

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
Исследование 5D-механизма с параллельной кинематикой при всеобщем расположении управляющих приводов

УДК 621.313.323-83-231.26-047.37

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8НМ41	Ильин Георгий Александрович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Крауиньш Дмитрий Петрович	к.т.н.		

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:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав. кафедрой	Буханченко С.Е.	к.т.н.		

Томск – 2016 г.

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

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой

(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	Ильину Георгию Александровичу

Тема работы:

Исследование 5D-механизма с параллельной кинематикой при веерообразном расположении управляющих приводов	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	от 04.02.2016 № 700/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ <i>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.).</i>	5D-механизм, обеспечивающий перемещение выходного звена, имеющего 5 степеней свободы. Веерообразное расположение управляющих приводов.
---	--

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <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>	Данная тема мало исследована в науке. Задача работы заключается в разработке принципиальной схемы, кинематическом и динамическом анализе. Определение частотных характеристик динамической системы.
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Юдахина О.Б.
Социальная ответственность	Пустовойтова М.И.
Английский язык	Диденко А.В.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Расчеты и аналитика	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
--	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Крауиньш Д.П.	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8НМ41	Ильин Г.А.		

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 результ ата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
Профессиональные компетенции		
P1	Применять глубокие естественнонаучные и математические знания 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 EUR-ACE и FEANI.
P2	Применять глубокие знания в области современного машиностроительного производства для решения междисциплинарных инженерных задач	Требования ФГОС ВО (ПК-1-4). Критерий 5 АИОР (п.2.1, п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI.
P3	Ставить и решать инновационные задачи инженерного анализа, 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 EUR-ACE и FEANI.
P4	Разрабатывать и использовать новое 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 EUR-ACE и FEANI.
P5	Проводить теоретические и модельные исследования в области машиностроительного производства	Требования ФГОС ВО (ОПК 1, ПК-16.). Критерий 5 АИОР (п.1.4), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI.
P6	Внедрять и обслуживать современные высокотехнологические линии автоматизированного производства, обеспечивать их высокую эффективность, 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 EUR-ACE и FEANI.

Универсальные компетенции		
P7	Использовать глубокие знания для ведения инновационной инженерной деятельности 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 EUR-ACE и FEANI.
P8	Активно владеть иностранным языком 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 EUR-ACE и FEANI.
P9	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена и руководителя группы, состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.	Требования ФГОС ВО (ОПК-1, ПК-18). Критерий 5 АИОР (п. 2.13), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI.
P10	Демонстрировать глубокие знания социальных, этических и культурных аспектов, компетентность в вопросах устойчивого развития.	Требования ФГОС ВО (ОК-2). Критерий 5 АИОР (п.2.14), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI.
P11	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности	Требования ФГОС ВО (ОК-3). Критерий 5 АИОР (п.2.14), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI.

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 127 с., 41 рисунка, 23 табл., 11 источников, 1 приложения.

5D-механизм, параллельная кинематика, веерообразное расположение приводов.

Объектом исследования является 5D-механизма с параллельной кинематикой при веерообразном пространственном расположении управляющих приводов.

Цель работы – исследование кинематики и динамики выбранной схемы механизма.

В процессе исследования проведен анализ кинематики, динамических параметров.

Основные конструктивные и технико-эксплуатационные показатели: внешние габариты 5D – механизма 200x200x250 мм.

Эффективность разработанного устройства определяется его относительно небольшими габаритами и дешевизной изготовления, достигаемой за счет простоты конструкции.

Содержание

Введение	10
1 Литературный обзор.....	11
1.1 Введение.....	11
1.2 Классификации и обзор МПК.....	12
Заключение	26
2 Расчеты и аналитика.....	27
2.1 Принципиальная схема устройства.....	27
2.2 Исследования и математическая модель	29
2.3 Исследование кинематики 5D-принтера	31
2.3.1 Движение одновременно одного ползуна.....	32
2.3.2 Движение одновременно двух ползунов.....	41
2.3.3 Движение одновременно трех ползунов	46
2.3.4 Движение одновременно четырех ползунов.....	49
2.3.5 Движение одновременно пяти ползунов.....	49
2.3.6 Движение одновременно всех ползунов	50
2.4 Результаты исследований.....	52
2.5 Эскизная проработка	57
2.5.1 Выбор двигателя	57
2.5.2 Выбор шарнирных опор.....	60
2.5.3 Выбор датчиков положения.....	61
Заключение	63
3 Динамика	64
Заключение:	72

4 Социальная ответственность	73
4.1 Анализ установки и полезные факторы для человечества	73
4.2 Заслуги работодателя по организацию работы.....	74
4.3 Требования к производственным помещениям	75
4.4 Микроклимат	76
4.5 Освещенность на рабочем месте	78
4.6 Требования к организации освещения производственных помещений и рабочих мест	78
4.7 Анализ пожаро-взрывоопасности	80
4.8 Средства пожаротушения.....	81
4.9 Организационные меры по обеспечению пожарной безопасности.....	81
4.10 Медикопрофилактическое обслуживание работников и проведение медицинских осмотров	82
Заключение	84
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	85
5.1 Общие сведения о научном исследовании	85
5.2 Потенциальные потребители результатов исследования	86
5.3 Анализ конкурентных технических решений.....	87
5.4 SWOT-анализ.....	88
5.5 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований	90
5.6 Планирование научно-исследовательских работ	91
5.6.1 Структура работ в рамках научного исследования.....	91

5.6.2	Определение трудоемкости выполнения работ.....	92
5.6.3	Разработка графика проведения научного исследования..	93
5.6.4	Расчет материальных затрат НТИ.....	96
5.6.5	Основная заработная плата исполнителей.....	97
5.6.6	Дополнительная заработная плата исполнителей темы	99
5.6.7	Отчисления во внебюджетные фонды.....	100
5.6.8	Оплата работ, выполняемых сторонними организациями и предприятиями.	101
5.6.9	Накладные расходы	103
5.6.10	Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	103
5.7	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.	104
	Заключение	107
	Выводы.....	108
	Список используемых источников.....	109
	ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	110

Введение

Объектом исследования данной работы является 5D-механизм с параллельной кинематикой, обеспечивающий шесть степеней свободы выходному звену с помощью шести управляющих приводов, расположенных веерообразно в пространстве. Развитие машиностроительной индустрии России требует совершенствования средств и методов обработки, а также контроля геометрии поверхностей деталей сложной формы на основе технологического оборудования, использующего принципы мехатроники.

Предметом исследования является кинематика устройства, обеспечивающего шесть степеней свободы выходному звену, которое обладает высокой точностью позиционирования.

Цель данной работы: исследование кинематики 5D-механизма с параллельной кинематикой при веерообразном пространственном расположении управляющих приводов

Для достижения цели сформулировано несколько задач:

1. Анализ состояния проблемы и методов ее решения.
2. Проектирование модели механизма.
3. Описание работы механизма.
4. Кинематический и динамический анализ механизма.
5. Оценка экономических показателей устройства.
6. Анализ установки с точки зрения полезности для человечества.

1 Литературный обзор

1.1 Введение

В настоящее время для машиностроения все более характерно применение высокопроизводительного технологического оборудования. Это сопровождается повышением сложности геометрической формы деталей и требований к точности обрабатываемых поверхностей, применением новых материалов. Одной из основных задач в области машиностроения является достижение высокой производительности при обработке материалов без потери в уровне качества. В последние годы получило развитие технологическое оборудование, использующее принципы мехатроники. Подобное оборудование используется для различных объектов автоматизированной механической обработки и измерений. В его основе находится принцип применения механизмов с параллельной кинематикой, при котором исполнительный инструмент (для механообработки) или измерительный инструмент (для измерительных комплексов) может двигаться по сложной траектории с помощью движения рабочего стола, на котором установлен инструмент. Движение стола происходит с помощью активных поступательных пар – приводов («штанг переменной длины» - винтовых механизмов), шарнирно прикрепленных к столу и основанию.

Роботы-станки с параллельной кинематикой позволяют выполнять: окончательную обработку деталей сложной геометрии, высокоскоростную обработку, синхронную пятиосевую обработку, фрезерную обработку твердых материалов с высокой скоростью и точностью и многое другое. Эти станки применяются при производстве различных приспособлений, пресс-форм, лопаток турбин, носовых обтекателей для реактивных двигателей, других изделий сложной геометрии и выполняют обработку с более высоким быстродействием по сравнению с обычным оборудованием.

1.2 Классификации и обзор МПК

Далее будут приведены классификации механизмов с параллельной кинематикой и обзор представленных на рынке металлорежущих станков на базе механизмов с параллельной кинематикой.

Впервые станок с параллельной кинематикой был представлен на выставке IMTS'94 в Чикаго. В настоящее время станки с параллельной кинематикой постепенно, но довольно быстро входят в состав оборудования, используемого во всех отраслях металлообрабатывающей промышленности.

Основными достоинствами таких станков являются:

- высокая точность позиционирования выходного звена;
- высокие скорости перемещения и ускорения выходного звена;
- улучшенные массогабаритные параметры и низкая материалоемкость вследствие отсутствия традиционных направляющих и станины;
- сравнительно низкие затраты на обслуживание и ремонт;
- более высокая надежность вследствие отсутствия силовых зубчатых передач, силового гидропривода и системы централизованного смазывания;
- высокая степень унификации мехатронных узлов, обеспечивающая технологичность изготовления станка и его конструктивную гибкость.

Основным элементом этих станков является параллельный механизм, состоящий из неподвижного основания, подвижной платформы (рабочий орган) и связывающих их приводных штанг, соединенных с основанием и платформой с помощью шарниров.

Перемещение рабочего органа относительно обрабатываемой заготовки по любой из трех линейных и трех поворотных осей

осуществляется путем согласованного изменения длин штанг с помощью системы ЧПУ. В металлорежущих станках таким выходное звено является шпиндельный узел.

Траектория движения шпинделя формируется в системе координат детали, а его положение в любой точке траектории может быть задано тремя линейными координатами конца инструмента и двумя угловыми координатами, определяющими угол наклона оси инструмента.

На сегодняшний день механизмы параллельной кинематики (МПК) представлены широким разнообразием их исполнения. Механизмы параллельной структуры (МПС), применяемые в металлорежущих станках, можно классифицировать по следующим признакам:

- по виду штанг;
- по количеству штанг;
- по характеру расположения шарниров на платформе и основании;
- по расположению шпинделя и др.

По виду штанг разделение происходит:

- на механизмы со штангами управляемой переменной длины (бипод, трипод, пентапод, гексапод, «ножницы»);
- на механизмы со штангами постоянной длины (линапод, биглайд, триглайд, ортоглайд, гексаглайд, ротопод, «дельта», four-pod).

На рис. 1 приведена классификация МПК по виду и количеству штанг.

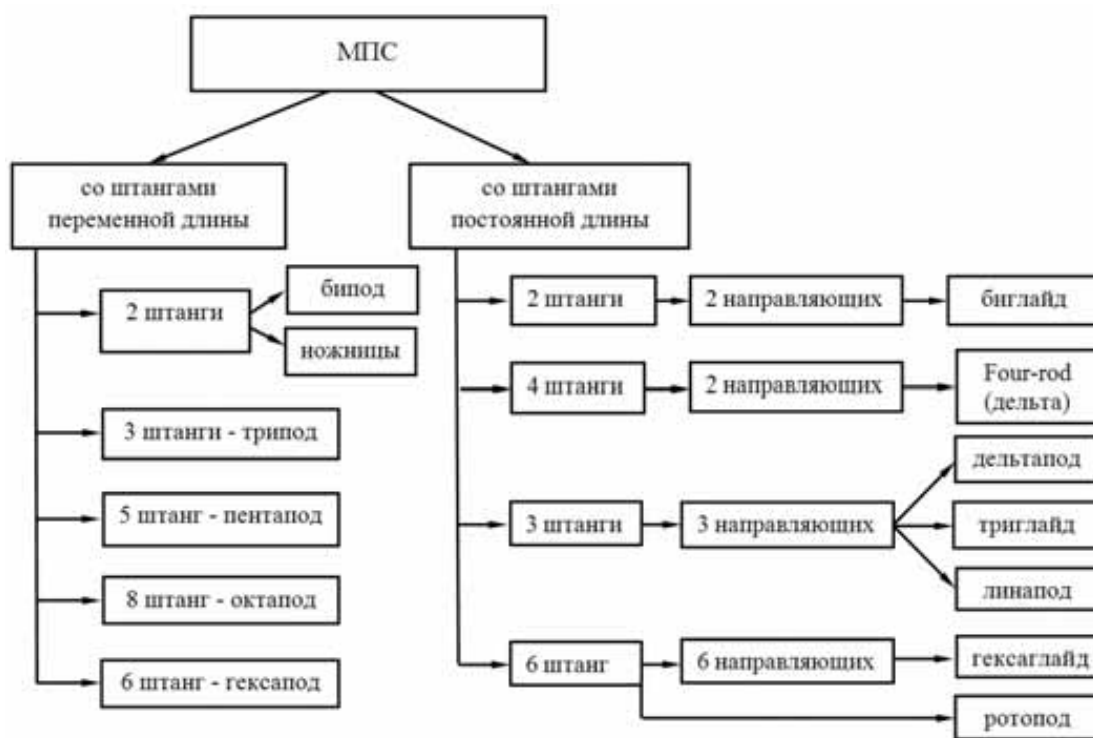


Рис.1.1. Классификация МПК по виду и количеству штанг

Механизм трипод состоит из трех симметрично установленных телескопических штанг, связанных шарнирно одним концом с выходным звеном, а другим - с неподвижным основанием. Эти штанги приводятся от отдельных двигателей и работают на растяжение - сжатие. Дополнительная неприводная штанга расположена в центре. Она воспринимает изгибные деформации от инструментальной головки и поэтому должна иметь значительно большие размеры по сравнению с приводными штангами.

Среди триподов наиболее удачной разработкой является линейка станков Tricert фирмы Neos Robotics (Швеция), появившихся в 1992 г. Станки объединяют в себе функции как робота, так и станка.

Гексапод (от гекса - шесть) выполнен на базе шести механизмов поступательного перемещения.

На рис. 2 приведена типичная схема станка-гексапода.

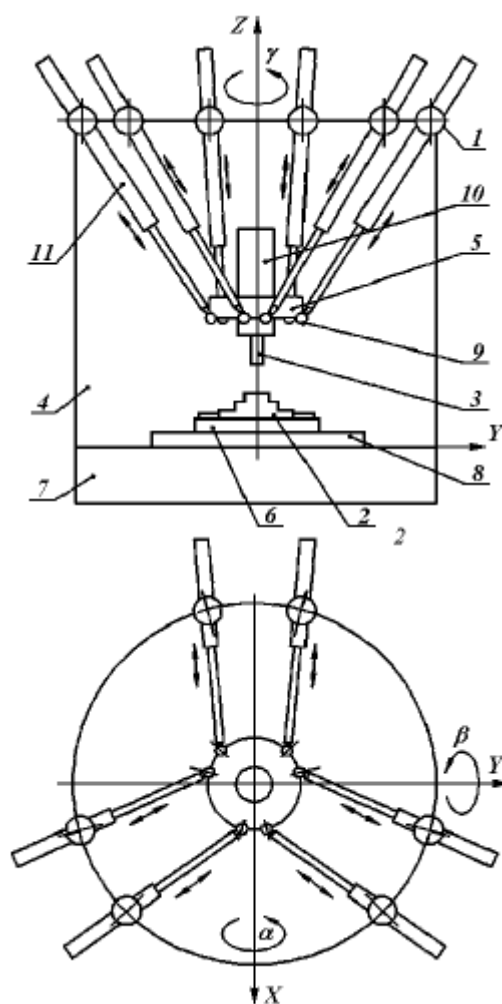


Рис.1.2. Принципиальная схема станка-гексапода:

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

Примером гексапода может служить, например, многоцелевой фрезерный станок OKUMA PM-600 (Япония).

Механизмы типа трипод и гексапод обладают высокой жесткостью. Их следует использовать в станках для высокоточной обработки деталей с точным позиционированием исполнительного органа. Триподы конструктивно проще гексаподов и более приспособлены к практическому

применению. Гексаподы, оснащаемые шестью штангами, требуют значительно более сложного программного обеспечения.

Пентапод построен на основе трех основных и двух дополнительных штанг переменной длины. На рис. 3 показана компоновочная схема станка модели «METROM Pentapod P800», представленного компанией Metrom в 2009 г. как абсолютно новый станок с параллельной кинематикой.

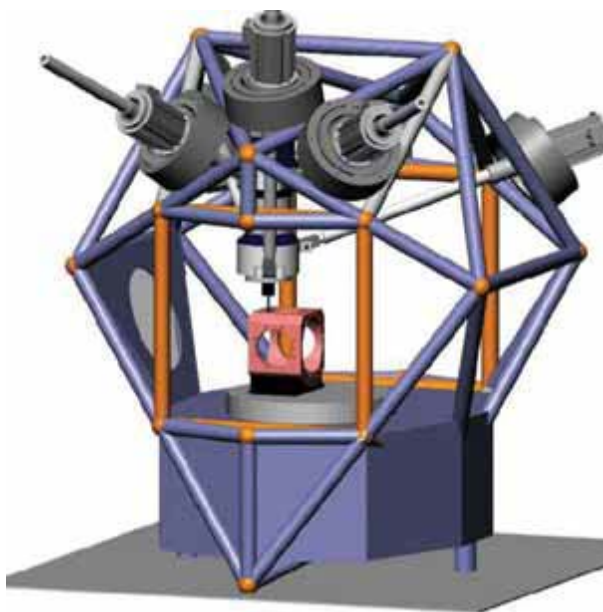


Рис.1.3. Станок модели «METROM Pentapod P800»

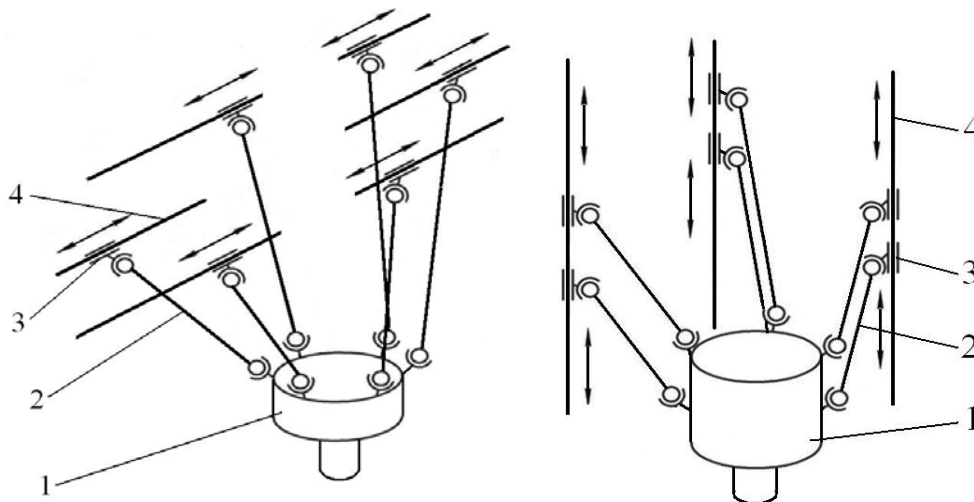
Каркас станка смонтирован в виде геометрической фигуры икосаэдр. Три верхних шарнира из пяти расположены на трех соседних гранях икосаэдра, а два шарнира - на удаленных от них гранях.

Шарниры платформы расположены на двух уровнях: три шарнира в непосредственной близости к инструменту, а два шарнира, наоборот, удалены. Такая компоновка обеспечивает исполнительному органу наклон на угол более 90° .

Отличительной чертой механизмов с постоянной длиной штанг является большой угол качания выходного звена и перемещение его только по одной координате. У большинства таких механизмов штанги шарнирно

закреплены на каретках, перемещающихся по направляющим, расположение и количество которых может быть различно.

На рис. 4 приведены схемы гексаглайда и линапода.

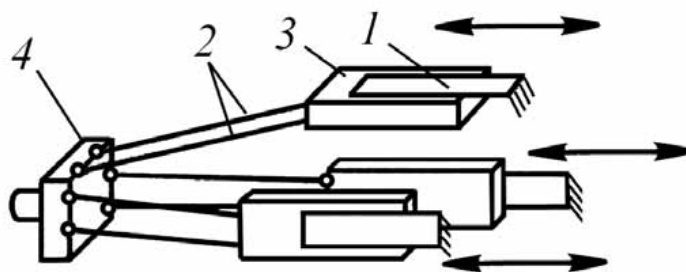


*Рис.1.4. Схемы механизмов с постоянной длиной штанг:
слева - гексаглайд; справа - линапод;
1 - платформа; 2 - штанга; 3 - каретка; 4 - направляющая*

У гексаглайда направляющие расположены в одной плоскости. Одним из первых данное техническое решение воплощено в совместной разработке Института машиностроения IWF (Германия) и Швейцарского федерального технологического института ЕТН в шестикоординатном фрезерном станке, получившем название Hexaglide. Станок Hexaglide имеет шесть прямолинейных направляющих, расположенных параллельно друг другу в горизонтальной плоскости с ориентацией исполнительного органа к заготовке сверху вниз. Достоинством станка является возможность свободного доступа к рабочей зоне со всех сторон для удобства обслуживания, но «подвесная» компоновка предъявляет жесткие требования к металлоемкости конструкции и ограничения к рабочим усилиям при фрезеровании.

В отличие от гексаглайда у линапода направляющие размещены в разных плоскостях. В 2001 г. в Штутгартском университете был разработан шестикоординатный фрезерный станок Linapod вертикальной компоновки, который имел шесть отдельно управляемых штанг, опирающихся на три колонны с соосным перемещением по направляющим. Шесть штанг расположены вертикально по две на каждой колонне. Вертикальная компоновка станка Linapod обеспечивает повышенную жесткость конструкции за счет несущего основания в виде треугольной призмы.

Механизмы типа «дельта» (дельтапод) представляют собой замкнутую кинематическую цепь, состоящую из штанг постоянной длины, расположенных попарно параллельно и соединенных одним концом с платформой, несущей инструмент, а другим - с ведущим направляющим устройством или с ведущим поворотным устройством. В металлорежущих станках применяются механизмы с ведущим направляющим устройством (рис. 5).



*Рис.1.5. Механизм «дельта»:
1 - направляющая; 2 - штанга; 3 - каретка; 4 - платформа*

У дельтапода на рис.5 штанги расположены между каретками основания и подвижной платформой так же, как у линапода. Этот механизм был разработан фирмой Renault Automation (Франция) и использован в конструкции станка мод. Urane SX. Дельта-механизмы обладают повышенной маневренностью и расширенной границей рабочей зоны, но сравнительно невысокой жесткостью.

Технические характеристики станка ПКAME SX в отношении скоростей координатных перемещений и ускорений превышают все известные модели станков с МПК.

На рис.6 показаны возможные варианты расположения шарниров на платформе и основании гексаподов.

