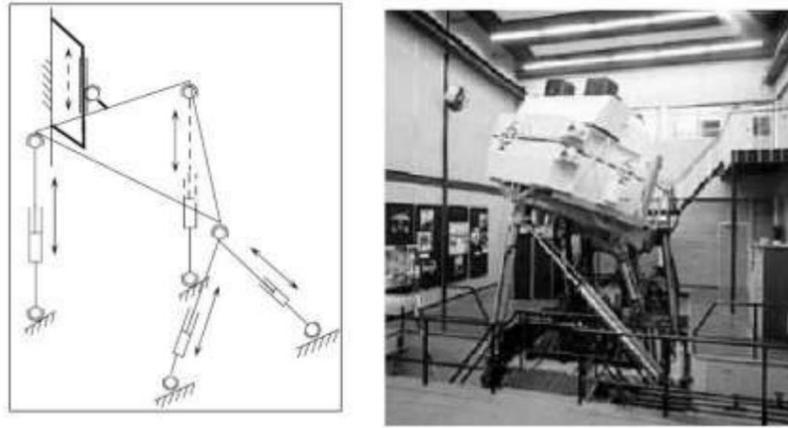


Figure 1.1.5. The Koeverman's manipulator with 4 degrees of freedom and the example of its use as a flight simulator at NLR.

For receiving the manipulator with the four degrees of freedom can use less than 4 backstops, with a specific arrangement the actuators on them, or with a specific arrangement of the falling hinges axis.

The five-degree-of-freedom mechanisms with parallel kinematics.

When the robots with 5 degrees of freedom design also have to rely on the passive constraints, or the specific designs. Such robots interesting in the machine-tool field for so-called the five-axis machining. Indeed, the 6 degrees of freedom is not strictly necessary to these machining as one degree of freedom is the rotation of the spindle. The model Triomaxx (figure 6) is the example of the machine tool with the five-degree-mechanism of the parallel structure. The output element is connected with the base by the three kinematic chains in the form of the variable lengths of the guide bars through the gimbal falling hinges. Each chain has two actuators, one of them changes the length of the guide bar, and the second changes the attitude of the falling hinge about the guide bar axis, so the guide bars work in a tension, a compression and a torsion.



Figure 1.1.6. The machining center Triomaxx

The six-degree-of-freedom mechanisms with parallel kinematics.

The mechanisms with the six degrees of freedom realize all advantages of the mechanisms of the parallel structure from all mechanisms that are previously discussed: two degrees of freedom, three degrees of the freedom etc. Such mechanisms allow to orient the output element by the six degrees of freedom and these mechanisms possess the high rigidity and the simplicity design.

The hexapod.

The architecture uses most frequently, which is represented on the figure 1.1.7. This type of the manipulator is usually called the Gough's platform or a hexapod. The hexapod is an equipment that represents the six degrees of freedom to the output element (platform) and possesses a high positional accuracy. The six guide bars are linked the platform and the base of the hexapod each of which represents a translational couple. The guide bar is connected with the base and the platform by the spherical falling hinges and the guide bar is restricted from the rotation about the longitudinal axis. The scheme of the hexapod is shown on the figure 7.