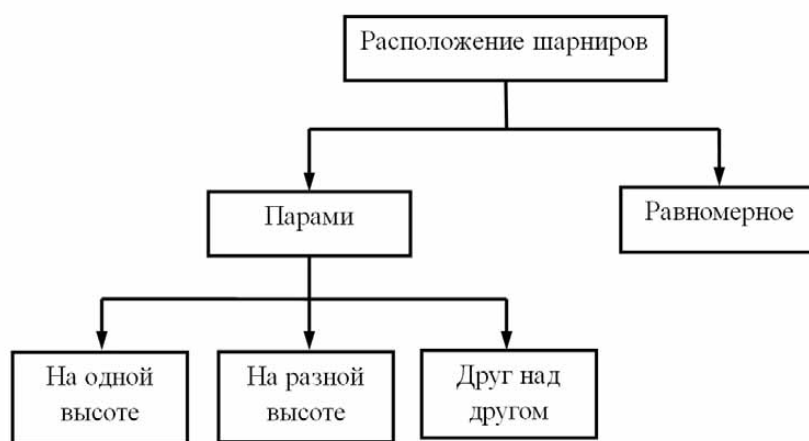
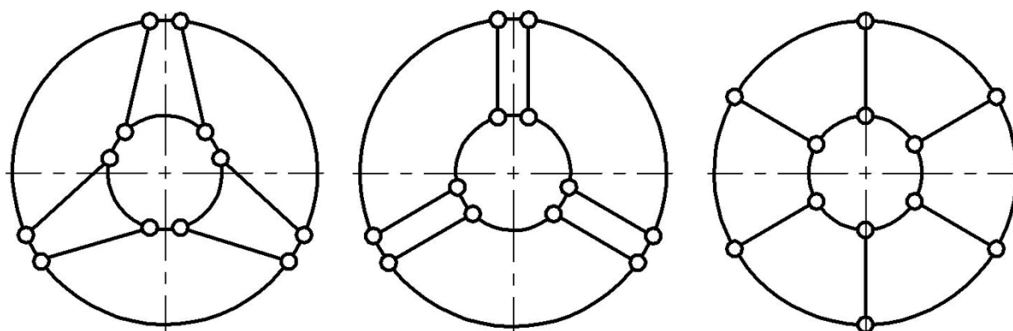


Рис.1.6. Варианты расположения шарниров

На рис. 7 приведены упрощенные схемы наиболее распространенных вариантов компоновки.



*Рис.1.7. Варианты компоновки (вид снизу):
Слева, посередине - попарно; справа - равномерно*

Компоновки на рис. 7, справа и посередине применяются в большинстве металлорежущих станков гексаподов. Равномерная компоновка (см. рис. 7, справа) не нашла применения на практике из-за недостаточной жесткости. Однако данная компоновка широко применяется при расчетах и анализе кинематики и характеристик механизмов данного класса.

Примером расположения шарниров на одной высоте может служить станок OKUMA PM-600.

Примерами станков с расположением шарниров на разной высоте могут служить многоцелевой станок MIKROMAT 6X и токарный станок НОН1000. В станке мод. MIKROMAT 6X шарниры основания и платформы расположены на разной высоте. Шарниры основания станка НОН1000 расположены парами один над другим, а шарниры платформы - на одной высоте.

По расположению шпинделя различают механизмы:

- с внутренним расположением шпинделя относительно контура штанг;
- с внешним расположением шпинделя относительно контура штанг.

Первым отечественным станком с внутренним расположением шпинделя относительно замкнутого контура раздвижных штанг является опытный станок, разработанный в 1987 г. Новосибирским электротехническим институтом.

Все известные механизмы параллельной структуры построены на основе различных сочетаний штанг и шарниров. На рис. 8 приведены некоторые сочетания штанг с шарнирами, применяемые в металлорежущих станках.

На рис. 8, а показана кинематическая цепь штанги металлорежущего оборудования фирмы Hexcel (США), построенная по формуле: $O - C3 - BIII1 - K2 - П$.

На рис. 8, б показана кинематическая цепь штанги металлорежущего оборудования фирмы Neos Roboties (Швеция) и станка Фраунгоферовского

института (Германия), соответствующая формуле: О - К2 - ведущая штанга с двумя степенями подвижности (ВШ2) - К2 - П.

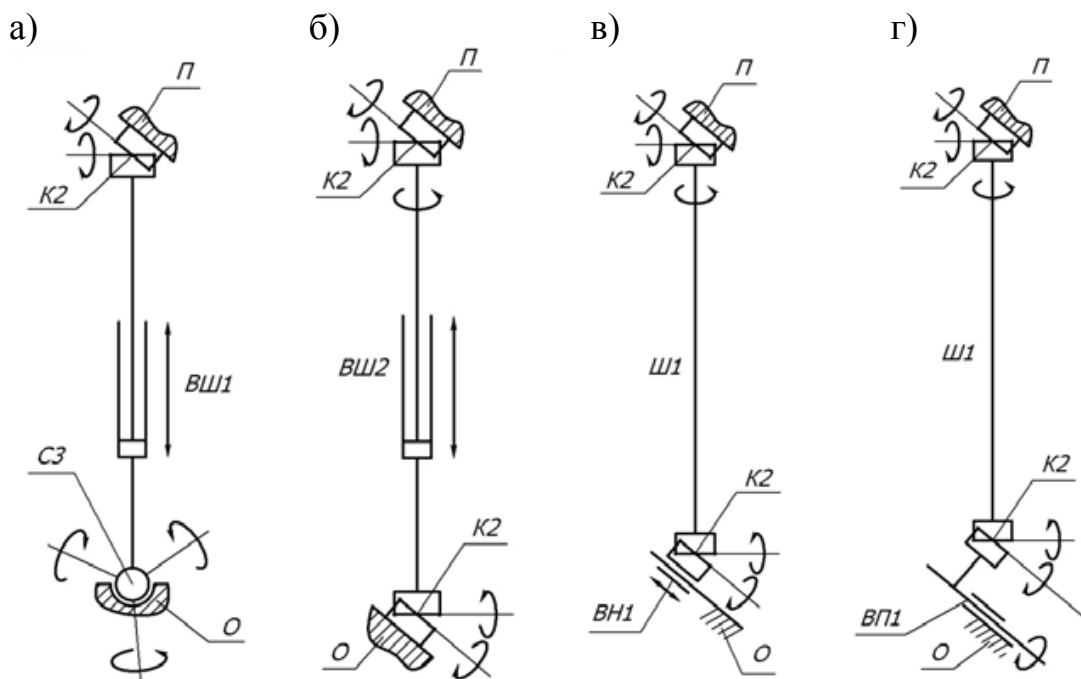


Рис.1.8. Сочетания штанг с шарнирами:
 О - основание; СЗ - сферический шарнир с тремя степенями подвижности;
 ВШ1 - ведущая штанга с одной степенью подвижности; К2 - крестовый шарнир с двумя степенями подвижности; П - платформа

На рис. 8, в штанга станка мод. Urane SX фирмы Renault Automation (Франция) соответствует формуле: О - ведущее направляющее устройство с одной степенью подвижности (ВН1) - К2 - вращающаяся штанга с одной степенью подвижности (Ш1) - К2 - П.

На рис. 8, г приведена кинематическая цепь штанги оборудования, разработанного

фирмой ARIA (Швейцария), соответствующая формуле: О - ведущее поворотное устройство с одной степенью подвижности (ВП1) - К2 - Ш1 - К2 - П.

Использование рычажно-шарнирных механизмов в станках с параллельной кинематикой позволяет добиться значительной маневренности выходного звена, но, в свою очередь, по сравнению со станками с традиционной прямоугольной системой координат существенно ограничивает размер рабочего пространства, выражаемого коэффициентом использования объема станка, определяемым как отношение общего объема станка к объему рабочей зоны.

В табл. 1 приведены усредненные данные по коэффициентам эффективности станков с прямоугольной системой координат и станков с параллельной кинематикой.

Таблица 1

Средние данные по коэффициентам эффективности станков с прямоугольной системой координат и станков с параллельной кинематикой

Станки с прямоугольной системой координат	Станки с параллельной кинематикой	
	Гексаподы	Триподы
Около 100	Около 250	Около 200

Увеличения объема рабочего пространства станков с параллельной кинематикой можно достичь применением агрегатно-модульного принципа компоновки станка, а также путем разделения необходимого числа степеней свободы выходного звена между традиционной параллельной структурами. Такую структуру принято называть гибридной. Примерами могут служить: совместная разработка Савеловского машиностроительного завода (СМЗ) и Национального института авиационных технологий (НИАТ) станок МЦ-2 и ГЕКСАМЕХ-1, станки моделей 6X и У100 фирмы MICROMAT (Германия) и др.

Примерами использования агрегатно-модульного принципа компоновки станков с параллельной кинематикой являются станки линейки

Тгісепт шведской фирмы Neos Robotics AB и «METROM Pentapod P800» компании Metrom.

Трипод мод. Тгісепт ТМС 845 выполнен в виде механического модуля с открытой архитектурой. У станка предусмотрено две боковые стойки, соединенные между собой траверсой. Между этими стойками находится модуль мод. Тгісепт 805, который может быть установлен в трех компоновочных вариантах: вертикальном, под углом 45° и горизонтальном. Такая многовариантность позволяет приспособливать станок к выполнению самых разных задач обработки.

В станке мод. ГЕКСАМЕХ-1 использован параллельный механизм гексапод с перемещениями по осям $X = 800$ мм, $Y = 800$ мм, $Z = 700$ мм и стол с размерами 800×3000 мм для обработки длинномерных деталей, перемещающийся по оси X от отдельного привода. В данном случае использование перемещений стола относительно зоны доступа шпиндельного модуля позволяет увеличить обрабатываемую поверхность до размеров установленного на станке стола.

В МЦ-2 агрегаты с последовательной кинематикой позволяют осуществлять линейные перемещения по оси X (перемещение траверсы) и оси Y (перемещение каретки), а закрепленный на каретке $3Z$ модуль, выполненный на элементах параллельной кинематики, осуществляет перемещение шпинделя в направлении оси Z , а также повороты вокруг осей X и Y .

К гибридной структуре можно также отнести станки с управляемой формой рабочего пространства. Кафедрой металлорежущих станков и систем Кировоградского национального технического университета предложен станок-гексапод, схема которого представлена на рис. 9.

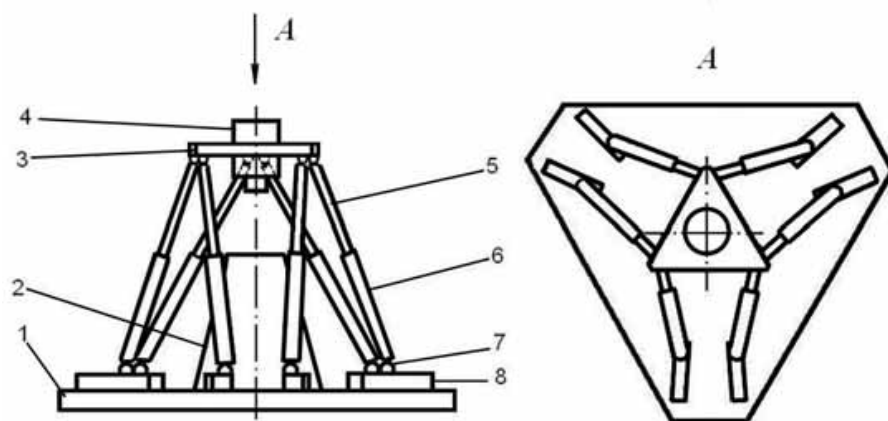
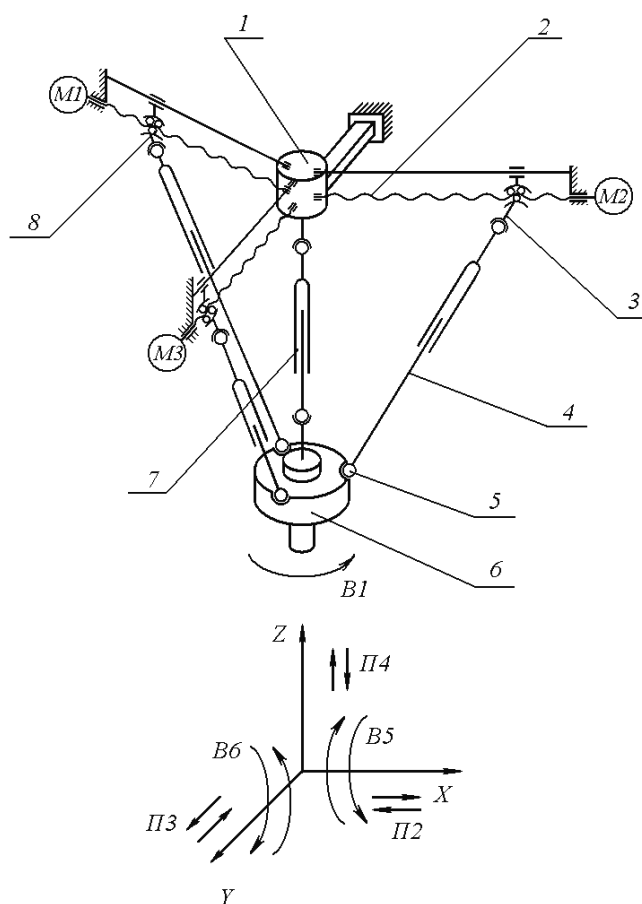


Рис.1.9. Станок-гексапод с управляемой формой рабочего пространства:
 1 - неподвижная платформа; 2 - стол; 3 - подвижная платформа; 4 - выходное звено; 5 - шток штанги; 6 - корпус штанги; 7 - шарнир; 8 - направляющая

Станок содержит неподвижную платформу 1, выполненную в виде плиты со столом 2, для размещения обрабатываемой детали, подвижную платформу 3 с выходным звеном 4, шесть штанг переменной длины, исходные элементы 5 которых шарнирно связаны с подвижной платформой 3, а корпуса 6 с помощью шарниров 7 - с неподвижной платформой 1, причем шарниры 7 могут перемещаться вдоль направляющих 8, размещенных на неподвижной платформе.

При одновременном изменении длин штанг происходит изменение положения выходного звена в пространстве, ограниченном диапазоном ходов штанг. Для перемещения выходного звена за пределами этого диапазона необходимо переместить шарниры основания вдоль направляющих. Длина перемещения каждого из шести шарниров зависит от необходимого направления увеличения рабочей зоны.

Другим подобным решением является трипод (рис.10), разработанный на кафедре «Технология машиностроения» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета.



*Рис.1.10. Структурно-кинематическая схема параллельного механизма:
 1 - центральная часть основания; 2 - ходовой винт, 3 - верхний шарнир; 4 -
 приводная телескопическая штанга; 5 - нижний шарнир; 6 - нижняя платформа с
 инструментальной головкой; 7 - центральная штанга; 8 - каретка; M1, M2, M3 -
 электродвигатели приводов кареток*

Механизм содержит неподвижное основание, состоящее из центральной части 1 и трех ходовых винтов 2, расходящихся от центральной части лучами через каждые 120° , нижнюю платформу 6 и три телескопические приводные штанги 4, приводимые электродвигателями (на схеме не показаны). Приводные штанги 4 и центральная неприводная штанга 7 связывают основание и нижнюю платформу с помощью шарниров 3 и 5. Верхние шарниры 3 установлены на каретках 8, приводимых электродвигателями M1, M2, M3.

В станке объединены элементы, присущие механизмам с изменяемой длиной штанг и постоянной длиной штанг. От механизма с изменяемой

длинной штанг здесь имеются приводные телескопические штанги 4 с двигателями (на схеме не показаны) и центральная штанга 7. От механизмов с постоянной длиной штанг имеются каретки 8 на направляющих.

В данной конструкции движения подвижной платформы могут реализовываться следующими способами:

- путем изменения длин приводных телескопических штанг при фиксированном заданном положении верхних шарниров;
- путем перемещения верхних шарниров приводных телескопических штанг при неизменных заданных длинах приводных телескопических штанг;
- путем перемещения верхних шарниров приводных телескопических штанг вдоль ходовых винтов с одновременным изменением длин приводных штанг.

В данном обзоре приведена лишь незначительная часть примеров использования МПК в металлорежущих станках. Но даже приведенные примеры свидетельствуют о перспективности использования МПК в будущем.

Заключение

В данной главе приведены классификации механизмов с параллельной кинематикой и обзор представленных на рынке металлорежущих станков на базе механизмов с параллельной кинематикой. Рассмотрены типовые конструкции, на которых и будет основываться разработка автора работы.

2 Расчеты и аналитика

2.1 Принципиальная схема устройства

Устройство представляет собой оборудование, обеспечивающее шесть степеней свободы выходному звену (платформе). Платформа и основание устройства связаны между собой шестью штангами (тягами), один из концов которых закреплен на ползуне, для которого имеется паз в основании, ограничивающий ход ползуна. Штанга соединена с ползуном и платформой сферическими шарнирами. Принципиальная схема устройства, которая будет исследоваться без конструктивной проработки, представлена на рисунке 2.1.

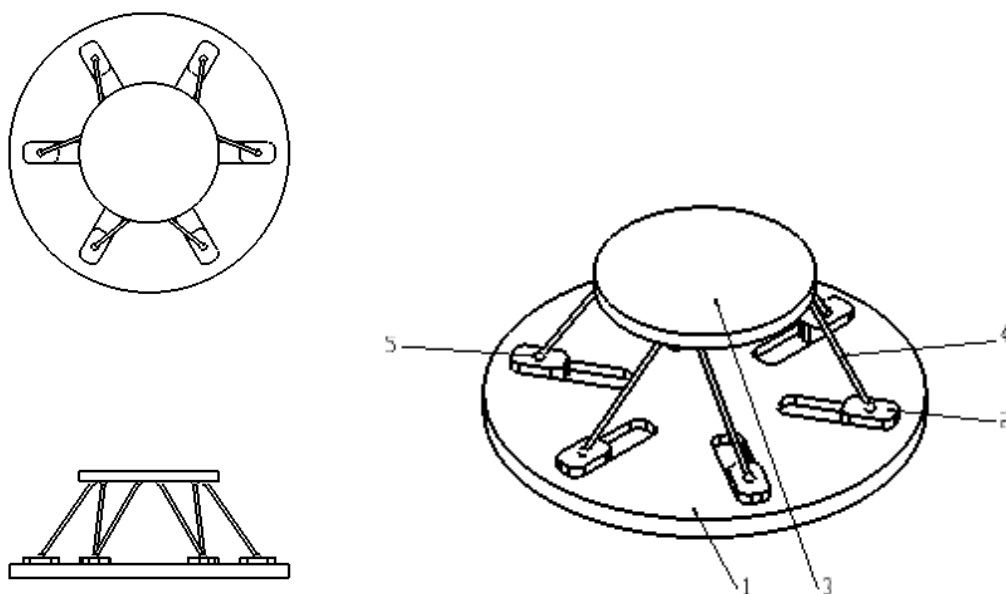


Рис.2.1. Принципиальная схема устройства

На основании 1 имеются пазы под ход ползунов 2, в каждом из которых установлен сферический шарнир 5 жестко соединенный со штангой 4, которая также посредством сферического шарнира соединена с платформой 3. Ползун имеет возможность поступательно перемещаться вдоль паза, толкая штангу и двигая, таким образом, платформу.

Стоит обратить внимание, что данная компоновочная схема реализована с использованием структуры крепления тяг по системе 6×3 (рис.2.2). Это значит, что на нижнем основании тяги расположены по всей длине окружности с равным шагом, а на верхней платформе они образуют три группы креплений, каждая из которых расположена друг от друга так же с равным шагом. Это отлично видно на рисунке 2.1, представленном выше.

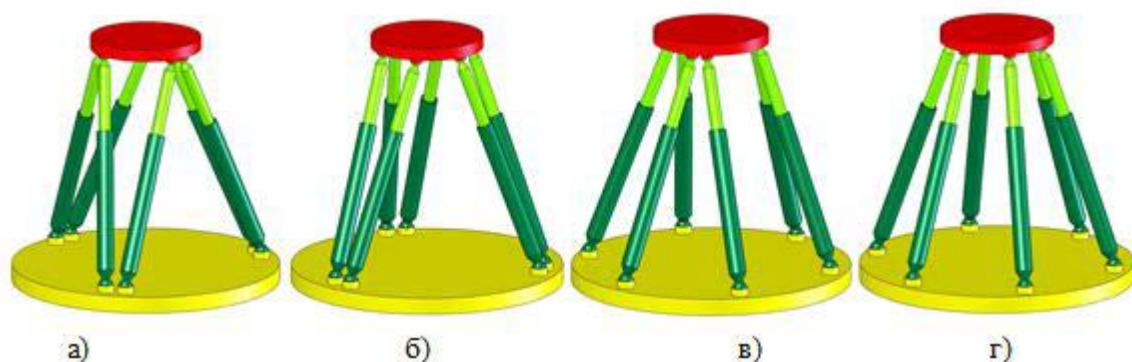


Рис.2.2. Компоновочные схемы устройства с различными структурами крепления стержней: а) 3×3 , б) 3×6 , в) 6×3 и г) 6×6 .

В качестве приводов в таком устройстве могут использоваться следующие типы приводных элементов: электромеханические (без самоторможения; с самотормозящимися передачами), пьезоэлектрические, электрогидравлические и электромагнитные. В качестве датчиков могут использоваться следующие: акселерометры, датчики скорости, датчики напряжения, силомеры и другие. Также широкое применение находят исполнительные механизмы электрогидравлического принципа действия, но они имеют требуют наличия гидросистемы и имеют проблемы при работе в неблагоприятных средах. Электромеханический исполнительный механизм является наиболее простым по своему конструктивному исполнению и эксплуатационным характеристикам, что предоставляет возможность использования технологического оборудования в неблагоприятной среде.

2.2 Исследования и математическая модель

В данном разделе будут определены траектории движения выходного звена в зависимости от перемещения ползунов. Сразу стоит сделать несколько оговорок: во-первых, следует обратить на систему координат, из-за особенностей вычислительной среды, вертикальная ось не Z, а Y, во-вторых, зададимся целью исследовать только пять координат (перемещение вдоль осей X, Y, Z и поворот вокруг осей X и Z). Поворот вокруг оси Y не учитывается, так как не важно, под каким углом находится выходное звено относительно этой оси в конкретный момент времени. В-третьих, исследоваться будут только типовые движения и только для крайних положений приводов, перебирать все варианты не имеет смысла.

Например, при перемещении привода 1, будут получены два графика, зависимость перемещения выходного звена вдоль осей координат от перемещения привода и зависимость поворота выходного звена вокруг осей X и Z. Это же исследование будет применимо и к случаю, когда перемещается привод 4, стоящий напротив привода 1, но только с другими знаками, поэтому не имеет смысла повторять этот эксперимент.

Так же стоит сказать, что за точку отсчета будет взят центр верхней платформы. Ход каждого ползуна в своих направляющих – 60 мм.

Модель и анализ движения будут производиться в среде SolidWorks 2015 с использованием добавления SolidWorks Motion, после чего результаты будут переводиться в электронные таблицы Excel для дальнейшей обработки.

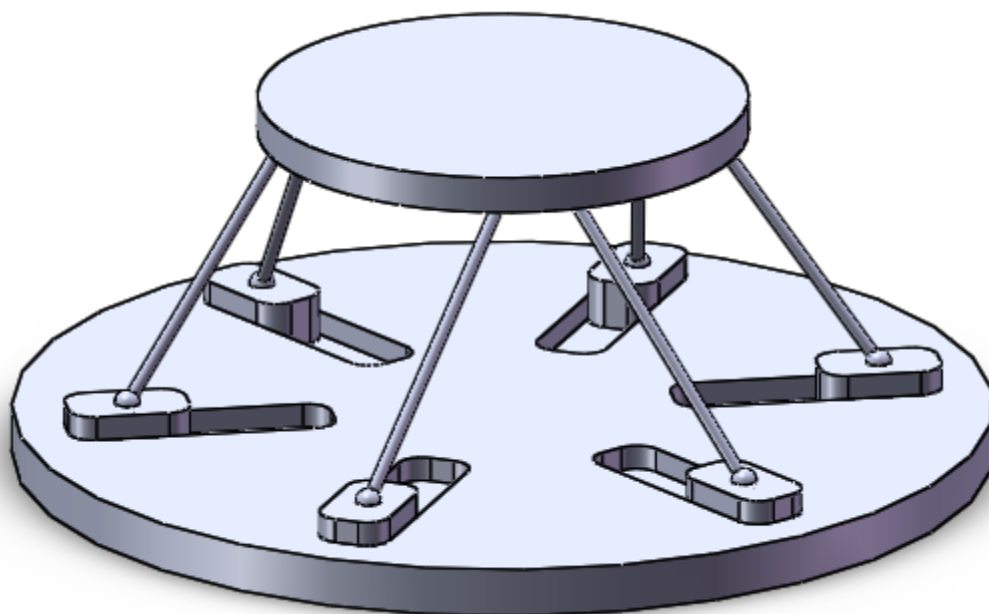


Рис.2.3. Исследуемая модель

Для каждого перемещения приводов будет проводиться 2 исследования кинематики – для вариантов:

а) все ползуны находятся в крайних положениях, максимально удаленных от центра основания, а выбранный (-ые) ползун движется от периферии центру (рис.2.4а).

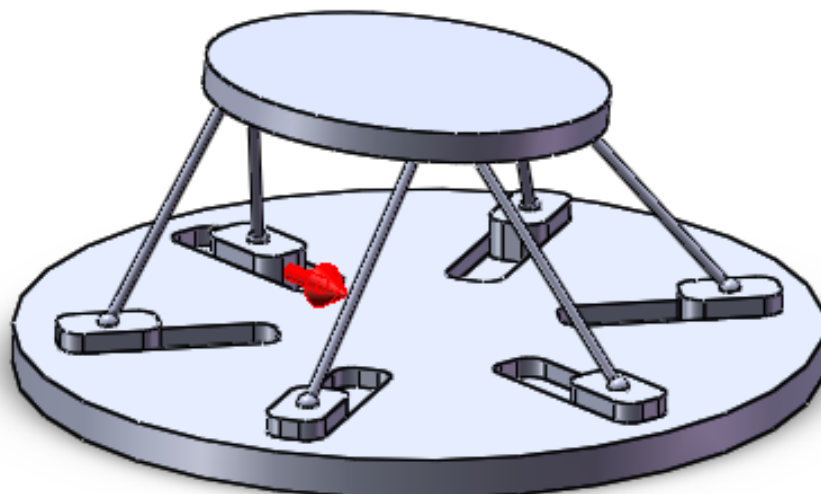


Рис.2.4а. Движение ползуна 1 к центру

б) Все приводы находятся в крайних положениях максимально приближенных к центру основания, а выбранный (-ые) движется от центра к периферии (рис.2.4)

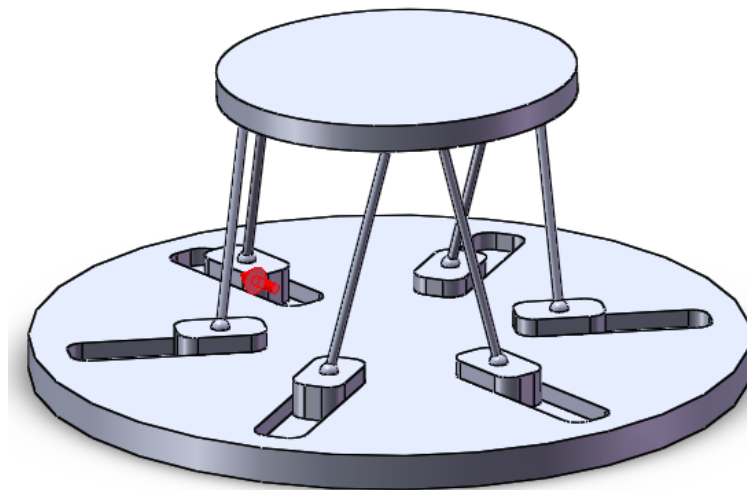


Рис.2.4.б Движение ползуна 1 от центра

В процессе исследования будет произведен анализ кинематики механизма и составлены уравнения, описывающие законы движения звеньев механизма. Далее эти уравнения используются в управляющей программе для расчета координат входных и выходного звеньев и выдачи управляющих сигналов на исполнительные органы механизма.

Далее будет произведен предварительный расчет координат входных и выходного звеньев, составление на основе этого массива данных. После, управляющая программа при формировании управляющих сигналов использует данные из массива, не тратя время на их расчет, что сокращает время задержки между обращением к управляющей программе и выдачей ею управляющих сигналов.

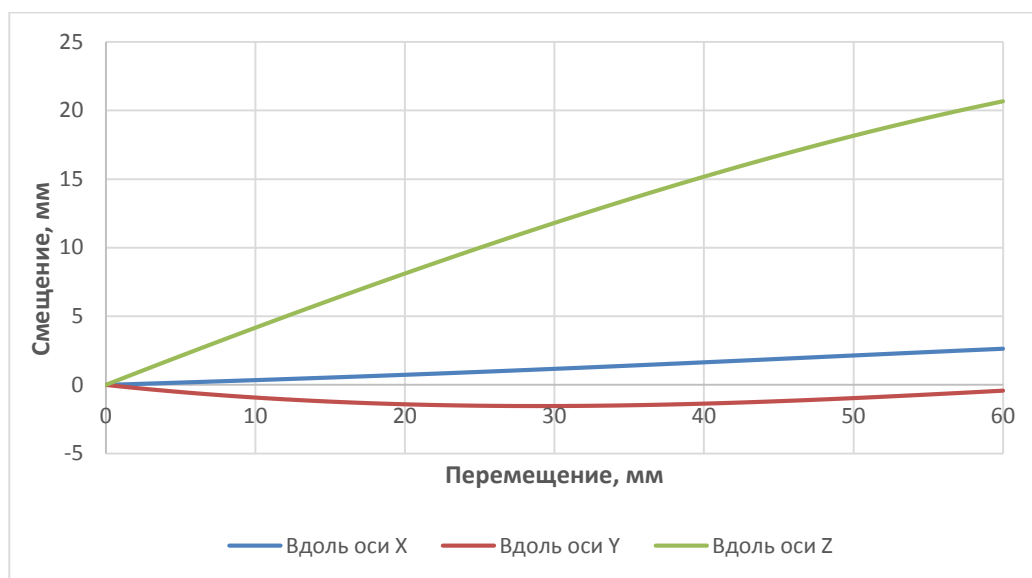
2.3 Исследование кинематики 5D-принтера

2.3.1 Движение одновременно одного ползуна

Для начала ползуны будут перемещаться по одному. Поочередно будут передвигаться ползуны под номерами 1, 2 и 3, так как 4, 5 и 6 расположены напротив них и результаты будут отличаться только знаками.

Для всех исследований, сначала будут представлены результаты эксперимента для варианта а (все ползуны, находятся в крайних положениях, максимально удаленных от центра основания, а перемещаемый движется из этого положения к центру), а потом для варианта б (все приводы находятся в крайних положениях максимально приближенных к центру основания, а выбранный движется от центра к периферии).

Для перемещения ползуна 1 получены следующие зависимости:



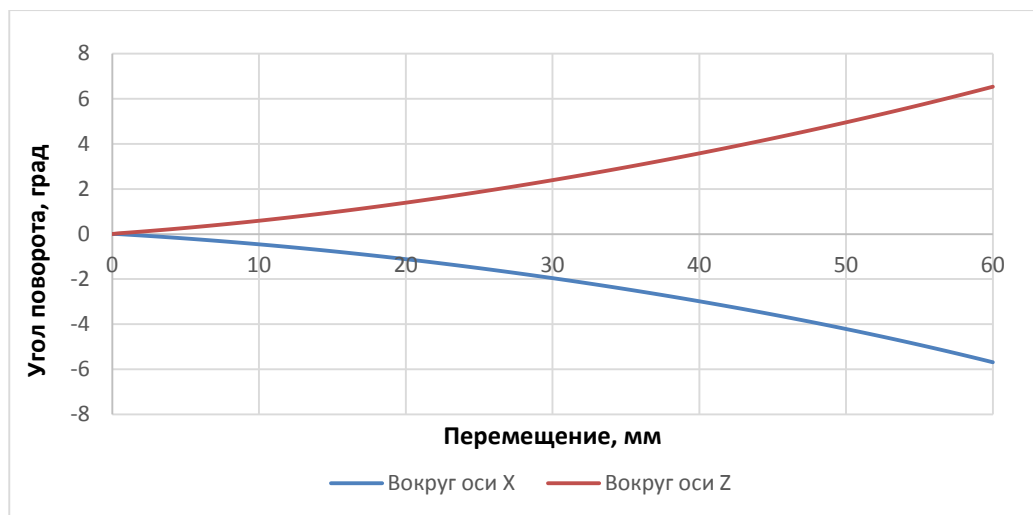


Рис.2.5. Графики перемещения (сверху) и поворота платформы при движении ползуна 1 (первый вариант расположения ползунунов)

На графике перемещения видно, что при данном движении ползуна платформа в значительной степени перемещается вдоль оси Z, вдоль оси X перемещение имеет линейную зависимость, перемещаясь на небольшую величину в 2,5 мм, а вдоль вертикальной оси Y движение имеет параболический характер, выходя из нулевого положения и приближаясь к нему же в конце эксперимента, максимальное опускание платформы при этом составляет 1.5 мм. Что касается графика изменения угла платформы, то тут все так же просто, обе зависимости выходят из точки 0;0 (что очевидно, учитывая что изначально платформа параллельна основанию) плавно достигая своих максимальных значений с перемещением ползуна. В крайней точке максимальные значения улов для оборота вокруг оси X достигает - 5.7 градусов, для оси Z - 6,5.

Однако эти графики недостаточно информативны в плане промежуточных значений. Необходимо получить зависимость, описывающие эти графики. Вызывая функцию аппроксимации (научный метод, состоящий в замене одних объектов другими, в каком-то смысле близкими к исходным, но более простыми), без труда будет получено уравнение, которое описывает

нужную нам кривую. Теперь выведем графики из рисунка 2.5, в которой уже задействована аппроксимация:

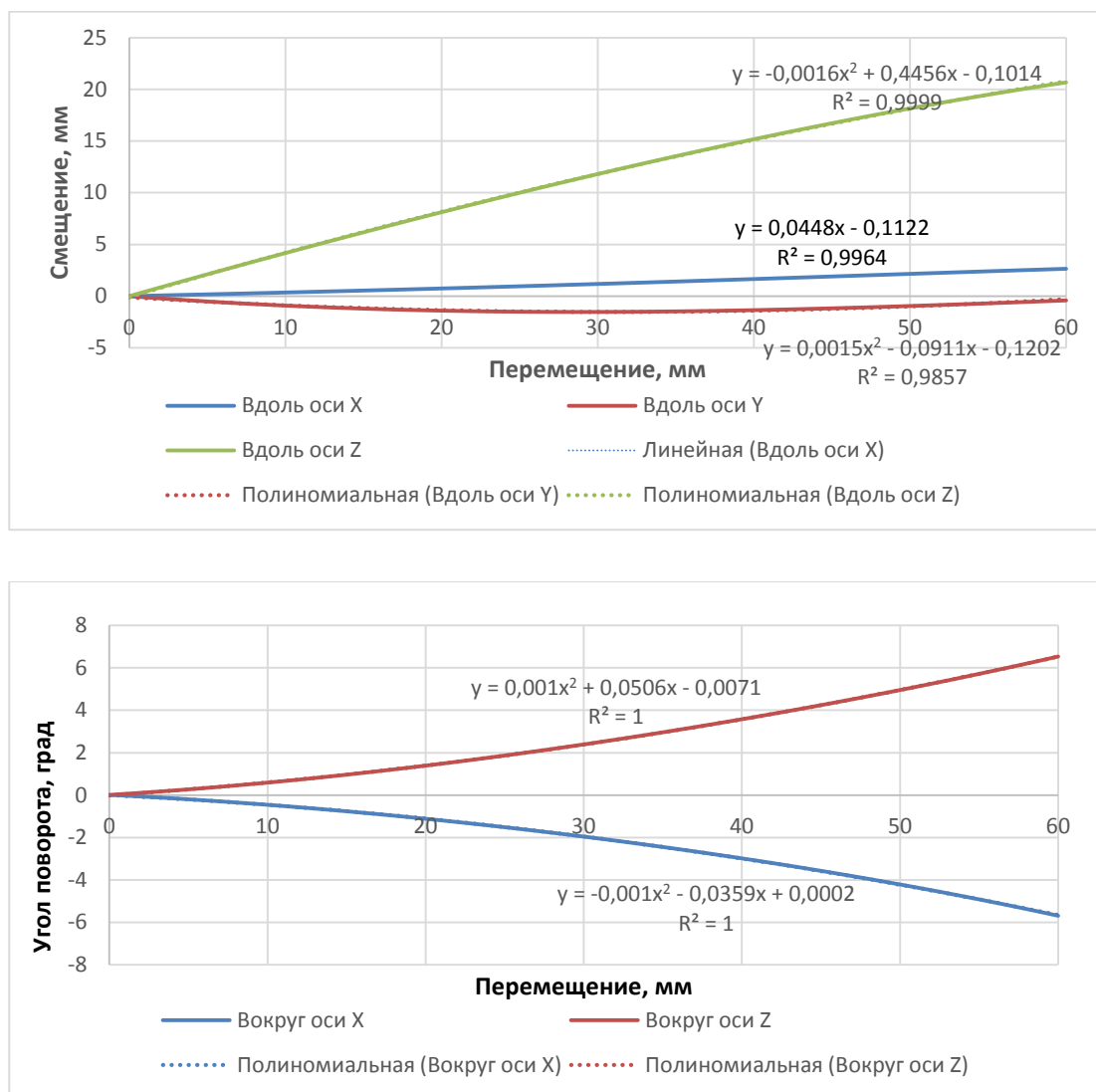


Рис.2.6.а) Графики перемещения (сверху) и поворота платформы при движении ползуна I с использованием аппроксимации

Теперь имеются уравнения, описывающие каждую кривую на графике. Также было добавлено значение R - коэффициент достоверности аппроксимации. Как очевидно из названия, коэффициент достоверности аппроксимации R^2 показывает степень соответствия трендовой модели исходным данным. Его значение может лежать в диапазоне от 0 до 1. Чем ближе R^2 к 1, тем точнее модель описывает имеющиеся данные. Если

присмотреться к графикам внимательнее, то можно увидеть линии тренда, однако уравнения настолько точно подобраны, что их почти не видно из-за самих кривых, описывающих зависимости смещения или угла поворота от перемещений ползуна. Линия тренда, необходимая для аппроксимации, может быть полиномиальной (какого либо порядка, в нашем случае чаще – 2) либо линейной (которая, по сути, тоже является полиномиальной со степенью полинома равной 1), при достаточной величине достоверности аппроксимации. Чем выше степень полинома, тем точнее уравнение описывает кривую. Поэтому при коэффициенте достоверности аппроксимации менее 0,98 будет повышаться степень полинома, чтобы приблизить линию тренда к описываемой кривой.

Переменная X в этих уравнениях – это положение ползуна в тот момент времени, в который необходимо получить координату Y графика, будь то смещение вдоль любой из осей или угол поворота.

Все уравнения и коэффициенты достоверности аппроксимации для удобства использования будут заноситься в таблицу 1, которая представлена в конце главы.

Вот как будут выглядеть те же графики для второго варианта расположения ползунов:

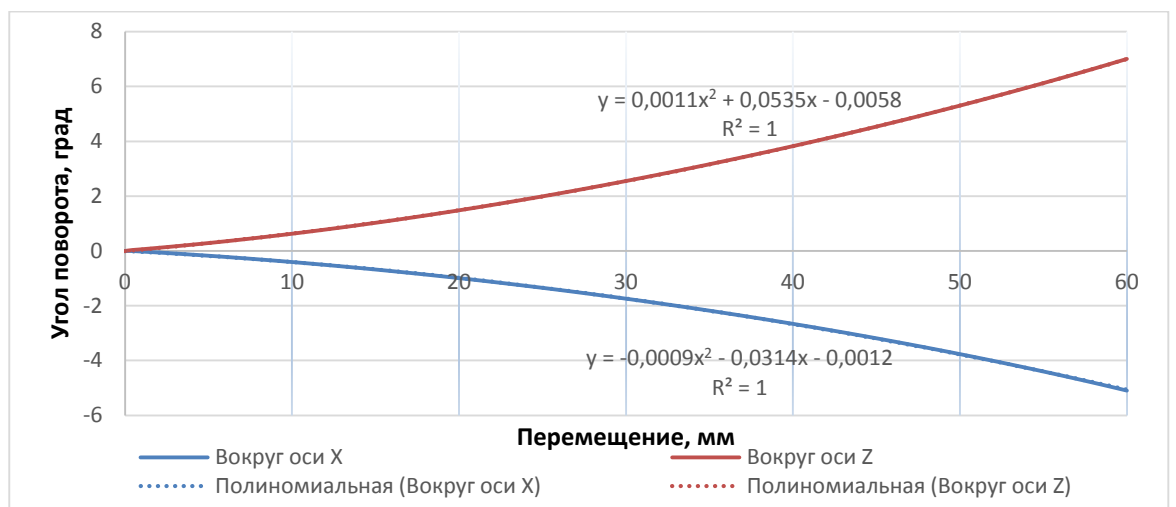
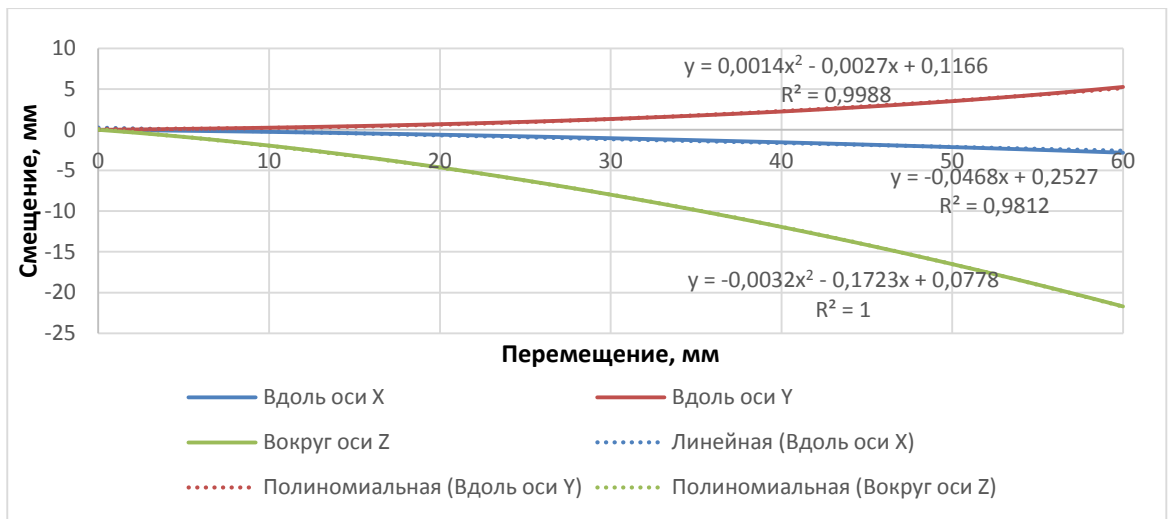


Рис.2.6.б) Графики перемещения (сверху) и поворота платформы при движении ползуна 1 (второй вариант расположения ползунунов)

Та же операция для движения второго ползуна:

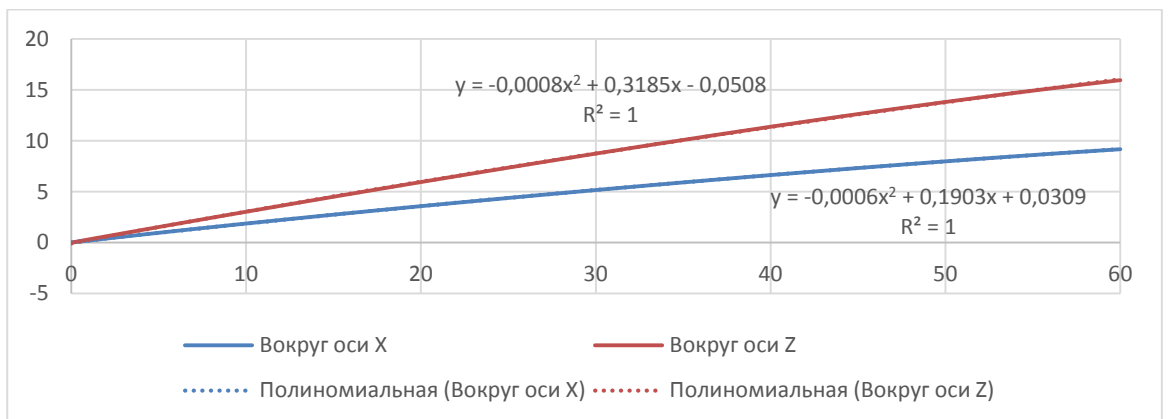
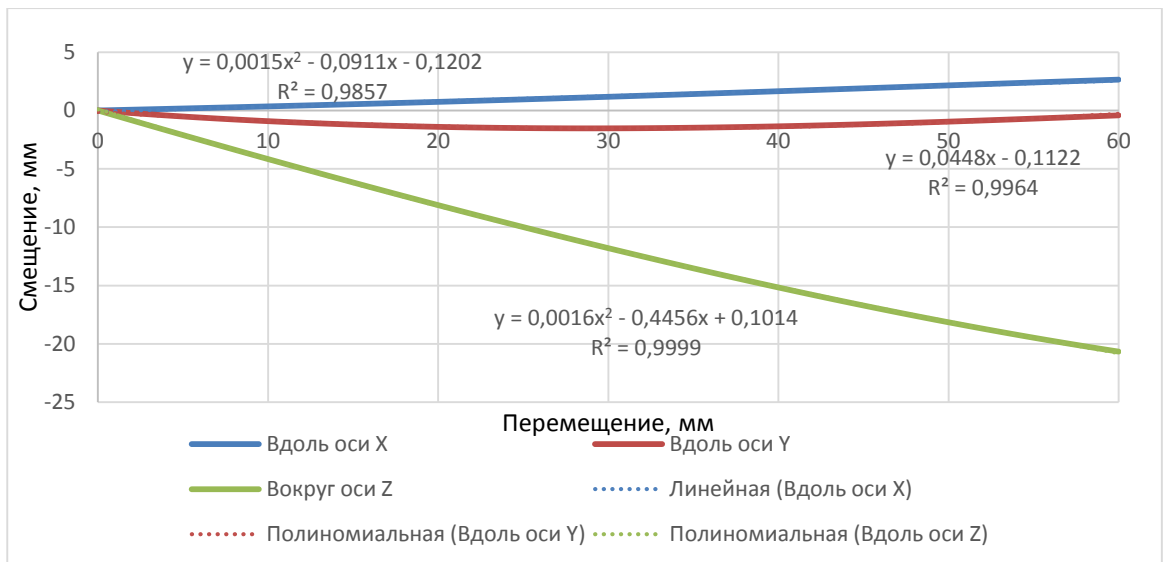
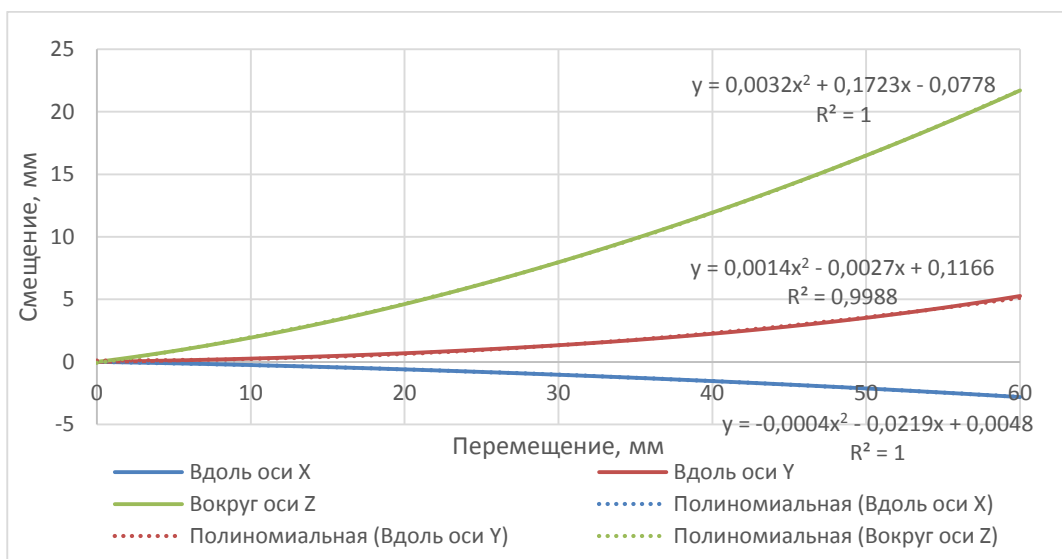