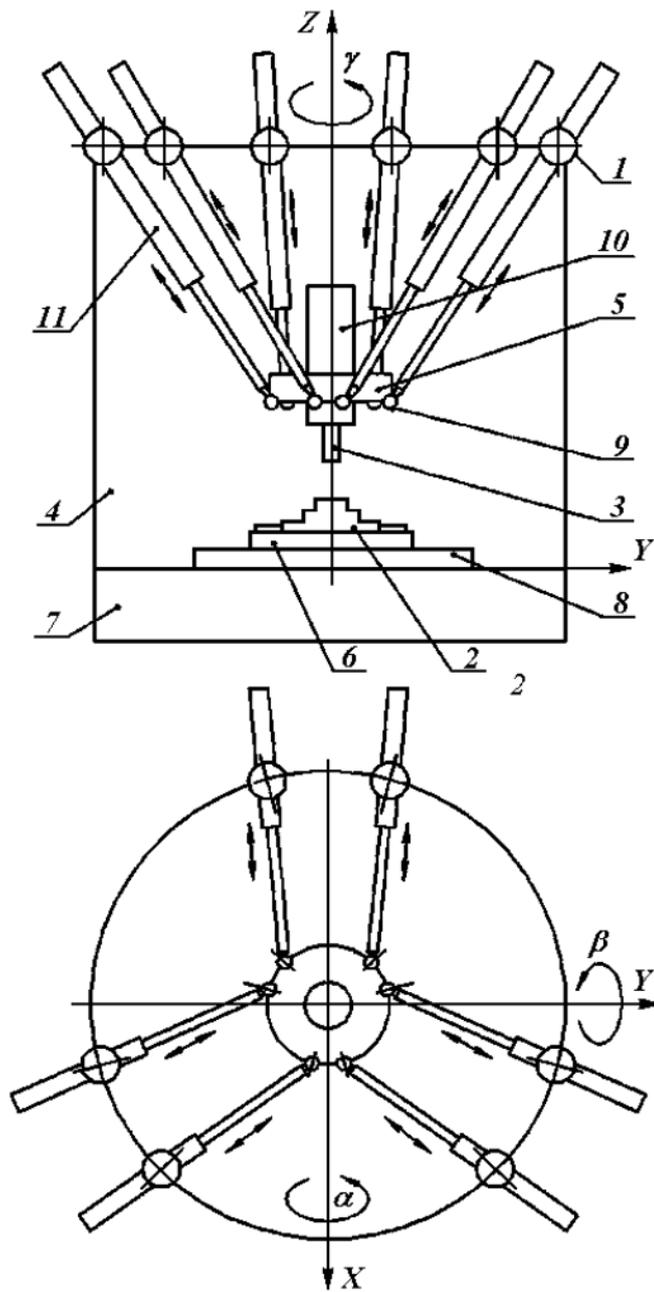


Figure 1.1.7. The layout diagram of the machine-hexapod

1 – the falling hinge of the base; 2 – the workpiece; 3 – the tool; 4 – the base; 5 – the platform; 6 – the adaptation; 7 – the bed; 8 – the table; 9 – the falling hinge of the platform; 10 – the spindle unit; 11 – the guide bar

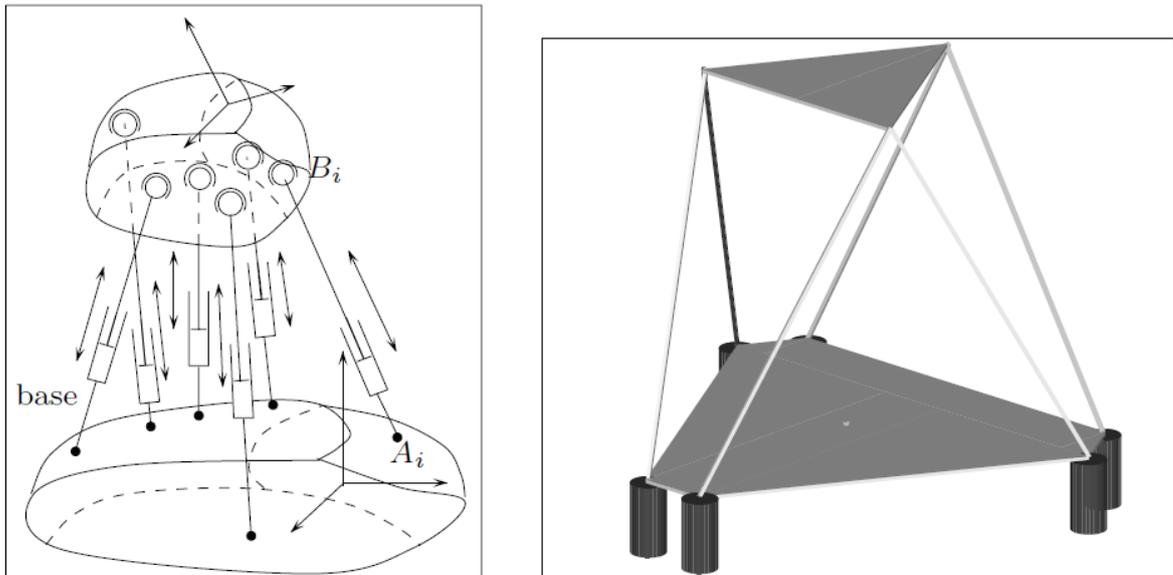


Figure 1.1.8. The general structure of the parallel robot with 6 degrees of freedom.

The figure 1.1.9 shows Implementation of the hexapod – coordinate measuring machine KIM-1000 OOO “Lapik”.