Рис.2.7.а) Графики перемещения и поворота платформы при движении ползуна 2



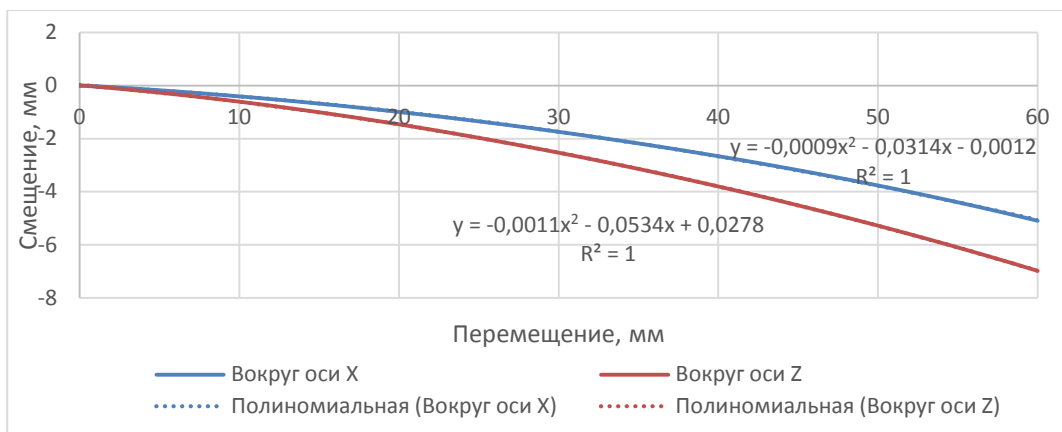


Рис.2.7.б) Графики перемещения и поворота платформы при движении ползуна 2

И, соответственно, для третьего:

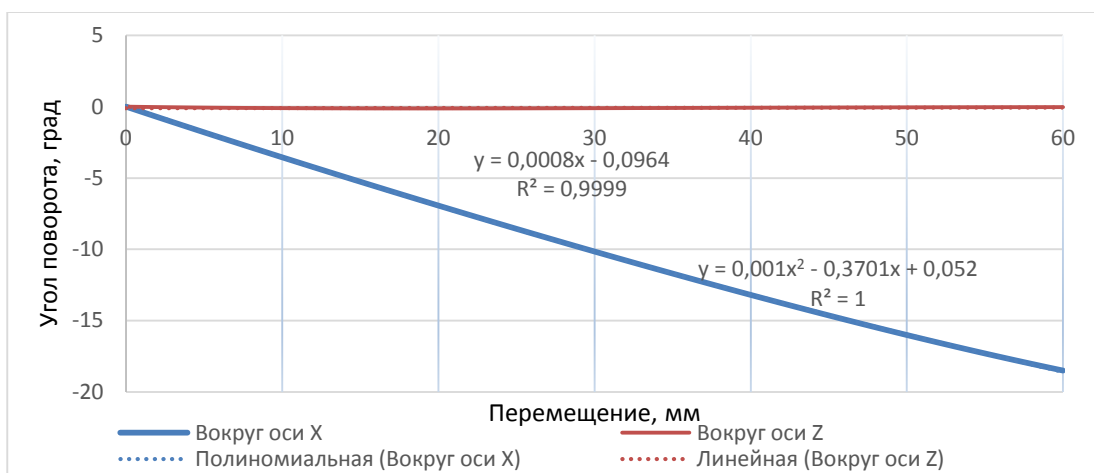
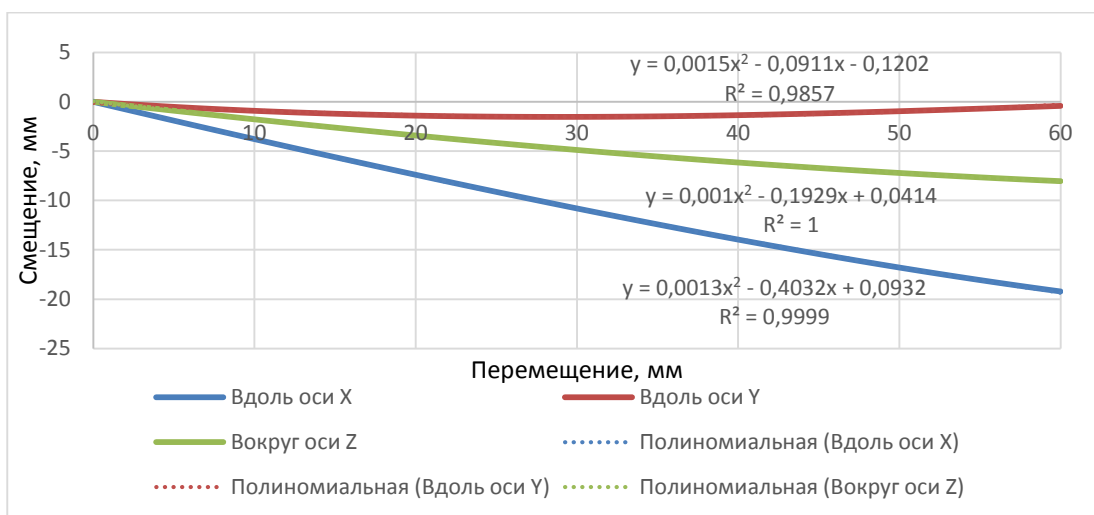


Рис.2.8.а) Графики перемещения и поворота платформы при движении ползуна 3

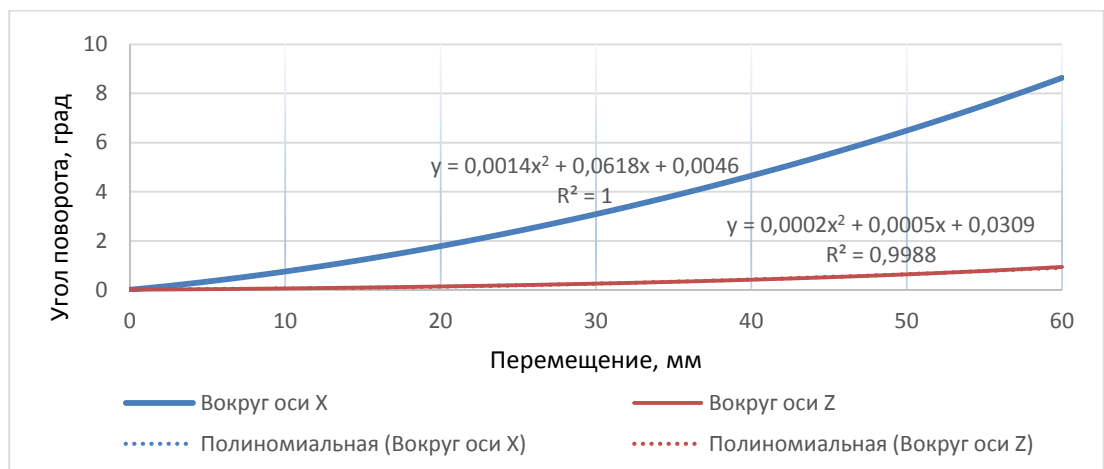
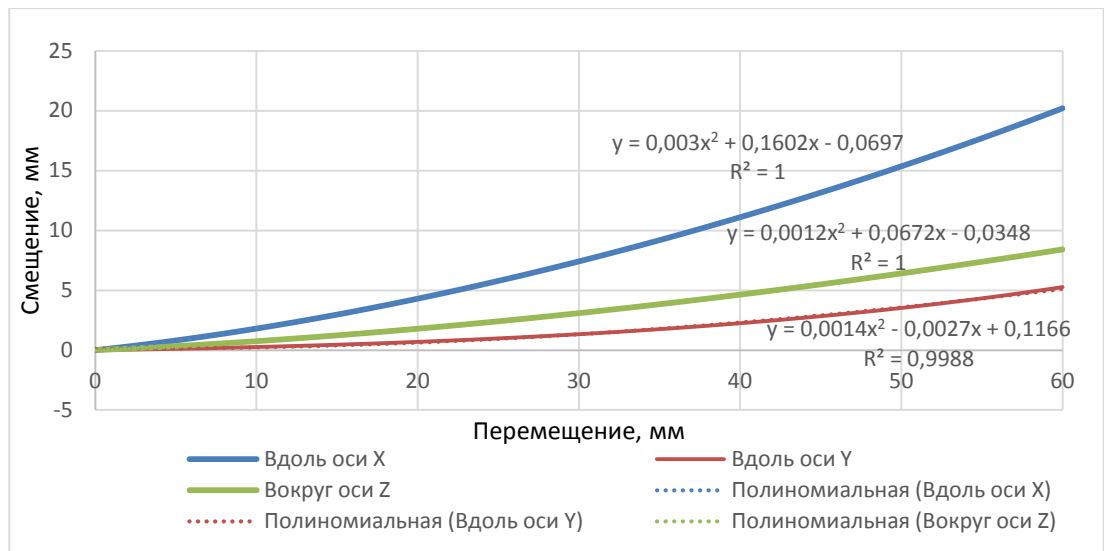


Рис.2.8.б) Графики перемещения и поворота платформы при движении ползуна 3

На рисунке 2.8.а на графике изменения угла может показаться, что зависимость поворота платформы вокруг оси Z равна нулю, однако это не так. На самом так происходит, во-первых, из-за того, что движение ползуна 3 совпадает с направлением оси Z, а во-вторых из-за контрастности второй кривой на этом графике, у которого максимальное значение равно 18,5 градусов (против 0,11 у первой). Это подтверждает и линейная зависимость, значение которой находится рядом с этой кривой.

Для наглядности, будет проведен тот же эксперимент с перемещением ползуна 6 (он находится напротив ползуна 3), чтобы показать, что зависимости действительно будут отличаться только знаками:

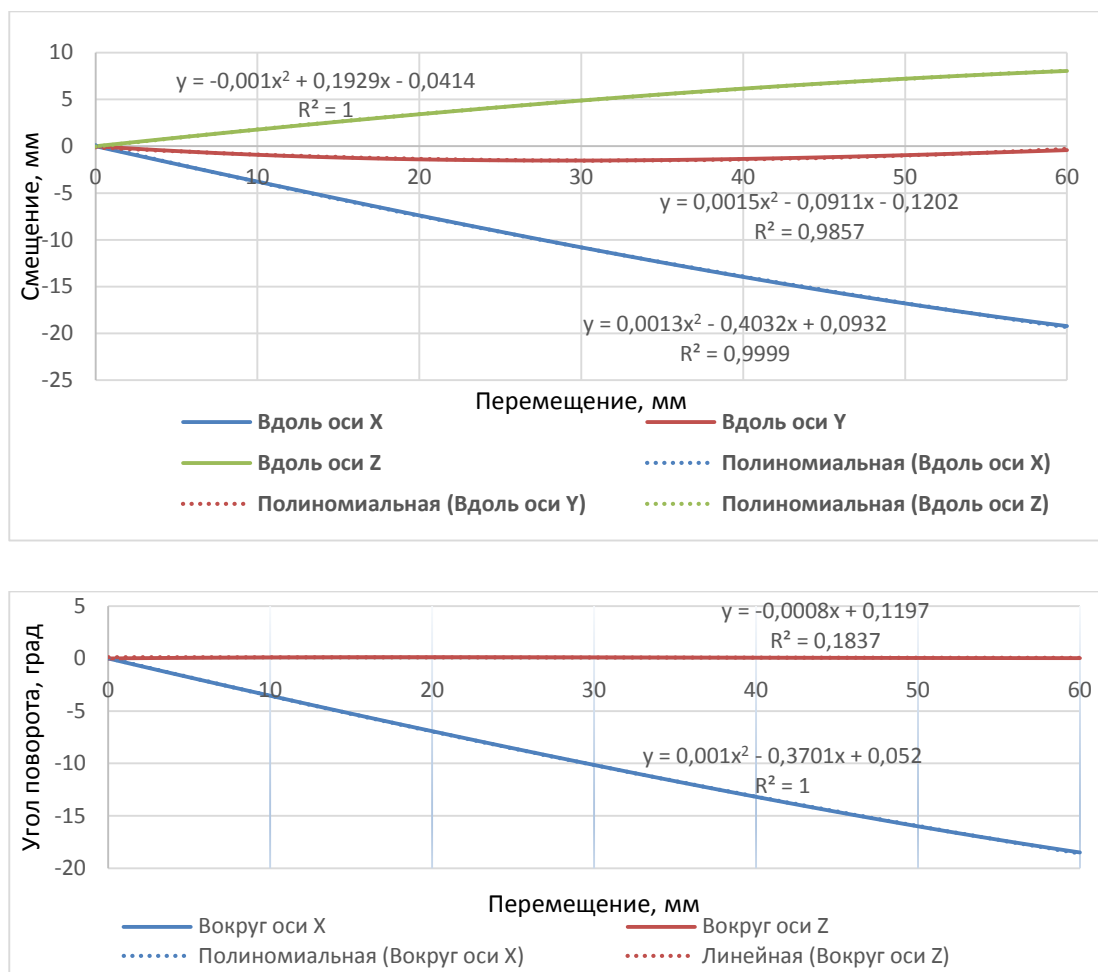
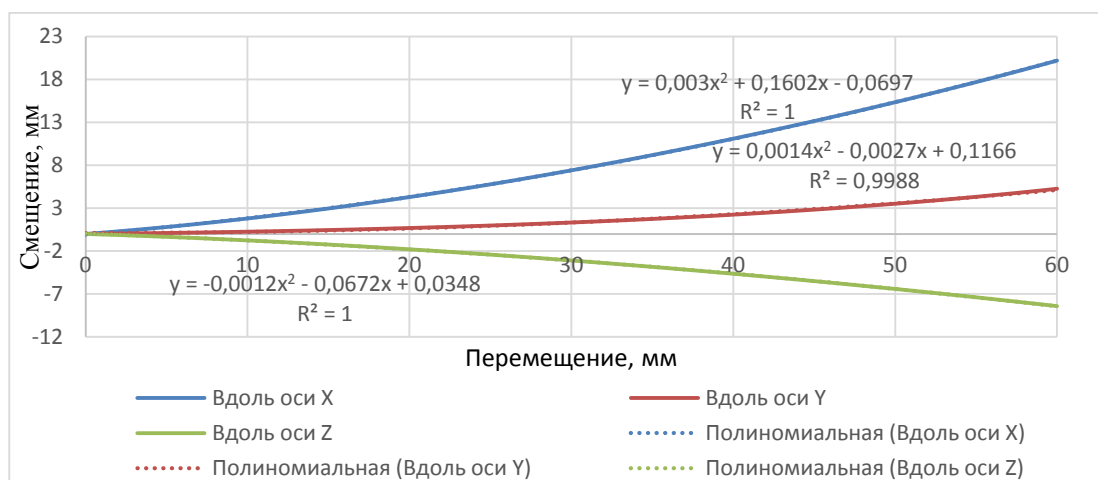


Рис.2.9.а) Графики перемещения и поворота платформы при движении ползуна 6



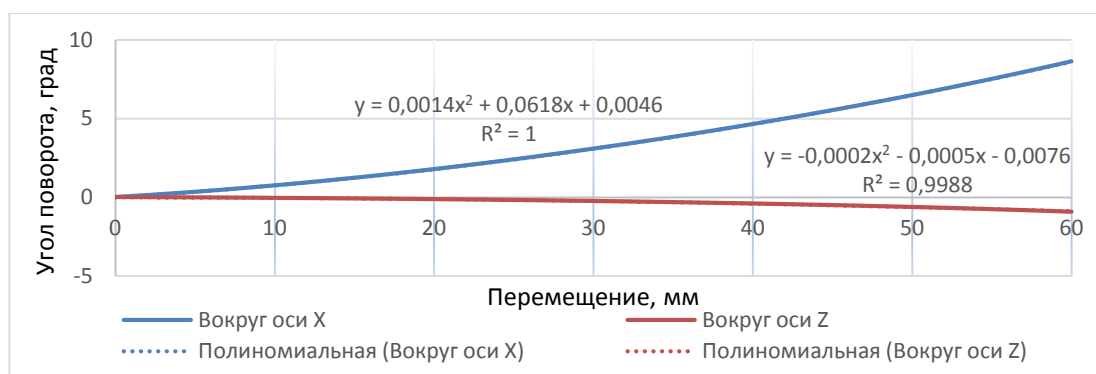


Рис.2.9.б) Графики перемещения и поворота платформы при движении ползуна б

Действительно, графики изменения углов поворота абсолютно идентичные, а в графиках изменения координат меняются знаки у зависимости перемещения вдоль оси Z, в остальном они точно такие же, как и графики при перемещении ползуна 3.

Вообще, можно было пойти другим путем. Зная зависимости изменения координат от перемещения одного из ползунов, можно было определить эти зависимости для остальных пяти, так как известно каким углом они отделяются друг от друга, можно было просто задавать систему координат заново, путем поворота ее на этот угол. Это будет учтено при будущих исследованиях.

2.3.2 Движение одновременно двух ползунов

В этой главе будут рассмотрены случаи, когда перемещаются одновременно два ползуна. Как было оговорено ранее, не будут перебираться все варианты (к слову, их 15) – лишь некоторые, которых будет достаточно для представления картины в целом. В прошлой главе было доказано, что достаточно рассмотреть частные случаи, а уже от них не составит труда перейти к общим. Поэтому здесь будут рассмотрены всего три случая – одновременное движение 1 и 2 ползунов (как находящихся в одной группе крепления тяг к платформе), 1 и 3 (как находящихся в соседних группах

крепления тяг к платформе), а так же 1 и 4 (как расположенных друг напротив друга). Ползуны будут двигаться с одинаковыми скоростями и направлениями.

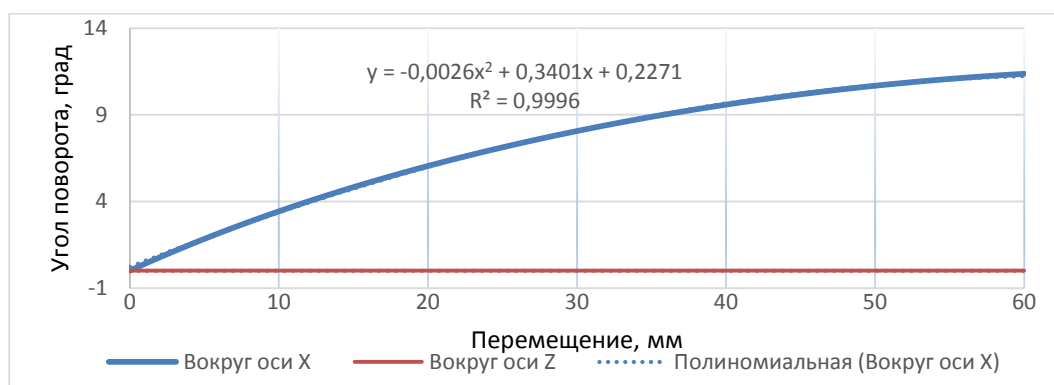
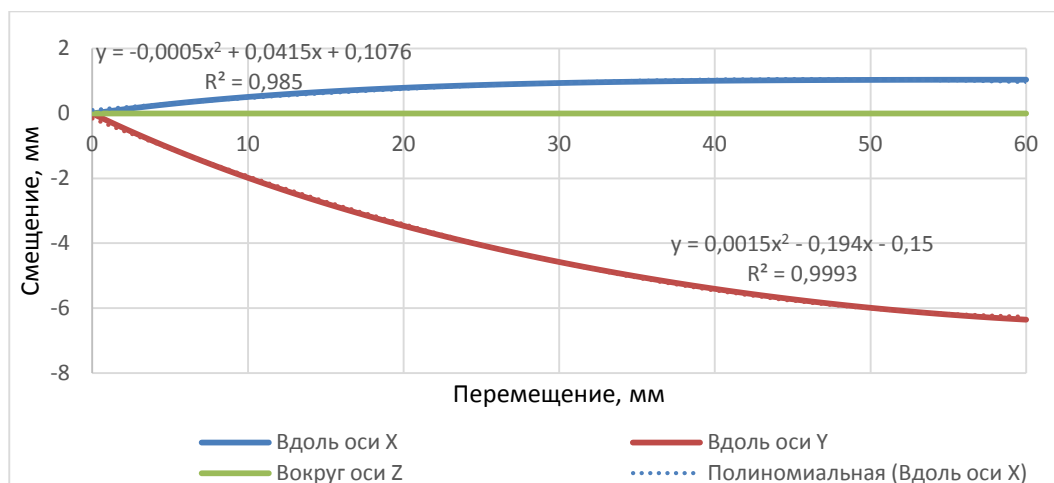
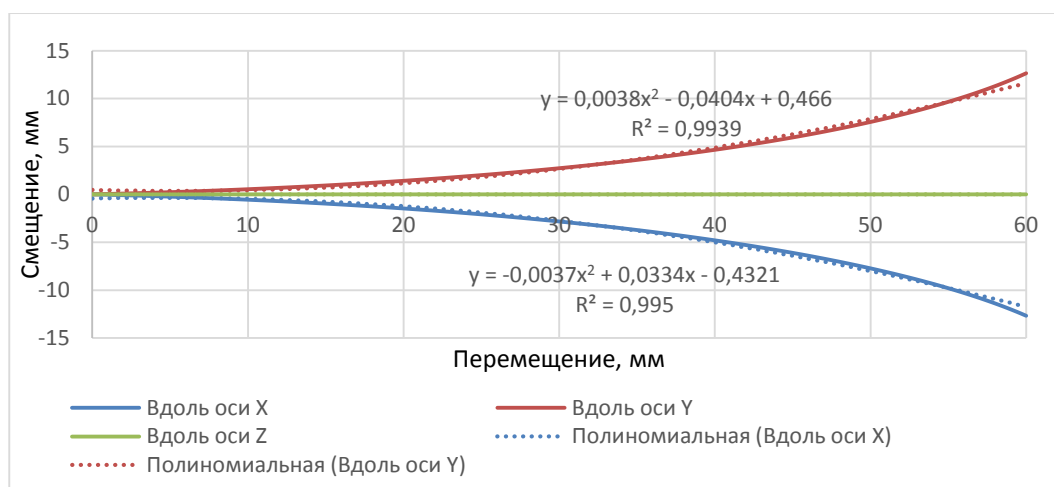


Рис.2.10.а) Графики перемещения и поворота платформы при одновременном движении ползунот 1 и 2



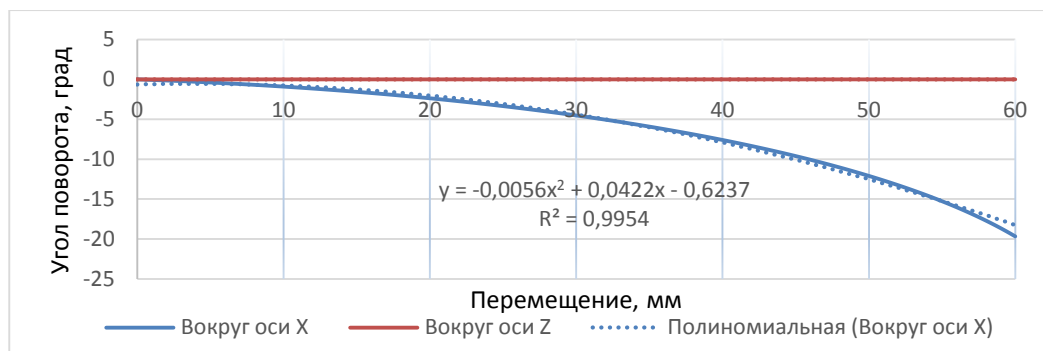


Рис.2.10.б) Графики перемещения и поворота платформы при одновременном движении ползунов 1 и 2

Из графиков видно, что и перемещения вдоль оси Z, и повороты вокруг нее равны 0. Это объясняется тем, что ось X равноудалена от ползунов 1 и 2 и располагается между ними. Поэтому нет смысла описывать эту линию, уравнение будет иметь вид $y=0$.

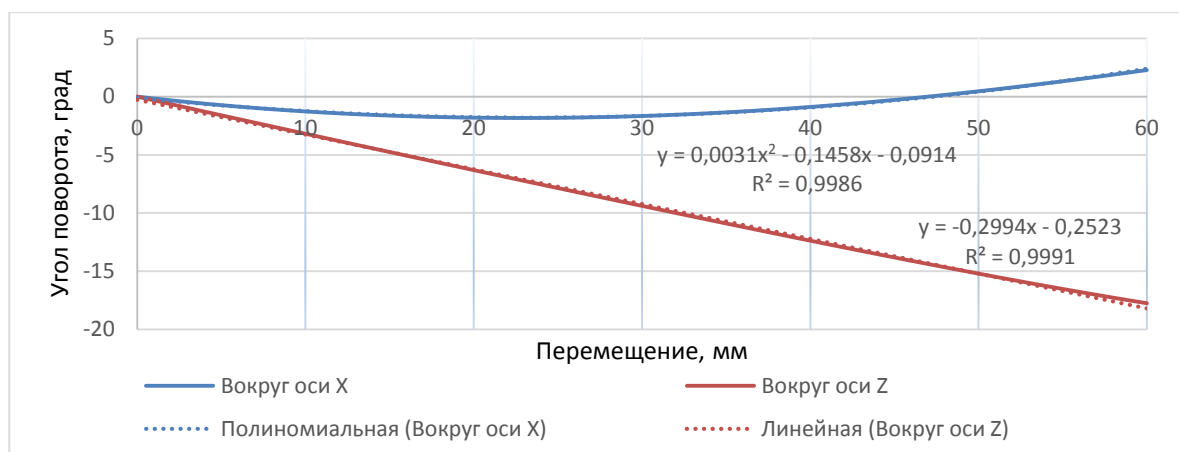
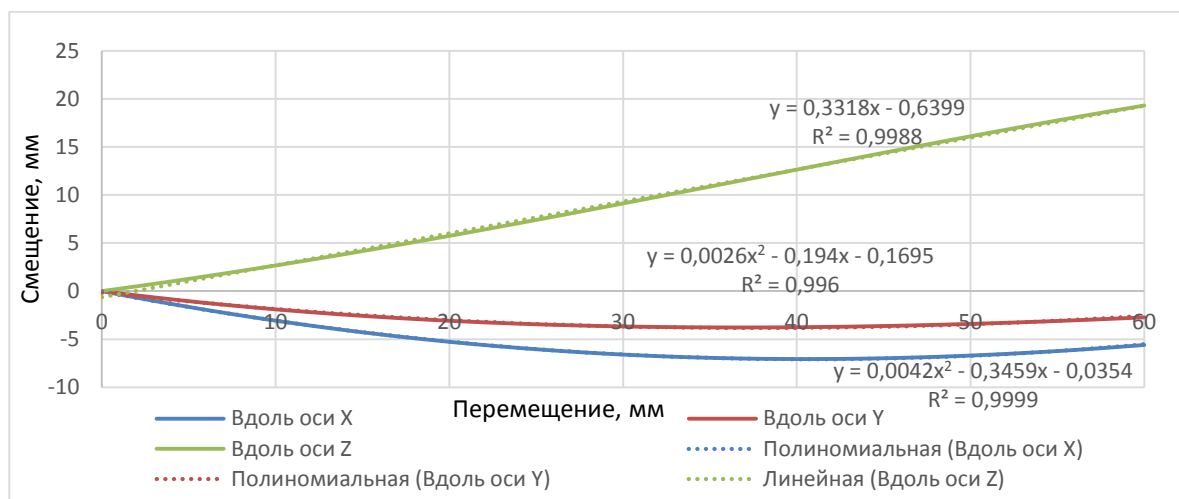


Рис.2.11.а) Графики перемещения и поворота платформы при одновременном движении ползунов 1 и 3

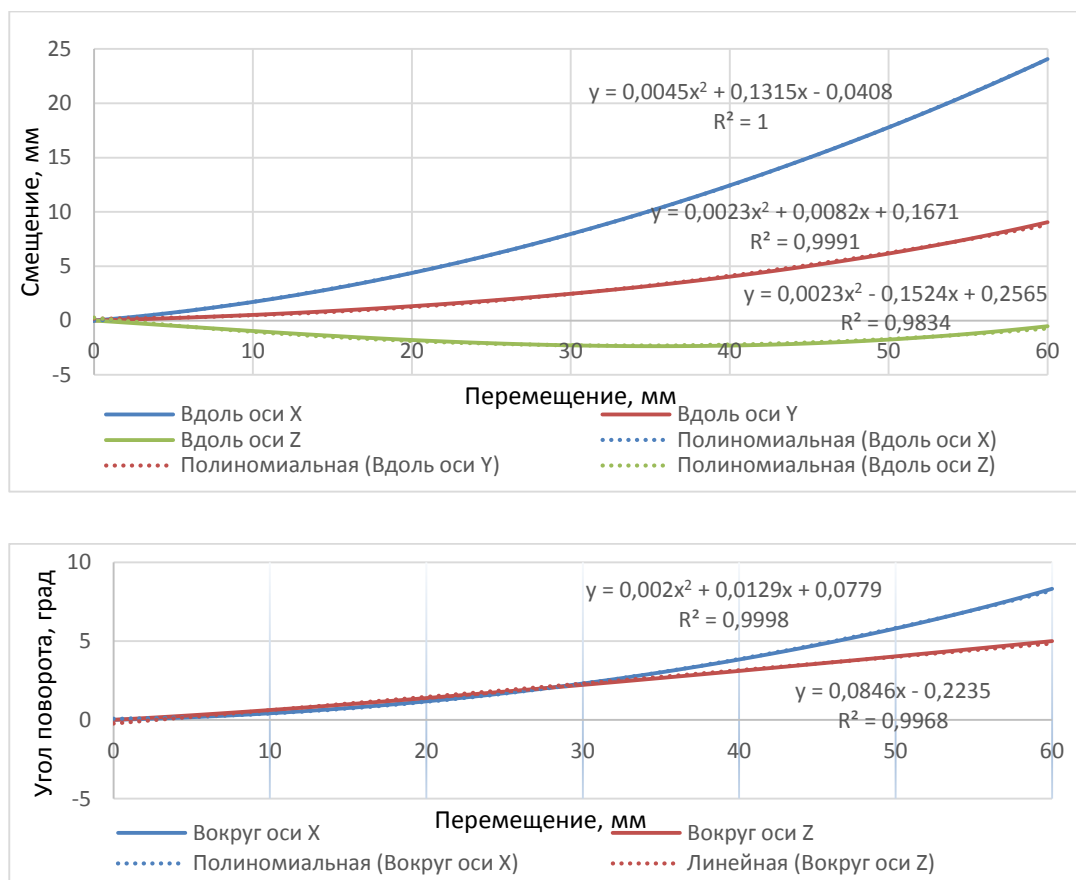
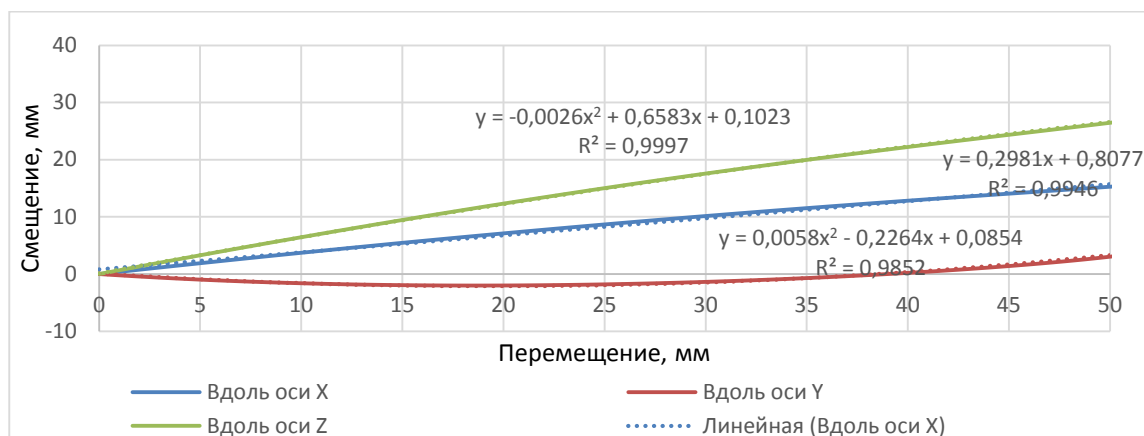


Рис.2.11.б) Графики перемещения и поворота платформы при одновременном движении ползунов 1 и 3

Теперь будем одновременно двигать ползуны, расположенные друг напротив друга – 1 и 4.



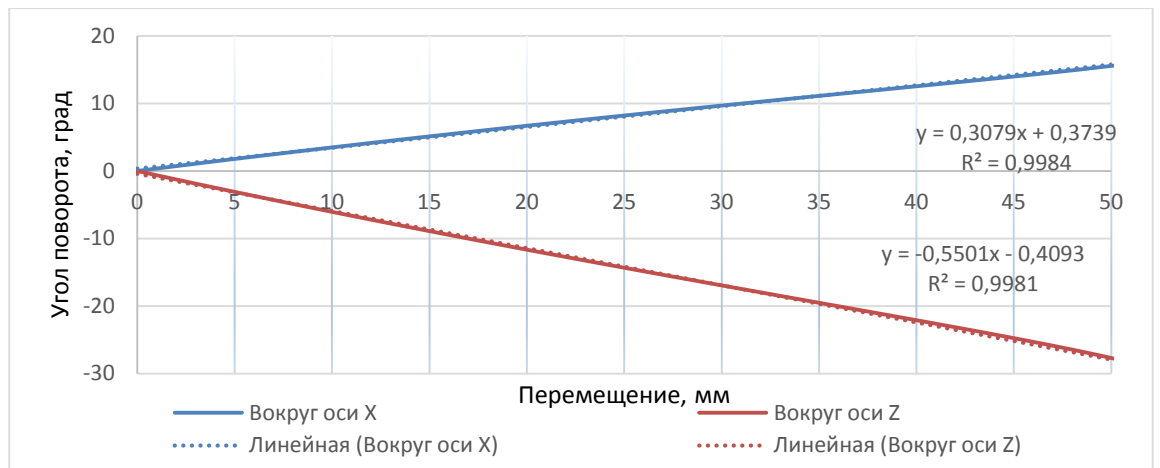


Рис.2.12.а) Графики перемещения и поворота платформы при одновременном движении ползунов 1 и 4

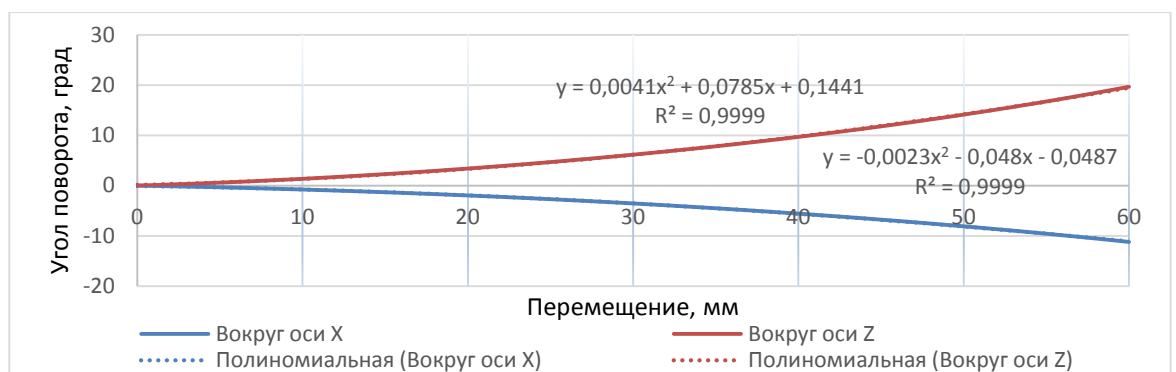
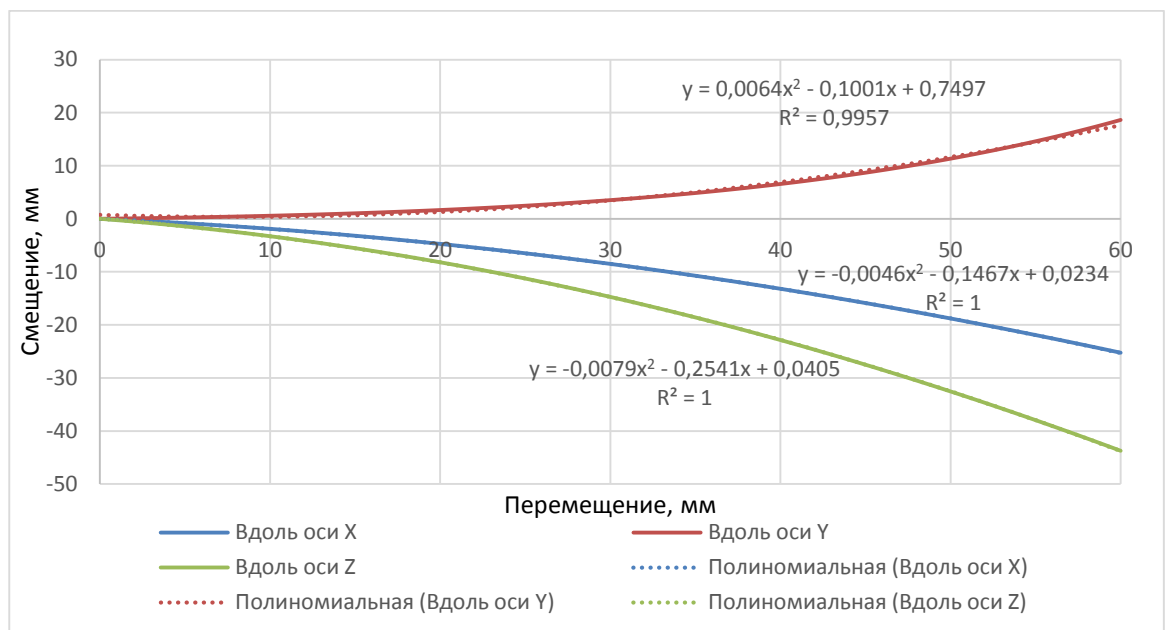


Рис.2.12.б) Графики перемещения и поворота платформы при одновременном движении ползунов 1 и 4

2.3.3 Движение одновременно трех ползунов

В данной главе рассмотрены случаи перемещения одновременно трех ползунов. Здесь будут рассмотрены всего два случая – одновременное движение 1, 2 и 3 ползунов (как находящихся целиком на одной стороне), а так же 1, 3 и 5 (как расположенных через один). Ползуны будут двигаться с одинаковыми скоростью и направлением.

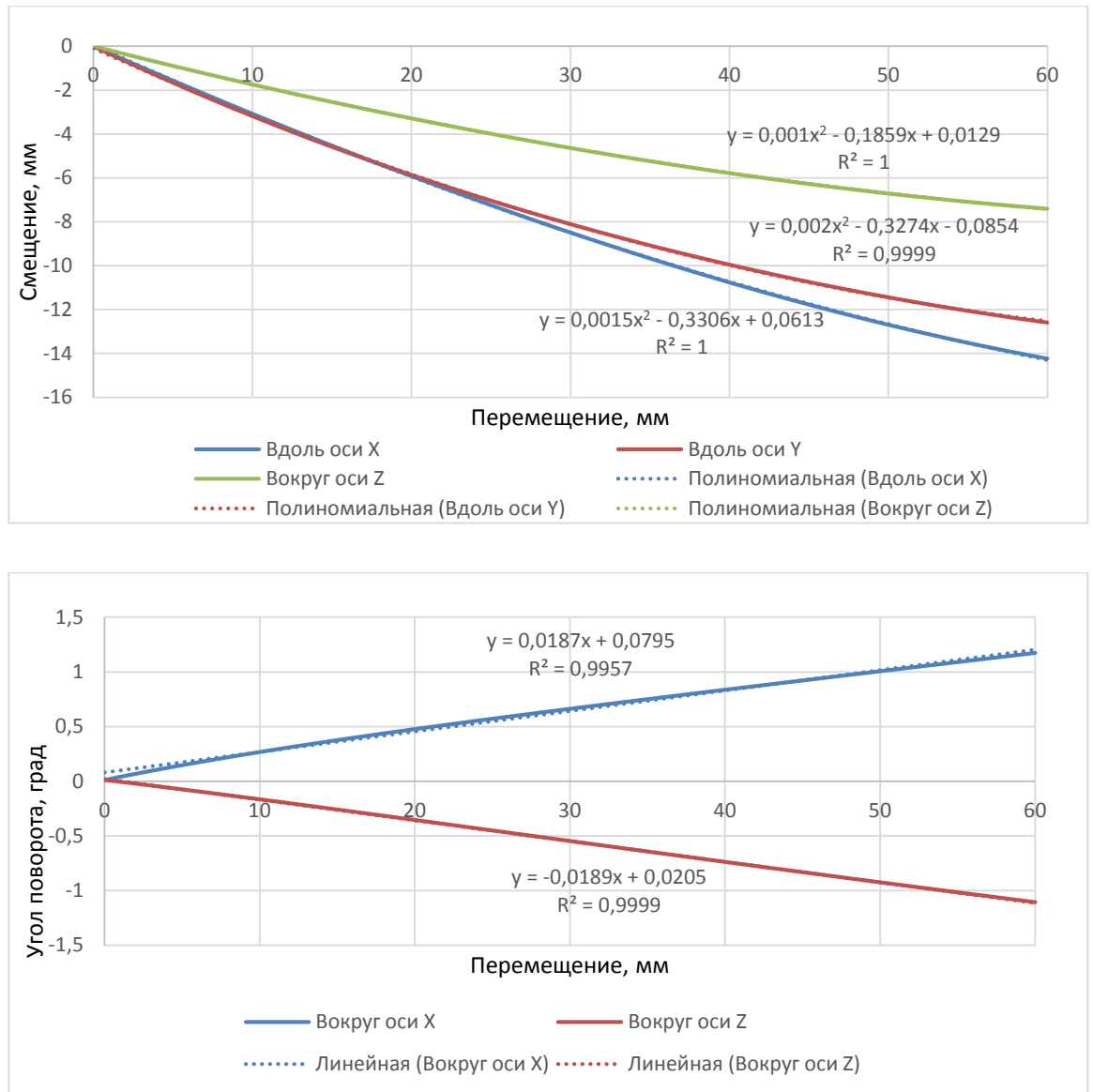


Рис.2.13.а) Графики перемещения и поворота платформы при одновременном движении ползунов 1,2 и 3

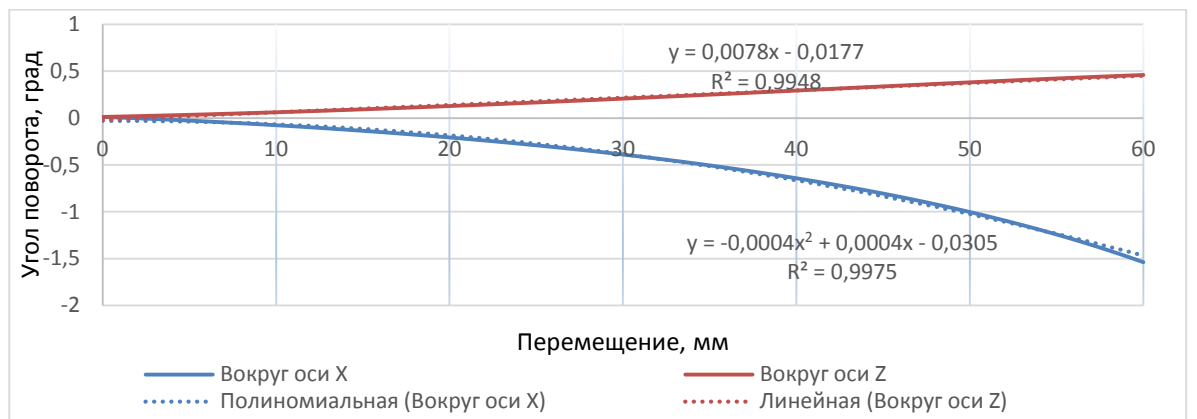
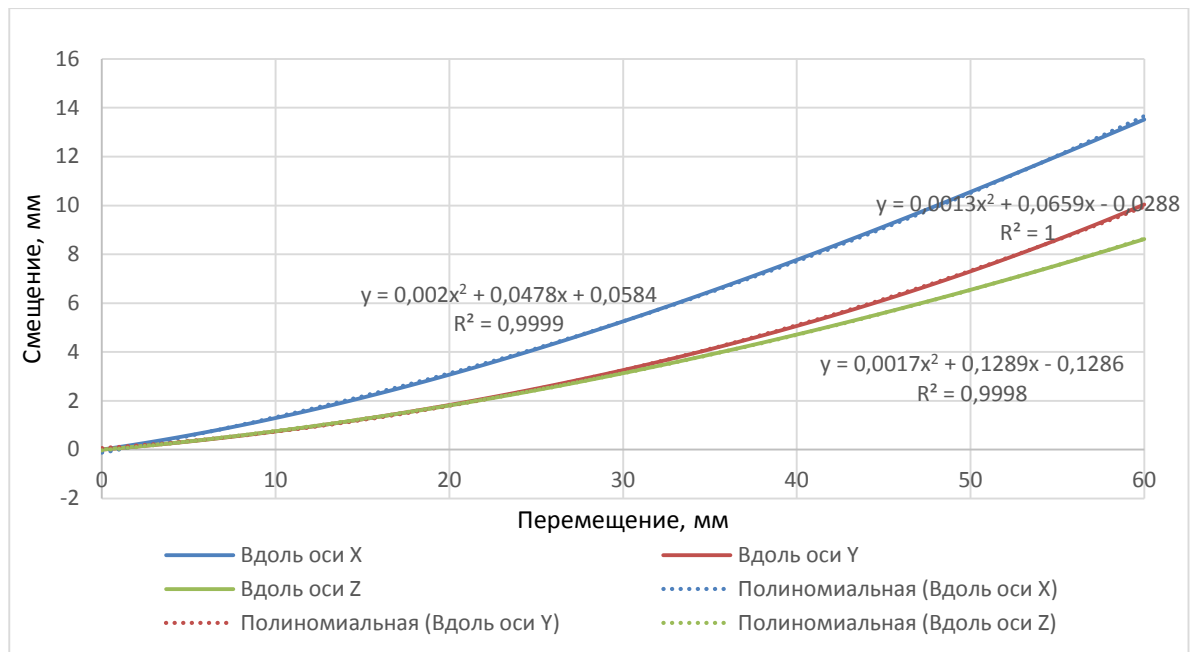


Рис.2.13.б) Графики перемещения и поворота платформы при одновременном движении ползунов 1,2 и 3

Так как ползуны 1, 2 и 3 расположены на одной стороне, логично, что платформа по всем трем координатам двигается в одну сторону. Это подтверждают и графики.