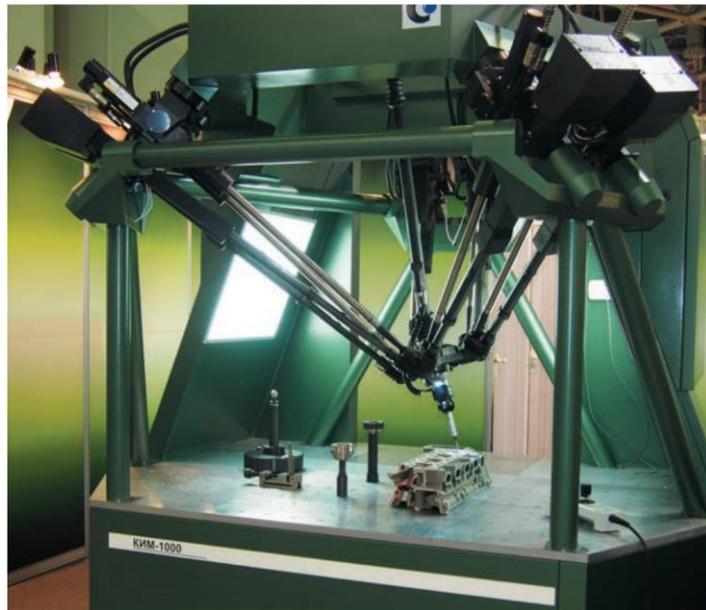


Figure 1.1.9. The coordinate measuring machine KIM-1000 OOO “Lapik”.

The structure of the arrangement of the passive couples on the movable platform and on the base is different. The layout diagrams of the hexapods are built with the different structures of the rod holdfast: a) 3x3, b) 3x6, c) 6x3, d) 6x6, which are shown on the figure 1.1.10. The calculations show that the last structure has the

highest rigidity. However, such structure does not always provide the optimal conditions for the access to the workspace.

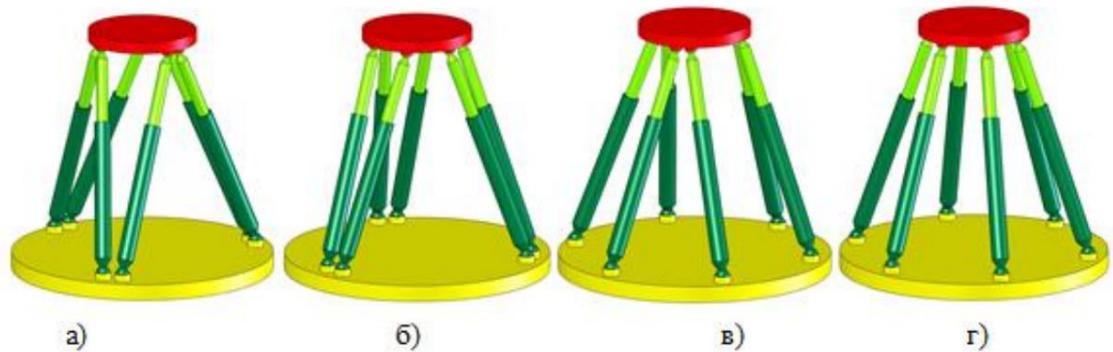


Figure 1.1.10. The Layout diagrams of the hexapod with the different structures of the rod holdfast

The rotopod.

The other example of the six axis mechanisms is the rotopod (figure 1.1.11). In this scheme, the leading motors are located in the base of the swivel falling hinge and the guide bars have the constant length. This provides a relatively smaller mass of the device and the higher velocity of the displacement of the actuation component than the mechanism of the hexapod scheme.

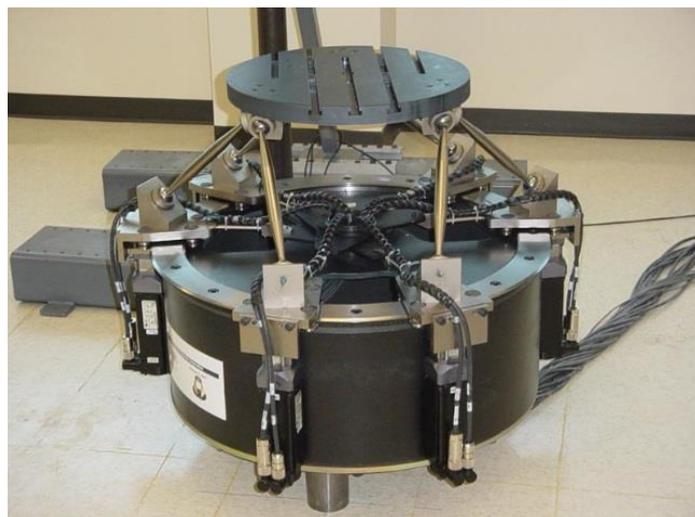


Figure 1.1.11. The Rotopod PRSCO

The manipulator-tripod with six degrees of freedom.