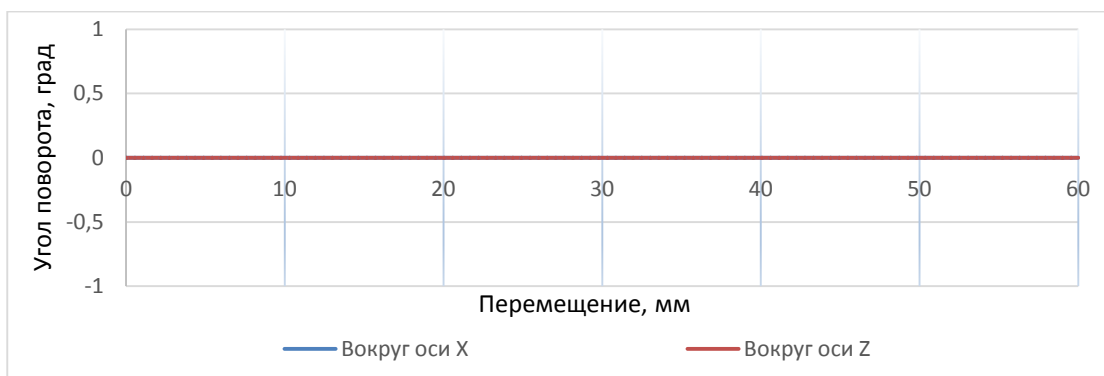
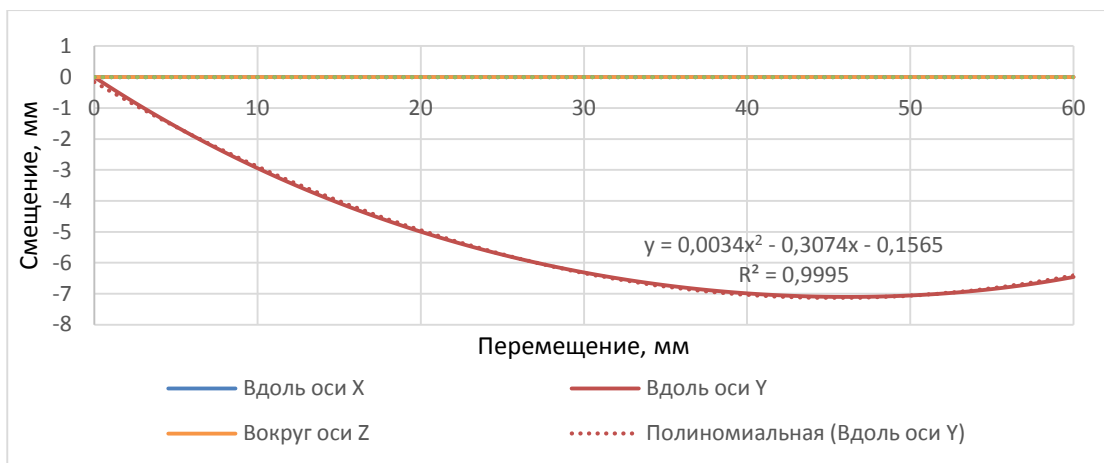
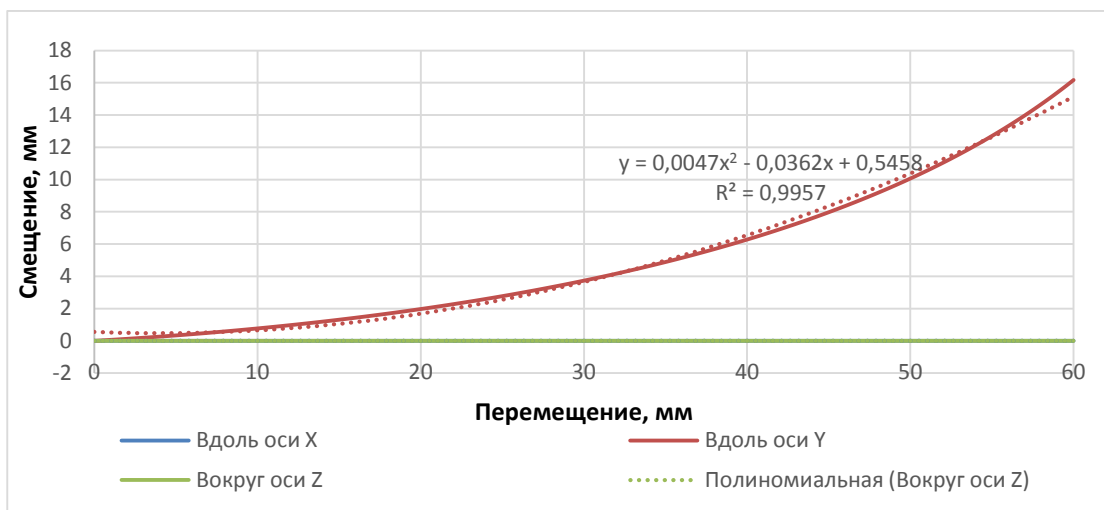


Рис.2.14.а) Графики перемещения и поворота платформы при одновременном движении ползунов 1,3 и 5



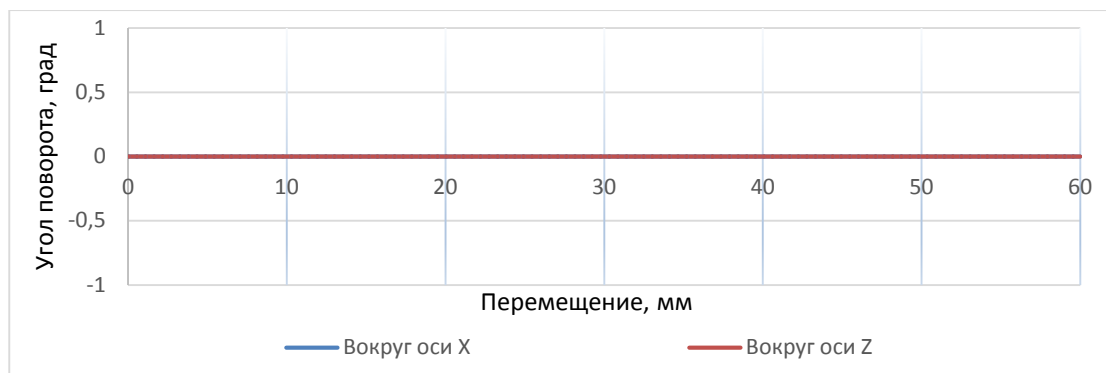


Рис.2.14.б) Графики перемещения и поворота платформы при одновременном движении ползунов 1, 3 и 5

Обосновать эти графики также не составит труда. В данном случае ползуны работают через один, и они компенсируют перемещения вдоль осей и поворот вокруг них. Платформа параллельно перемещается лишь вверх и вниз. Это подтверждают и графики - изменяется лишь одна координата – направление вдоль Y . На самом деле платформа еще и поворачивается вокруг этой оси, но было условие эту координату в расчет не брать.

2.3.4 Движение одновременно четырех ползунов

В данной главе интересны только два исследования, которые потом уже можно переложить на все остальные – это одновременное движение приводов 1, 2, 3 и 4 (задействованы две целые группы) и 1, 2, 3 и 5 (одна целая и по одному ползуну из разных групп). Результаты будут занесены в табл.2.1.

2.3.5 Движение одновременно пяти ползунов

В этой главе исследованию подвергнутся перемещения одновременно пяти ползунов. В целом, абсолютно без разницы какой из ползунов будет зафиксирован, поэтому для удобства ползун номер 6 останется неподвижным. Результаты исследования занесены в табл.2.1.

2.3.6 Движение одновременно всех ползунов

При перемещении всех ползунов, в теории, должно меняться только расстояние между основанием и платформой. То есть будет изменяться только перемещение вдоль оси Y, изменение остальных координат будет равно нулю. Эксперимент лишь подтвердил теорию.

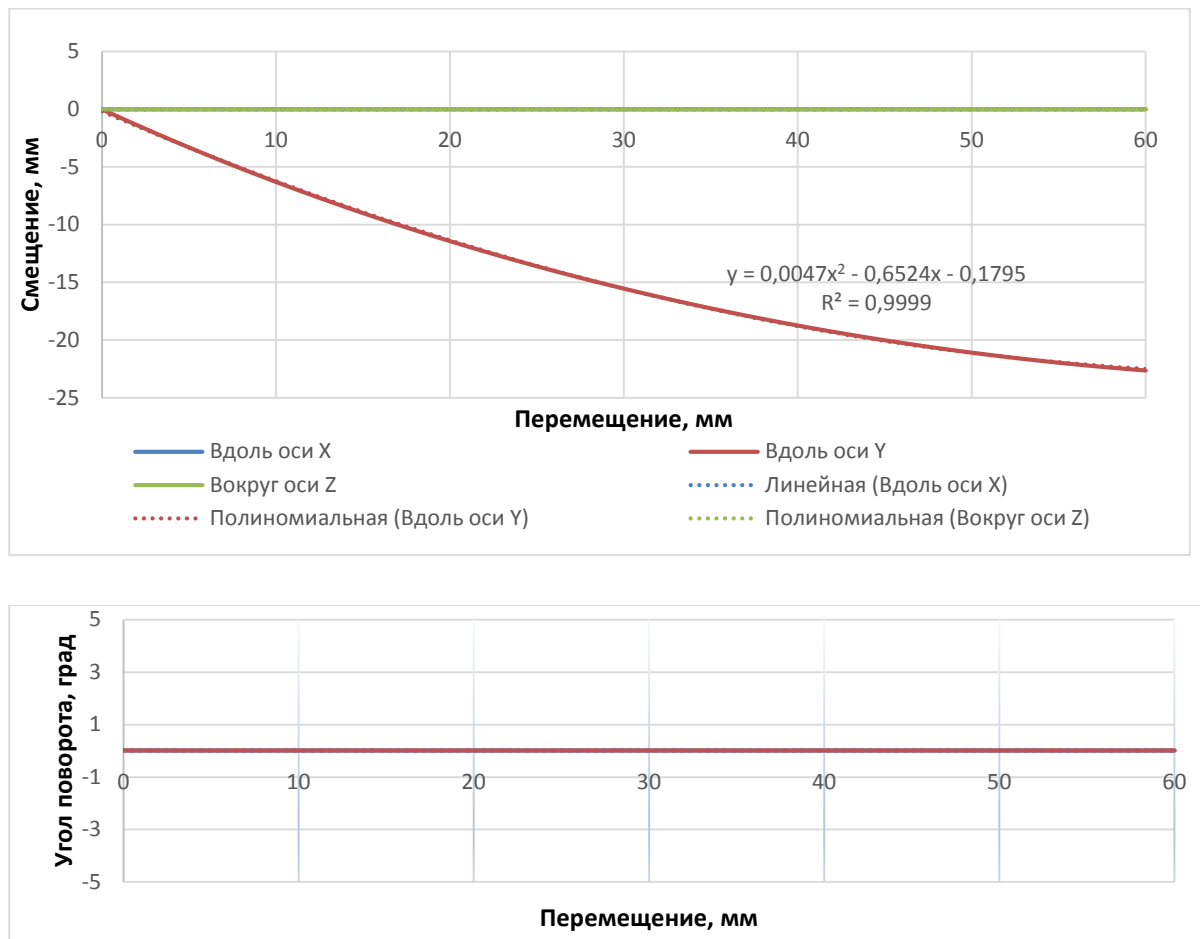


Рис.2.18.а) Графики перемещения и поворота платформы при одновременном движении всех ползунов

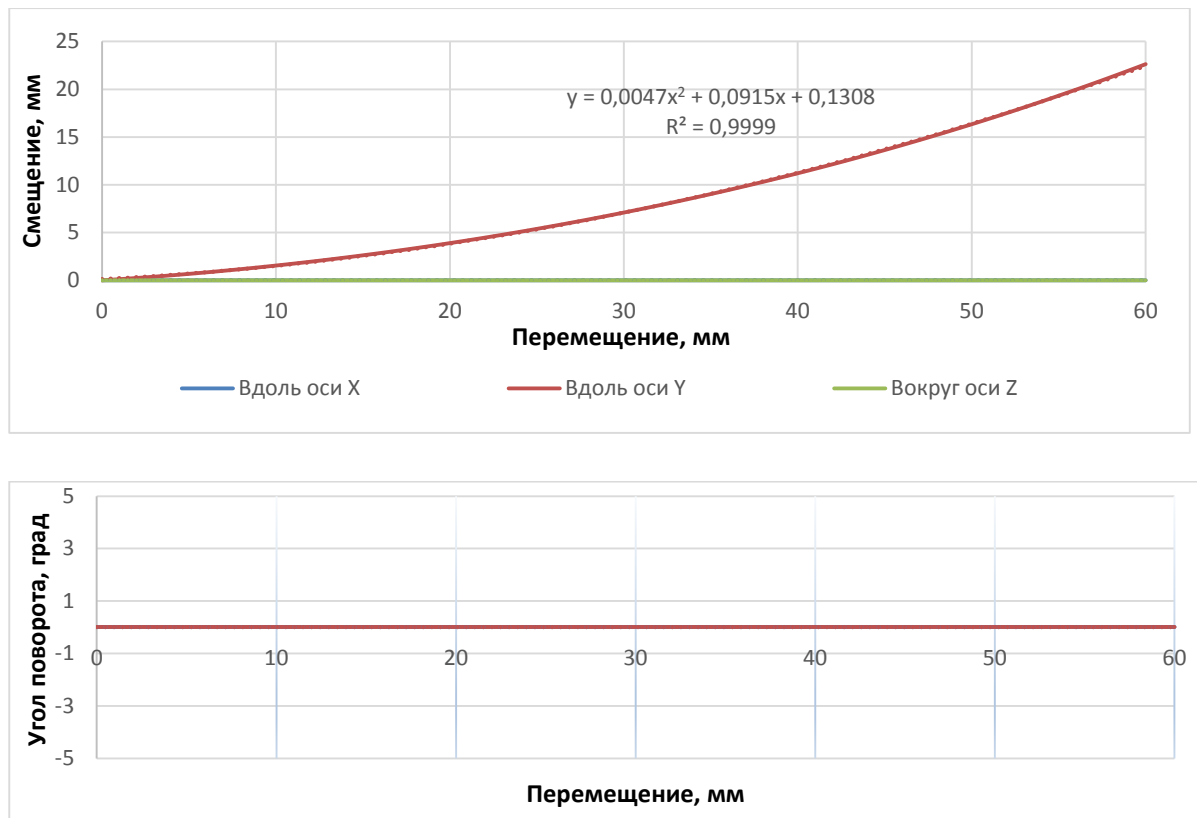


Рис.2.18.б) Графики перемещения и поворота платформы при одновременном движении всех ползунов

2.4 Результаты исследований

Здесь приведены сводные таблицы, в которых собраны результаты из всех графиков, представленных выше.

Табл.2.1

Сводная таблица результатов перемещения точки вдоль осей координат

Ползун	Расположение	Переменная	Уравнение движения	R ²	Min значение, мм	Max значение, мм
1	б	X	$y = -0,0468x + 0,2527$	0,98	-2,8	0
1	б	Y	$y = 0,0014x^2 - 0,0027x + 0,1166$	1	0	5,2
1	б	Z	$y = -0,0032x^2 - 0,1723x + 0,0778$	1	-21,7	0
1	а	X	$y = 0,0448x - 0,1122$	0,99	0	2,6
1	а	Y	$y = 0,0015x^2 - 0,0911x - 0,1202$	0,98	-1,5	0
1	а	Z	$y = -0,0016x^2 + 0,4456x - 0,1014$	1	0	20,6
2	б	X	$y = -0,0004x^2 - 0,0219x + 0,0048$	1	-2,8	0
2	б	Y	$y = 0,0014x^2 - 0,0027x + 0,1166$	1	0	5,7
2	б	Z	$y = 0,0032x^2 + 0,1723x - 0,0778$	1	0	21,7
2	а	X	$y = 0,0015x^2 - 0,0911x - 0,1202$	0,98	0	2,6
2	а	Y	$y = 0,0448x - 0,1122$	0,99	-1,5	0
2	а	Z	$y = 0,0016x^2 - 0,4456x + 0,1014$	1	0	2,4
3	б	X	$y = 0,003x^2 + 0,1602x - 0,0697$	1	0	20,2
3	б	Y	$y = 0,0014x^2 - 0,0027x + 0,1166$	1	0	5,2
3	б	Z	$y = 0,0012x^2 + 0,0672x - 0,0348$	1	0	8,4
3	а	X	$y = 0,001x^2 - 0,1929x + 0,0414$	1	-19,2	0
3	а	Y	$y = 0,0015x^2 - 0,0911x - 0,1202$	0,98	-0,4	0
3	а	Z	$y = 0,001x^2 - 0,1929x + 0,0414$	1	0	133,7
12	б	X	$y = -0,0037x^2 + 0,0334x - 0,4321$	0,99	-12,6	0

12	б	Y	$y = 0,0038x^2 - 0,0404x + 0,466$	0,99	0	12,6
12	б	Z	$y = 0$	1	0	0
12	a	X	$y = -0,0005x^2 + 0,0415x + 0,1076$	0,99	0	1
12	a	Y	$y = 0,0015x^2 - 0,194x - 0,15$	1	-6,4	0
12	a	Z	$y = 0$	1	0	0
13	б	X	$y = 0,0045x^2 + 0,1315x - 0,0408$	1	0	24
13	б	Y	$y = 0,0023x^2 + 0,0082x + 0,1671$	0,99	0	9,04
13	б	Z	$y = 0,0023x^2 - 0,1524x + 0,2565$	0,98	-0,52	0
13	a	X	$y = 0,0045x^2 + 0,1315x - 0,0408$	1	0	24
13	a	Y	$y = 0,0023x^2 + 0,0082x + 0,1671$	0,99	0	9
13	a	Z	$y = 0,0023x^2 - 0,1524x + 0,2565$	0,98	-0,5	0
14	б	X	$y = -0,0046x^2 - 0,1467x + 0,0234$	1	-45,2	0
14	б	Y	$y = 0,0064x^2 - 0,1001x + 0,7497$	0,99	0	18,6
14	б	Z	$y = -0,0079x^2 - 0,2541x + 0,0405$	1	-43,7	0
14	a	X	$y = 0,2981x + 0,8077$	0,99	0	16,9
14	a	Y	$y = 0,0058x^2 - 0,2264x + 0,0854$	0,98	0	6,9
14	a	Z	$y = 0,5163x + 1,3989$	0,99	0	29,4
123	б	X	$y = 0,002x^2 + 0,0478x + 0,0584$	0,99	0	13,5
123	б	Y	$y = 0,0013x^2 + 0,0659x - 0,0288$	1	0	10
123	б	Z	$y = 0,0017x^2 + 0,1289x - 0,1286$	0,99	0	8,6
123	a	X	$y = 0,0015x^2 - 0,3306x + 0,0613$	1	-14,2	0
123	a	Y	$y = 0,002x^2 - 0,3274x - 0,0854$	0,99	-12,5	0
123	a	Z	$y = 0,001x^2 - 0,1859x + 0,0129$	1	-7,3	0
135	б	X	$y = 0$	1	0	0
135	б	Y	$y = 0,0047x^2 - 0,0362x + 0,5458$	0,99	0	16,2
135	б	Z	$y = 0$	1	0	0

135	a	X	$y = 0$	1	0	0
135	a	Y	$y = 0,0034x^2 - 0,3074x - 0,1565$	0,99	-6,4	0
135	a	Z	$y = 0$	1	0	0
1234	б	X	$y = 0,0007x^2 - 0,0631x + 0,1422$	0,99	-0,8	0
1234	б	Y	$y = 0,0035x^2 + 0,0536x + 0,1252$	1	0	16,3
1234	б	Z	$y = 0,0007x^2 - 0,0631x + 0,1422$	0,99	-1,3	0
1234	a	X	$y = 0,0011x^2 + 0,0362x + 0,0014$	1	0	6,4
1234	a	Y	$y = 0,0045x^2 - 0,4381x - 0,0882$	1	-10,6	0
1234	a	Z	$y = 0,002x^2 + 0,0627x + 0,0024$	1	0	10,9
1235	б	Y	$y = 0,0053x^2 - 0,0063x + 0,4615$	1	0	19,9
1235	б	Z	$y = 0,2558x - 0,628$	1	0	14,5
1235	a	X	$y = 0,0028x^2 - 0,3846x - 0,3497$	0,99	-11,5	0
1235	a	Y	$y = -0,2016x + 2,229$	0,93	-13,5	0
1235	a	Z	$y = 0,0022x^2 - 0,4929x + 0,3284$	0,99	-21,1	0
12345	б	X	$y = -0,318x + 1,6478$	0,98	-19,2	0
12345	б	Y	$y = 0,0054x^2 + 0,0254x + 0,4088$	0,99	0	22,2
12345	б	Z	$y = 0,0011x^2 + 0,0726x - 0,0695$	0,99	0	8
12345	a	X	$y = 0,3414x + 0,5066$	0,99	0	20,2
12345	a	Y	$y = 0,004x^2 - 0,522x - 0,2415$	0,99	-17,3	0
12345	a	Z	$y = 0,0007x^2 - 0,1808x - 0,0101$	1	-8,4	0
123456	б	X	$y = 0$	1	0	0
123456	б	Y	$y = 0,0047x^2 + 0,0915x + 0,1308$	0,99	0	92,6
123456	б	Z	$y = 0$	1	0	0
123456	a	X	$y = 0$	1	0	0
123456	a	Y	$y = 0,0047x^2 - 0,6524x - 0,1795$	0,99	-22,6	0
123456	a	Z	$y = 0$	1	0	0

Табл.2.

Сводная таблица результатов поворота платформы вокруг осей координат

Ползун	Располо- жение	Переменная	Уравнение движения	R ²	Min значение, мм	Max значение, мм
1	б	XO	$y = -0,0009x^2 - 0,0314x - 0,0012$	1	-5,1	0
1	б	ZO	$y = 0,0011x^2 + 0,0535x - 0,0058$	1	0	7
1	а	XO	$y = -0,001x^2 - 0,0359x + 0,0002$	1	-5,6	0
1	а	ZO	$y = 0,001x^2 + 0,0506x - 0,0071$	1	0	-6,5
2	б	XO	$y = -0,0009x^2 - 0,0314x - 0,0012$	1	-6,9	0
2	б	ZO	$y = -0,0011x^2 - 0,0534x + 0,0278$	0,99	5	0
2	а	XO	$y = -0,0006x^2 + 0,1903x + 0,0309$	1	0	9,1
2	а	ZO	$y = -0,0008x^2 + 0,3185x - 0,0508$	1	0	15,9
3	б	XO	$y = 0,0014x^2 + 0,0618x + 0,0046$	1	0	8,6
3	б	ZO	$y = 0,0002x^2 + 0,0005x + 0,0309$	1	0	0,9
3	а	XO	$y = 0,001x^2 - 0,3701x + 0,052$	1	-18,5	0
3	а	ZO	$y = 0,0008x - 0,0964$	1	-0,1	0
12	б	XO	$y = -0,0056x^2 + 0,0422x - 0,6237$	0,99	-19,6	0
12	б	ZO	$y = 0$	1	0	0
12	а	XO	$y = -0,0026x^2 + 0,3401x + 0,2271$	1	0	11,4
12	а	ZO	$y = 0$	1	0	0
13	б	XO	$y = 0,002x^2 + 0,0129x + 0,0779$	0,99	0	8,3
13	б	ZO	$y = 0,0846x - 0,2235$	0,99	0	5
13	а	XO	$y = 0,0031x^2 - 0,1458x - 0,0914$	0,99	0	2,2
13	а	ZO	$y = -0,2994x - 0,2523$	0,99	-17,7	0
14	б	XO	$y = -0,0023x^2 - 0,048x - 0,0487$	0,99	-11,1	0
14	б	ZO	$y = 0,0041x^2 + 0,0785x + 0,1441$	0,99	0	19,6

14	a	XO	$y = 0,3079x + 0,3739$	0,99	-33	0
14	a	ZO	$y = -0,5501x - 0,4093$	0,99	0	18,3
123	б	XO	$y = -0,0004x^2 + 0,0004x - 0,0305$	0,99	-1,4	0
123	б	ZO	$y = 0,0078x - 0,0177$	0,99	0	0,45
123	a	XO	$y = 0,0232x + 0,0352$	0,99	0	1,1
123	a	ZO	$y = -0,0189x + 0,0209$	0,99	-1,1	0
135	б	XO	$y = 0$	1	0	0
135	б	ZO	$y = 0$	1	0	0
135	a	XO	$y = 0$	1	0	0
135	a	ZO	$y = 0$	1	0	0
1234	б	XO	$y = -0,001x^2 - 0,0308x - 0,0002$	1	-5,6	0
1234	б	ZO	$y = 0,0018x^2 + 0,0527x + 0,0355$	1	0	9,8
1234	a	XO	$y = -0,0005x^2 + 0,1884x + 0,0578$	1	0	9,7
1234	a	ZO	$y = 0,0008x^2 - 0,3251x - 0,0737$	1	-16,9	0
1235	б	XO	$y = -0,0051x^2 + 0,0531x - 0,447$	1	-16,5	0
1235	б	ZO	$y = -0,0008x^2 - 0,0662x + 0,101$	1	-6,8	0
1235	a	XO	$y = -0,0023x^2 + 0,128x + 0,3429$	0,96	0	0,1
1235	a	ZO	$y = -0,0027x^2 + 0,3277x - 0,0903$	0,99	0	9,7
12345	б	XO	$y = -0,0052x^2 + 0,0323x - 0,5116$	0,99	-18,5	0
12345	б	ZO	$y = -0,0002x^2 + 0,0111x - 0,025$	0,92	0	0
12345	a	XO	$y = -0,003x^2 + 0,3183x + 0,1946$	0,99	0	8,6
12345	a	ZO	$y = 0,0002x^2 - 0,0277x + 0,0565$	0,99	-0,9	0
123456	б	XO	$y = 0$	1	0	0
123456	б	ZO	$y = 0$	1	0	0
123456	a	XO	$y = 0$	1	0	0
123456	a	ZO	$y = 0$	1	0	0

2.5 Эскизная проработка

2.5.1 Выбор двигателя

В современной робототехнике могут быть использованы любые типы двигателей, но для данной конструкции наиболее подходящими будут шаговые. Асинхронные не слишком хороши в работе с реверсом или переменными скоростями. Недостаток двигателей постоянного тока – их большая масса. Мощность и вращающий момент таких двигателей на единицу массы очень малы.

Шаговые двигатели по конструкции являются синхронными и имеют все их достоинства и недостатки, но эти двигатели открывают широкие возможности для их установки, если речь идет о малых перемещениях. Шаговые двигатели позволяют с высокой точностью преобразовывать цифровой электрический сигнал непосредственно в дискретные угловые перемещения (шаги) ротора.

Сейчас, с развитием микропроцессорной технологии, применение шаговых двигателей с каждым годом становится все более разнообразным и популярным. Это связано с тем, что шаговые двигатели обладают рядом особенностей, отличающих их от других типов двигателей:

Двигатель поворачивается за каждый импульс управления на определенный фиксированный угол. Чем меньше шаг, тем большая частота вращения может быть достигнута. Шаговые двигатели могут обеспечить маленький шаг (до 1000 шагов за один оборот).

Шаговые двигатели могут обеспечить высокую точность частоты вращения. Двигатели конструируют так, чтобы в ответ на входной импульс они поворачивались на определенный угол и останавливались в определенном положении.

Отношение электромагнитного момента к моменту инерции для шаговых двигателей выше, чем для обычного электрического двигателя. Дело в том, что шаговые двигатели в ответ на поступление входного импульса или последовательности импульсов должны двигаться с максимальным ускорением и быстро останавливаться при прерывании последовательности импульсов.

В нашем случае используется шарико-винтовая передача Hiwin диаметром $d=12$ мм и шагом $p=4$ мм, резьба однозаходная.

Рассчитаем крутящий момент

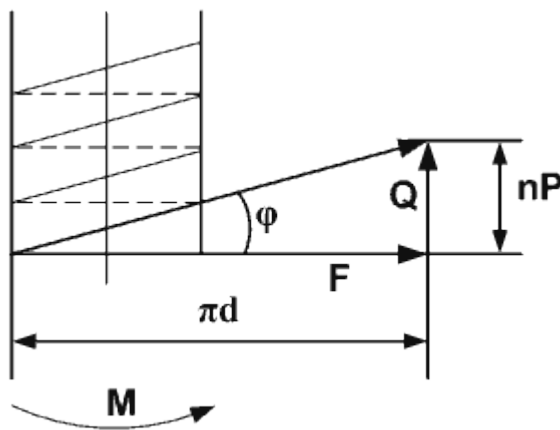


Рис.2.19. Расчет крутящего момента

$$M = \frac{Fd}{2} = \frac{1}{2}Qdtg\varphi,$$

$$F=Qtg\varphi$$

$$M = \frac{1}{2}Qdtg\varphi,$$

$$F = ma$$

$$M=50\text{кг}, a=0,5\text{мм/с}^2.$$

$$F = 25 \text{ Н}$$

$$M = \frac{Fd}{2} = 0.21 \text{ Н} \cdot \text{м} = 2,14 \text{ кг} \cdot \text{см},$$

Для рассматриваемого механизма наиболее подходящим является шаговый двигатель модели FL57ST (рисунок 3.2).

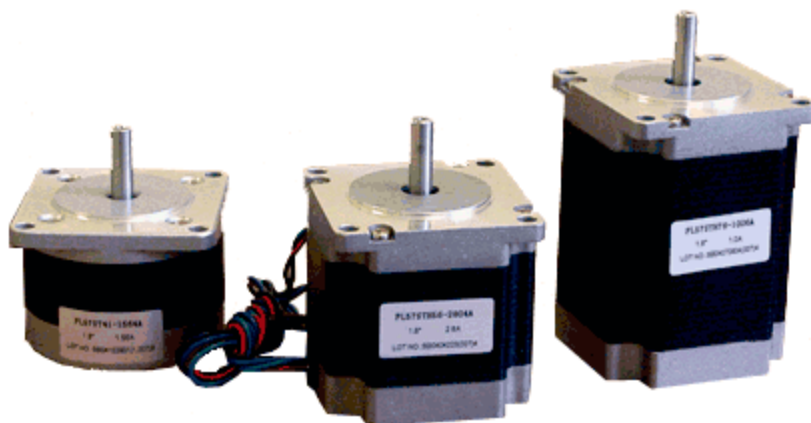


Рис.2.20. Шаговые двигатели FL57ST

Отличие шаговых двигателей FL57ST в их конструктивном исполнении. Магнитная система двигателей FL57ST заключена в стальной стакан, что делает их менее чувствительными к внешним электромагнитным помехам. Серия FL57ST является аналогом известных еще с довоенных времен двигателей ДШИ-200. Блоки управления — SMSD-3.0, допускается использование SMD-42. Программа MACH2 позволяет использовать двигатели в качестве привода гравировально-фрезерного станка с ЧПУ, осуществляя операции импорта из файлов DXF и LPT.

Технические характеристики приведены ниже:

- Величина полного шага, град: 1,8
- Погрешность углового шага, град: 0,09
- Погрешность сопротивления обмоток двигателя, %: 10
- Погрешность индуктивности обмоток двигателя, % 20

- Максимальное радиальное биение вала двигателя, мм: 0,02

Блок управления шаговым двигателем SMD-40 предназначен для управления двух и четырехфазными гибридными шаговыми двигателями серии FL20, FL28, FL35, FL39, FL42, FL57, FL86 с током фазы до 4,2А. Блок обеспечивает высокую точность, высокую скорость и низкий уровень вибрации. Область применения: приборостроение, робототехника и др.

Блок управления оснащен дифференциальными входами, которые позволяют увеличить устойчивость к помехам и сделать интерфейс более гибким. Интерфейс позволяет принимать однонаправленные управляющие сигналы от контроллера.

Для питания блока могут использоваться стабилизированные и нестабилизированные источники питания постоянного тока.

С помощью блока управления можно дробить шаг до 1/128, а также есть возможность установить ток удержания (половина/полный от значения рабочего тока).

2.5.2 Выбор шарнирных опор

Шарнирные опоры будут реализованы с помощью шарнирных подшипников сопряженных со штангами. Шарнирные подшипники - это подшипники скольжения, внутренние и наружные кольца которых имеют поверхности скольжения сферической формы. Исходными данными для выбора шарнира является несущая способность, диаметр и максимальный угол поворота. Так как нагрузки, действующие на опоры предварительно не известны, выберем шарнир для моделирования по максимальному углу поворота.

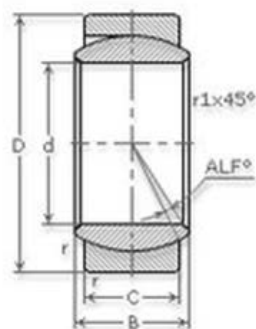


Рис.2.21. Конструктивная схема подшипника 3ШЛТ17

Технические характеристики подшипника:

- D - Диаметр внешний – 47 мм
- d – Диаметр внутренний – 17 мм
- Масса – 0,267 кг
- Грузоподъемность динамическая – 91160 Н
- Грузоподъемность динамическая – 303880 Н
- ALF – 31 град

2.5.3 Выбор датчиков положения

Датчики положения предназначены для бесконтактного или контактного определения положения объекта, индикации его попадания в зону срабатывания и выдачи релейного или аналогового сигнала, пропорционального расстоянию до объекта. Установка данного датчика в области рабочего инструмента позволит регулировать положение механизма, когда он будет находиться в непосредственной близости с объектом измерения/обработки. Выделяются следующие типы датчиков положения:

- Индуктивные датчики положения
- Фотоэлектрические датчики положения
- Магнитные тахометрические датчики положения

- Герконовые датчики положения
- Емкостные датчики положения
- Ультразвуковые датчики положения
- Механические датчики положения

В контексте поставленной задачи выбор пал на датчик VT12T-2N112 (рис.2.22).



Рис.2.22. Датчик положения VT12T-2N112

Датчик обладает следующими техническими характеристиками:

- Тип датчика: прямое отражение от объекта
- Минимальное рабочее расстояние, м: 0
- Максимальное рабочее расстояние, м: 0.115
- Напряжение питания, В: 10...30 В DC
- Источник излучения: ИК диод
- Частота переключений, кГц: 0.400 106
- Рабочая температура, °C: -25...70
- Габаритные размеры, мм: M12x1
- Производитель: SICK

Заключение

Основные результаты главы заключаются в следующем:

- 1) Спроектирована модель устройства без конструктивной проработки для дальнейших исследований движения выходного звена.
- 2) Разработана математическая модель определения траектории перемещения выходного звена в зависимости от перемещения ползунов методом аппроксимации.
- 3) Вычислены максимальные смещения и повороты платформы. Путем построения зависимости и расчёта законов движения конструкции с точки зрения кинематики была подготовлена подготовительная работа для построения динамической модели.
- 4) Была произведена конструктивная проработка принципиальной схемы. Выбраны шаговые двигатели, датчики положения, а так же подшипники. Также были конструктивно проработаны следующие узлы, такие как шаровая опора и подвижная платформа.

3 Динамика

В разделе динамика будет построена и исследована математическая модель механизма. Целью построения является определение оптимальных динамических параметров устройства.

Принципиальная схема, которая будет использована для дальнейших исследований, представлена на рисунке 3.1.

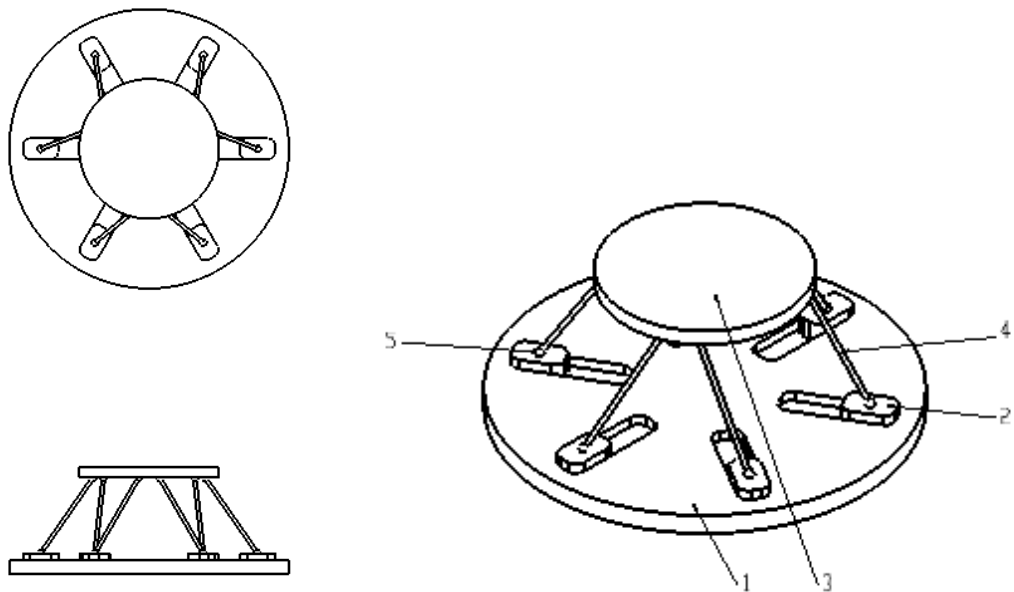


Рис.3.1. Принципиальная схема устройства

На основании 1 имеются пазы под ход ползунов 2, в каждом из которых установлен сферический шарнир 5 жестко соединенный со штангой 4. Эти штанги также посредством сферического шарнира соединены с платформой 3, которая имеет массу m . Ползун имеет возможность поступательно перемещаться вдоль паза, толкая штангу и двигая, таким образом, платформу.

Для облегчения расчетов, механизм расположен таким образом, чтобы штанги при проецировании на плоскость составили три пары (рис.3.2).

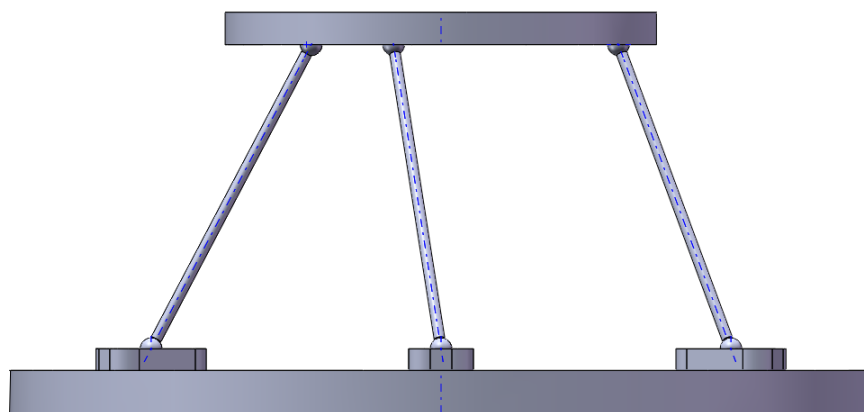


Рис.3.2. Вид расположения механизма

Для упрощения было принято, что перемещается только одна штанга управляемая двигателем. Штанги представлены как пружины жесткостью c и вязкостью a . Таким образом, при движении одного ползуна, площадка изменяет свое положение под действием силы упругости, возникающей в сжатой пружине. При этом остальные штанги так же взаимодействуют с площадкой как пружины. В итоге имеем систему, которая представляет собой площадку на шести пружинах, и на одну из них подается единичный импульс. То есть схема устройства будет выглядеть следующим образом (рис.3.3)

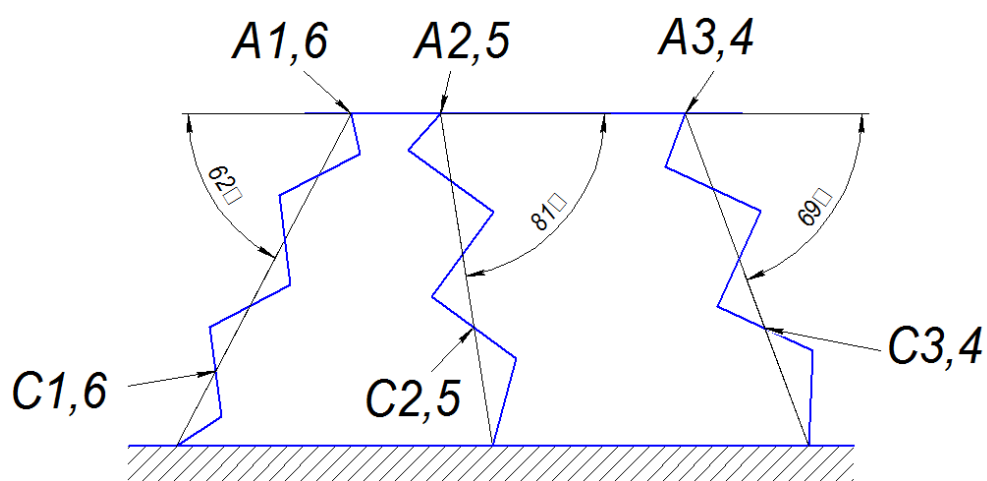


Рис.3.3. Схема устройства с точки зрения динамики

Приведем все пружины в одну плоскость, используя известные нам углы. Получаем что:

$$c_{1п} = C_1 * \sin 62$$

$$c_{2п} = (C_2 + C_5) * \sin 81 + (C_3 + C_4) * \sin 69 + C_6 * \sin 62$$

$$a_{1п} = A_1 * \sin 62$$

$$a_{2п} = (A_2 + A_5) * \sin 81 + (A_3 + A_4) * \sin 69 + A_6 * \sin 62$$

Получим:

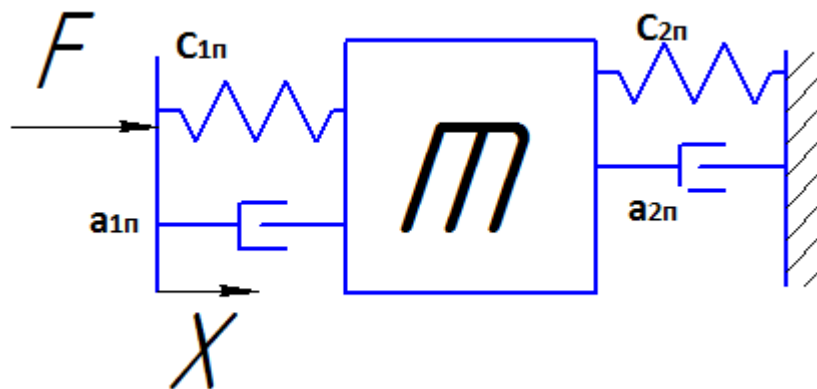


Рис.3.3. Математическая модель

Описывая модель с точки зрения математики, было получено следующее тождество:

$$c_1(x_B - x) + (v_B - v)a_1 = ma + a_2v + c_2x$$

c_1 — приведенная общая жесткость 1 штанги с шарнирами

c_2 — приведенная общая жесткость 2,3,4,5,6 штанг с шарнирами

x_B — перемещение 1 штанги

x — перемещение площадки

v_B – скорость перемещения 1 штанги

v – скорость перемещения площадки

a_1 – приведенная общая вязкость для 1 штанги с шарнирами

a_2 – приведенная общая вязкость для 2, 3, 4, 5, 6 штанг с шарнирами

m – масса площадки

a – ускорение, получаемое площадкой

Исходя из уравнения, можно составить структурную схему. Она представлена схема (рис):

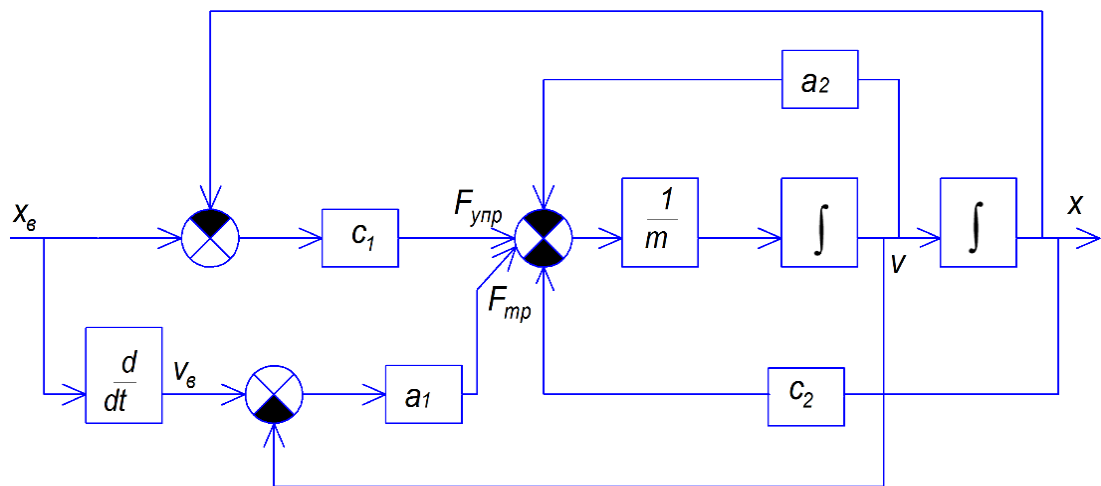


Рис.3.4. Математическая модель

Для проведения исследований необходимо определить входные параметры жёсткостей, массы и вязкостей. Необходимо найти значения коэффициентов жесткости и вязкости для одной штанги.