The manipulator contains three identical parallel kinematic chains of the actuator displacements and of an orientation of the working body. Each chain consists of two universal falling hinges (UFH) that are interconnected by the dummy shaft. The internal axes of the UFH slide blocks are parallel, the external axes of the UFH slide blocks at the inputs of the kinematic chains are connected with the output shafts of the actuating units, and the external axes of the UFH slide blocks at the outputs of the kinematic chains by the cylindrical falling hinges are connected with the working body. The two falling hinges with the axes parallel to the internal axes of the universal falling hinge slide blocks are connected by the rigid link, these falling hinges are set at the external axes of the two UFH slide blocks of each kinematic chain at equal distances from the centers of the UFH. The length of the link is equal to the distance between the centers of the UFH slide blocks. The unsupported control shafts of the mechanism of the working body orientation, which are additionally established, are connected with the external axes of the UFH slide blocks at the outputs of the kinematic chains. The output shafts of the actuating units are additionally linked with the control shafts of the orientation mechanism by the linkage mechanisms that providing the parallelism of the axes of the couples of the mentioned shafts. The mechanism of the orientation of the working body is fulfilled in the form of the spherical linkage mechanism of the parallel kinematics.

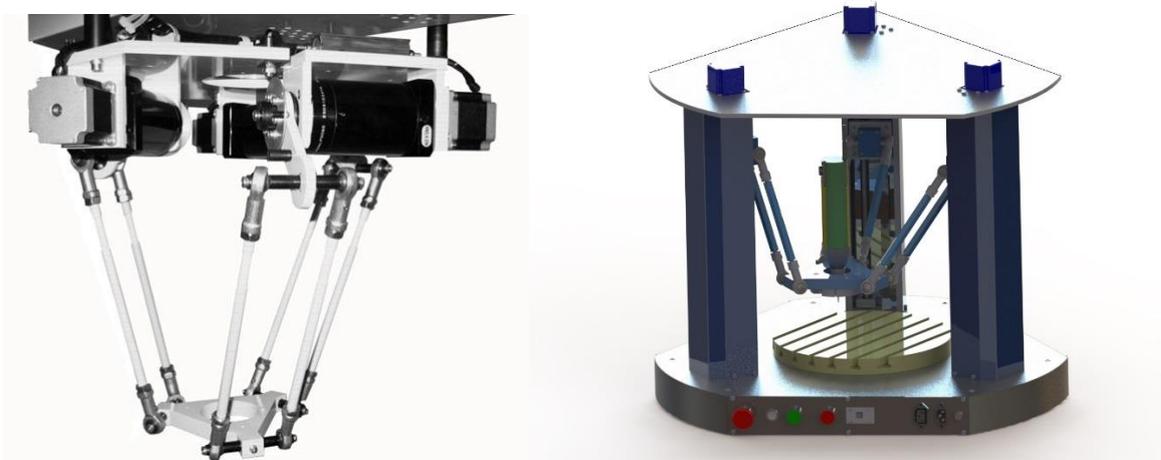


Figure 1.1.12. The manipulator-tripod with the six degrees of freedom

Приложение Б

```

Program 5DStol;
Uses GraphABC;
var k1,k2,k3,k4,x1,x0,x10,dt:real;
    g1,g2,g3,g4,y0,y1,c,c2,r0,rs,
    m,al,p,om:real;
    k,xn,yn,dx,dy,l,nx,ny,kx,ky,ax,by:integer;
    tx,ty:byte;ch:char;
    i,ii:longint;
    s,s1:String;
{Define F()}
function f1(x,y:double):double;
    begin
f1:=(P-al*y-c*x)/m; - Уравнение для первой модели
f1:=(x10*c2-al*y-(c+c2)*x)/m; - - Уравнение для второй модели
f1:=(x10*c2-al*y-(c+c2)*x)*sqr(rs)/m/sqr(r0);- Уравнение для третьей модели
    {x=x,y=v}
    end;{f1}
function f2(y:double):double;
    begin
    f2:=y; {y=v}
    end;{f2}
{End define F()}

begin
    {Data}
    dt:=0.00002; {sec, N}
    m:=0.2; c:=768; {kg, N, N/mm}c2:=256; rs:=51.5; r0:=52.5;
    al:=19.8; { N*сек/mm} {40...180; 240...550}
    ii:=50000;Ch:=#27; om:=sqr((c+c2)*sqr(rs)/m/sqr(r0));
    x10:=20;
    {End Data}

    {Caption; Screen}
    ax:=1024; by:=768;
    SetWindowSize(ax,by);
    SetWindowCaption('Переходный процесс');
    Font.Name := 'Times New Roman';
    Font.Style := fsBold;
    Font.Size := 12;
    Font.Color := clBlack;
    xn:=ax div 5;
    yn:=by div 2;
    dx:=ax div 9;
    dy:=by div 12 ;
    tx:=2*TextWidth('M');

```

```
ty:=TextHeight('M');
```

```
for i:=0 to 5 do
```

```
for k:=8 downto 0 do
```

```
begin
```

```
DrawRectangle(xn,yn,xn+dx*i, yn+dy*4-dy*k);
```

```
if k=8 then
```

```
begin
```

```
case i of
```

```
0:s:='0'; 1:s:='20';
```

```
2:s:='40'; 3:s:='60';
```

```
4:s:='80'; 5:s:='t%';
```

```
end;
```

```
TextOut(xn+3+dx*i,yn+3,s);
```

```
end;
```

```
if i=0 then
```

```
begin
```

```
case k of
```

```
0:s:='-x1%'; 1:s:=' -75';
```

```
2:s:=' -50'; 3:s:=' -25';
```

```
4:s:=' 0';
```

```
5:s:=' 25'; 6:s:=' 50';
```

```
7:s:=' 75'; 8:s:=' x1%';
```

```
end;
```

```
TextOut(xn-tx+dx*i,yn+dy*4-dy*k-ty,s);
```

```
end;
```

```
if i=5 then
```

```
begin
```

```
case k of
```

```
0:s:='-y1%'; 1:s:=' -75';
```

```
2:s:=' -50'; 3:s:=' -25';
```

```
4:s:=' 0'; 5:s:=' 25';
```

```
6:s:=' 50'; 7:s:=' 75';
```

```
8:s:=' y1%';
```

```
end;
```

```
TextOut(xn+3+dx*i,yn+dy*4-dy*k-ty,s);
```

```
end;
```

```
if (i=0) and(k=8) then
```

```
repeat
```

```
case 1 of
```

```
0:begin Str(m:2:2,s);s:=' I='+s; end;
```

```
1:begin Str(al:2:2,s);s:=' al='+s;end;
```

```
7:begin Str(dt*ii:1:2,s);s:=' t='+s;end;
```

```
2:begin Str(x10:3:2,s);s:='x10='+s;end;
```

```
3:begin Str(c:2:2,s);s:=' c='+s;end;
```

```

4:begin Str(c2:2:2,s);s:=' c2='+s;end;
5:begin Str(om/2/pi:2:2,s);s:=' f='+s;end;
6:begin Str(al/(4*sqrt((c+c2)*m)):2:2,s);s:=' zt='+s;end;
end;
TextOut(xn+20*tx+dx*i,yn+dy*4-dy*k+(l)*ty,s);
inc(l);
until l=8;l:=0;
end;
repeat
case l of
0:s:=' dw/dt= ((x10*c2-al*y-(c+c2)*x)*sqr(rs)/m/sqr(r0)';
1:s:='du/dt= w';
end;
Font.Style := fsNormal;
Font.Color := clBlue; Font.Size := 12;
TextOut(xn+1,yn+4*dy+3+ty*1,s);
inc(l);
until l=2; l:=0;
{End Screen}

{Solver}

x0:=0;
y0:=0;
for i:=1 to ii do
begin
k1:=dt*f1(x0,y0);
g1:=dt*f2(y0);
k2:=dt*f1(x0+k1/2,y0+g1/2);
g2:=dt*f2(y0+g1/2);
k3:=dt*f1(x0+k2/2,y0+g2/2);
g3:=dt*f2(y0+g2/2);
k4:=dt*f1(x0+k3,y0+g3);
g4:=dt*f2(y0+g3);
y1:=y0+(k1+2*k2+2*k3+k4)/6;
x1:=x0+(g1+2*g2+2*g3+g4)/6;
x0:=x1;
y0:=y1;

PutPixel(xn+round(5*dx*i/ii),
yn-trunc(8*dy*x1/x10),clGreen);

end;
{End Solver}

```

```
{ Picture}  
  nx:=0;ny:=0;kx:=ax; ky:=by; s1:='stab-velocity';  
  if ch= #8 then {SavBM(nx,ny,kx,ky,s1);}  
  {End picture}  
end.
```