Жесткость штанги будет состоять из суммы жесткости двух шарнирных опор (по одной на каждом из концов штанги) и самой штанги.

Суммарная жесткость находится по формуле:

$$\frac{1}{c_o} = \frac{2}{c_{шo}} + \frac{1}{c_{ш}}$$

Жесткость штанги определяется по формуле, выраженной из закона Гука:

$$c_{ш} = \frac{F}{x}$$

F – сила приложенная к штанге

x – перемещение конца штанги под действием силы

Сила в данном уравнении – величина известная. Перемещение можно определить с помощью CAE дополнения SolidWorks Simulation, приложив эту силу к штанге. Схема приложения силы показана на рисунке 3.5.



Рис.3.5. Схема приложения силы

Конец штанги переместился на 0,07 мм.

$$c_{ш} = \frac{50}{0,000007} = 7,1 * 10^6 \frac{Н}{м}$$

Теперь необходимо определить жесткость шарнирных опор. Выбранная нами шарнирная опора представляет собой сферический подшипник скольжения 3ШЛТ13. Жесткость данного подшипника будет различной в зависимости от режима работы и углового положения штанги. Анализуются 2 случая: нормальная и касательная контактные жесткости.

Поверхности подшипника взаимодействуют выступами шероховатости. Контакт шероховатостей можно представить, как контакт двух идеально гладких сфер, рисунок 3:

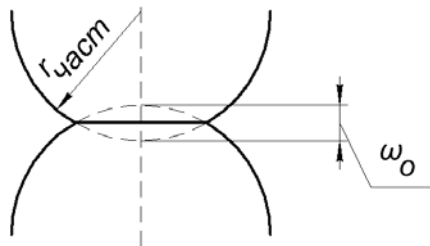


Рис.3.6. Контакт двух идеально гладких сфер

Деформация, которая возникает между идеальными сферами с гладкой поверхностью:

$$\omega_o = 2 \left[\frac{3f_n(1 - \nu_{\text{част}})}{8G_{\text{част}}r_{\text{част}}^{1/2}} \right]^{\frac{2}{3}}$$

G_o - деформация

f_n – нормальная сила

$\nu_{\text{част}}$ – коэффициент Пуассона материала

$G_{\text{част}}$ – модуль сдвига материала

$r_{\text{част}}$ – радиус сферы

$$\omega_0 = 2 \left[\frac{3 * 50(1 - 0,28)}{8 * 79,3 * 10^9 * (1,26 * 10^{-6})^{1/2}} \right]^{2/3} = 6,27 * 10^{-5} \text{ м}$$

Контактная жесткость в направлении нормальной поверхности контакта K_n определяется по формуле:

$$K_n = \left[\frac{3r_{\text{част}}G_{\text{част}}^2}{(1 - \nu_{\text{част}})} f_n \right]^{1/3}$$

$$K_n = \left[\frac{3 * 1,26 * 10^{-6} * (79,3 * 10^9)^2}{(1 - 0,28)} 50 \right]^{1/3} = 1,02 * 10^6 \text{ Н/м}$$

Касательная составляющая контактной жесткости:

$$K_t = \frac{2(1 - \nu_{\text{част}})}{2 - \nu_{\text{част}}} \left(1 - \frac{f_t}{f_n \tan \varphi_{\text{int}}} \right)^{1/3} K_n$$

$$K_t = \frac{2(1 - 0,28)}{2 - 0,28} \left(1 - \frac{0,1}{50 * \tan 30} \right)^{1/3} * 1,02 * 10^6 = 55809 \text{ Н/м}$$

Следовательно, общая жесткость, состоящая из жесткостей последовательно соединенных: нормальная контактная жесткость, касательная контактная жесткость, жесткость штаги, жесткость в случае минимального зазора.

Суммарная жесткость:

$$\frac{1}{c_0} = \frac{2}{c_{\text{шо}}} + \frac{1}{c_{\text{ш}}} = 42267 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$$

Так как все привода имеют одинаковое конструктивное исполнение, принимается, что:

$$c_1 = c_2 = c_3 = c_4 = c_5 = c_6 = c_0$$

Найдем численные значения жесткостей $C_{1п}$ и $C_{2п}$:

$$C_{1п} = 42267 * 0,88 = 37194 \frac{H}{м}$$

$$C_{2п} = (42267 * 2) * 0,98 + (2 * 42267) * 0,93 + 42267 * 0,88 = 198643 \frac{H}{м}$$

Коэффициент вязкости определяется исходя из коэффициента затухания, равного 0,3. Формула коэффициента затухания:

$$\zeta = \frac{a}{2\sqrt{cm}}$$

$$a = 2\sqrt{cm} * \zeta$$

$$a_{1п} = 0,3 * 2 * \sqrt{37194 * 5} = 258$$

$$a_{2п} = 0,3 * 2 * \sqrt{198643 * 5} = 597$$

Расчетные данные необходимо подставить в математическую модель и провести исследования в Matlab Simulink. Проведем три эксперимента, с использованием различных коэффициентов вязкого трения.. На входное звено подается импульс, в результате график перемещения выходного звена отображен на рисунке 3.7.

Проведя анализ графика, можно заметить, что минимальное время переходного процесса наблюдается на третьем эксперименте (голубая линия на рис.3.7). Исходя из этого выбираем смазывающую жидкость, коэффициент вязкости которой максимально приближен к расчетному, и повторим эксперимент (рис.3.8).

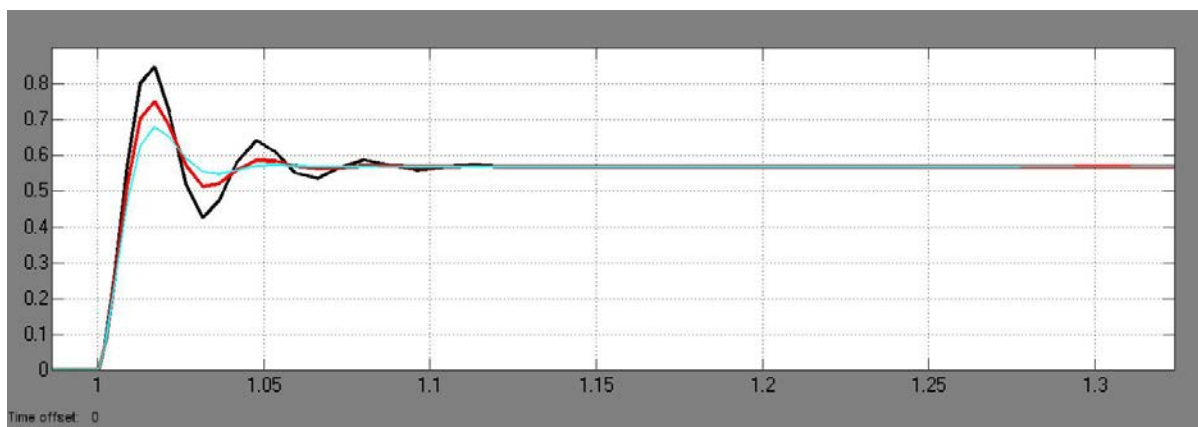


Рис.3.7. График перемещения выходного звена после подачи импульса

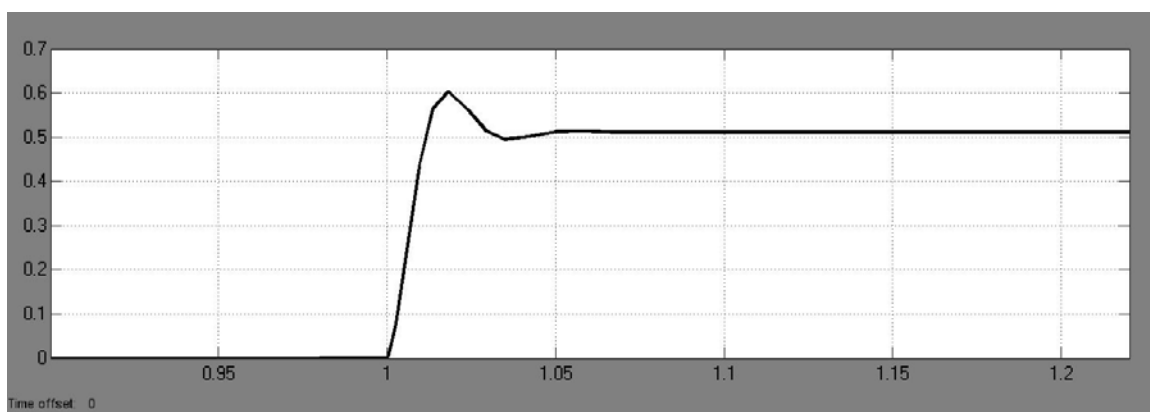


Рис.3.8. График перемещения выходного звена после подачи импульса

Заключение:

Ниже приведены основные выводы этой главы:

- 1) Построена и исследована математическая модель 5D-механизма с точки зрения динамики на стадии разработки.
- 2) Вычислены и скорректированы динамические параметры системы, такие как жесткость и коэффициент вязкого трения.
- 3) Определено поведение системы в случае подачи импульса на входное звено. Из графика на рисунке 3.8. видно, что установившийся режим при выбранном коэффициенте вязкого трения в системе наступает через 0,06 секунд.

4 Социальная ответственность

4.1 Анализ установки и полезные факторы для человечества

Устройство представляет собой механизм, обеспечивающий шесть степеней свободы выходному звену (платформе). Платформа и основание устройства связаны между собой шестью штангами (тягами), один из концов которых закреплен на ползуне, для которого имеется паз в основании, ограничивающий ход ползуна. Штанга соединена с ползуном и платформой сферическими шарнирами. Принципиальная схема устройства, представлена на рисунке 1. Платформа предназначена для перемещения ее центральной точки к специальному соплу - «печатающей» головки с нагревателем, через которую 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.

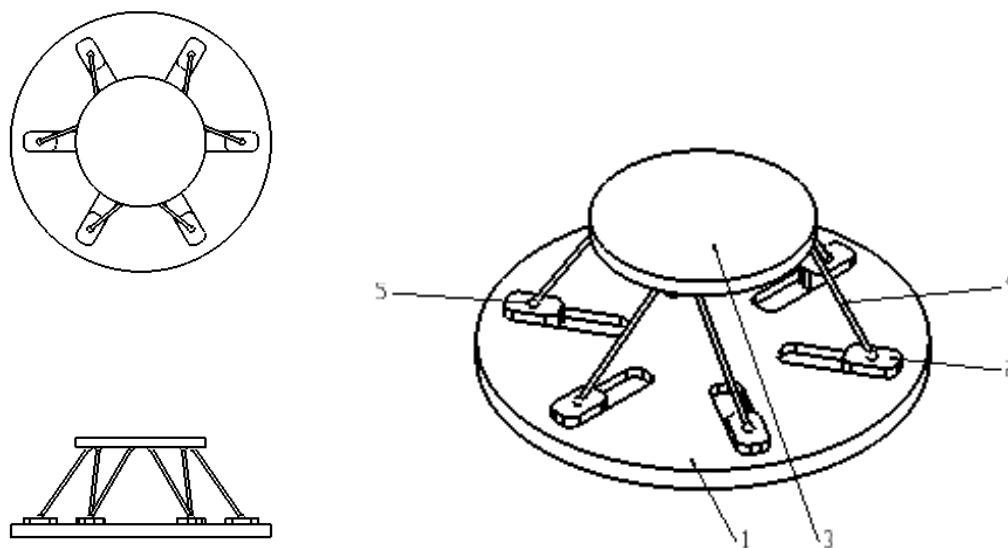


Рис.4.1. Принципиальная схема устройства

Вообще, 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.

Сейчас технология 3D-печати активно внедряется в разные отрасли, но подробнее хотелось бы остановиться на медицине. В современном мире происходит достаточно большое количество аварий, катастроф, несчастных случаев и т.п., после чего люди могут получить серьезные травмы. Главное 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.

Дело в том, что, если с изготовлением различных изделий промышленность долгое время справлялась и без 3D-принтеров, то технологий, способных эффективно заменить биомедицинскую 3D-печать, просто не существует. Из последних достижений в этой сфере можно выделить группу английских ученых, которым удалось напечатать глазные клетки, а ранее подобная технология использовалась для печати зрелых клеток центральной нервной системы. А печать протезов практически стало чем-то обыденным! С одними только протезами рук, распечатанными на 3D-принтере, ходит уже порядка 8000 человек, как взрослых, так и детей.

4.2 Заслуги работодателя по организацию работы

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.

4.3 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.

4.4 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 (табл.4.1).

Табл.4.1.

нормативы ГОСТ 12.1.005-88

Наименование норм	Оптимальная		Допустимая	
	зимний период	летний период	зимний период	летний период
1.Температура воздуха С.	20-22	20-24	18-25	Не более 22
2.Относит. Влажность %	50-60	50-60	Не более 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.

4.5 Освещенность 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.

4.6 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).

Табл.4.2.

Нормативы уровней искусственной освещенности

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.

4.7 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 -IIa, т.е. это зона, расположенная в помещениях, в которых обращаются твёрдые горючие вещества.

Степень защиты электрооборудования:

- Стационарное IP44,
- Передвижное IP54,
- Светильник IP20.

4.8 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.

4.9 Организационные меры по обеспечению пожарной безопасности

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.

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 реагирующее на дым.

4.10 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.

Табл. 4.3.

Перечень вредных веществ, подлежащих контролю в воздухе производственных помещений

Вещество	Технологический процесс	ПДК, мг/м ³	Класс опасности
Аммиак	Диазوكопирование (светокopирование)	20,0	4
Азота оксид (в пересчете на NO ₂)	Диазокopирование (светокopирование), 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	Диазокopирование (светокopирование), 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

Заключение

В данной главе была произведена оценка разрабатываемого устройства с точки зрения полезных факторов для человечества. Было определено, что наибольший вклад механизм может внести в сферу медицины, а именно в 3D-печати протезов. Также были рассмотрены вопросы микроклимата, освещенности на рабочем месте и требования к ее организации, анализ пожаро-взрывоопасности и средства пожаротушения и медикопрофилактическое обслуживание работников и проведение медицинских осмотров.

5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

5.1 Общие сведения о научном исследовании

Цель данной диссертации 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.

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

Необходимо понимать, что коммерческая привлекательность научного исследования определяется не только превышением технических параметров над предыдущими разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сумеет найти ответы на такие вопросы – будет ли продукт востребован рынком, какова будет его цена, каков бюджет научного проекта, какой срок потребуется для выхода на рынок и т.д.

Таким образом, целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является проектирование и создание конкурентоспособных разработок, технологий, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований;
- определение возможных альтернатив проведения научных исследований, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- планирование научно-исследовательских работ;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

С учетом решения данных задач была сформирована структура и содержание раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение».

Методические указания содержат описание широкого спектра аналитических инструментов и расчетов. Комплекс инструментов и расчеты, проведение которых необходимо для каждой конкретной бакалаврской работы, определяется, исходя из темы научного проекта, консультантом по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» и регламентируется заданием.

5.2 Потенциальные потребители результатов исследования

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

Целевой рынок: машиностроительные компании и заводы.

		Вид компании		
		Медицина	Машино- строение	Строительство
Размер компании	Большая			
	Средняя			
	Маленькая			

Рис.5.1. 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.

5.3 Анализ конкурентных технических решений

Т.к. внедрение устройства предполагается произвести в компании всех размеров, то целесообразно произвести анализ предлагаемого устройства с уже используемыми устройствами.

Табл.5.1.

Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Б2к	Б1к	К2к	К2к

1	2	3	5	6	7
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
1. Точность	5	5	4	25	20
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	8	8	8	64	64
3. Надежность	5	5	4	25	20
4. Регулировка	5	5	3	25	15
5. Безопасность	8	7	7	56	56
6. Скорость работы	10	8	9	80	90
7. Точность позиционирования	8	8	8	64	64
Экономические критерии оценки эффективности					
1. Конкурентоспособность продукта	10	9	10	90	100
2. Уровень проникновения на рынок	7	4	5	28	35
3. Цена	8	6	6	48	48
4. Предполагаемый срок эксплуатации	8	6	5	48	40
5. Послепродажное обслуживание	4	4	4	16	16
6. Срок выхода на рынок	4	1	2	4	8
Итого	100	76	75	573	576

По оценочной карте видно, что модернизированное устройство является конкурентоспособным, так как по многим показателем превосходит своего конкурента. Главным достоинством данного устройства является его повышенное количество степеней свободы и скорость работы конечного узла.

5.4 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.

Табл.5.2

Матрица SWOT

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Повышенный объем рабочей зоны.	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Более высокая себестоимость.
--	---	---

	С2. Быстрая скорость просчета траектории. С3. Быстродействие, уменьшение времени восстановления системы. С4. Простота эксплуатации. С5. Надежность, простота обслуживания, благодаря универсальным элементам.	Сл2. Трудоемкость монтажа. Сл3. Увеличение габаритов.
Возможности: В1. Быстрое продвижение на рынок. В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт В3. Усовершенствование устройства	В1С1С2С3С4С5 – быстрое продвижение на рынок в связи с преимуществами данного устройства. В2С1С2С5- дополнительный спрос может появиться за счёт универсальности устройства. В3С2 – усовершенствование устройства за счёт его переналадки и возможности адаптации к различным станкам.	В1Сл3 – может не быть быстрого продвижения на рынок так как ранее продукт не продавался, и потребители не знают о нем. В2Сл1Сл2Сл3 – появление дополнительного спроса может быть мало из-за несовершенства устройства.
Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства. У2. Кризис У3. Незаинтересованность потребителей в разработке	У2С1С3С4 – возможность конкурировать в связи с хорошими показателями основных характеристик.	У1Сл1 – из-за более высокой себестоимости могут возникнуть проблемы с продажей данного устройства.

Табл.5.3

Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		С1	С2	С3	С4	С5
	В1	+	+	+	+	+
	В2	+	+	-	-	+
	В3	-	+	-	-	-

Табл.5.4

Интерактивная матрица проекта

Слабые стороны проекта				
Возможности		Сл1	Сл2	Сл3

проекта	B1	-	-	+
	B2	+	+	+
	B3	0	0	0

Табл.5.5

Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта						
Угрозы		C1	C2	C3	C4	C5
	Y1	-	-	-	0	-
	Y2	+	-	+	+	-
	Y3	0	0	0	0	0

Табл.5.6

Интерактивная матрица проекта

Слабые стороны проекта				
Угрозы		Сл1	Сл2	Сл3
	Y1	+	0	+
	Y2	+	0	+
	Y3	+	0	0

5.5 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

Морфологический подход основан на систематическом исследовании всех теоретически возможных вариантов, вытекающих из закономерностей строения (морфологии) объекта исследования. Синтез охватывает как известные, так и новые, необычные варианты, саша моя которые при простом переборе могли быть упущены. Путем комбинирования вариантов получают большое количество различных решений, ряд которых представляет практический интерес.

При изготовлении данного устройства возможны два варианта исполнения. Эти варианты представлены в табл.5.7.

Табл.5.7

Морфологическая матрица для 5D-принтера

	1	2
--	---	---

А. Материал столика	Сталь	Алюминий
Б. Тип передачи движения	Ременная передача	Шарико-винтовая передача
В. Тип двигателей	Постоянного тока Махон	Шаговый FL57ST

Варианты решения задачи:

Выходное звено в виде платформы в форме диска, выполненного из стали, в качестве механизма передачи движения используется ременная передача, установлены шаговые двигатели FL57ST – исполнение 1.

Выходное звено в виде платформы в форме диска, выполненного из алюминия, в качестве механизма передачи движения используется шарико-винтовая передача, установлены двигатели постоянного тока Махон со встроенным редуктором и энкодерами – исполнение 2.

5.6 Планирование научно-исследовательских работ

5.6.1 Структура работ в рамках научного исследования

Табл.5.8

Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб		Должность исполнителя
Разработка техническо задания	1	Составление и утверждение техническо задания	Руководитель
Выбор направлен исследований	2	Изучение материалов по теме	Студент
	3	Проведение патентного обзора	Студент
Теоретические экспериментальные исследования	4	Составление кинематической схемы	Студент
	5	Выполнение расчетов	Студент
	6	Построение модели	Студент
	7	Динамический расчет	Студент
Проведение ОКР			

Разработка технологической документации	8	Разработка чертежей деталей	Студент
	9	Разработка сборочных чертежей	Студент
	10	Заполнение технологической документации	Студент
Оформление отчета	11	Заполнение пояснительной записки	Студент

5.6.2 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:

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{мин}i} + 2t_{\text{макс}i}}{5},$$

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

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

$t_{\text{макс}i}$ – 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 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}, \quad (2)$$

где T_{pi} – 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.

Табл.5.9

Ожидаемое время выполнения работы

Основные этапы	№ раб		$t_{ож}$, чел.-дн.
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	3,2
Выбор направления исследований	2	Изучение материалов по теме	9,8
	3	Проведение патентного обзора	3,8
Теоретические и экспериментальные исследования	4	Составление принципиальной схемы	3,2
	5	Построение расчётной схемы и математической модели	3,2
	6	Выполнение расчётов	7
	7	Исследование математической модели	9,8
	8	Оформление статьи	9,8
Оформление отчета	9	Заполнение пояснительной записки	4,6
Итого:			54,4

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

5.6.3 Разработка графика проведения научного исследования.

Строится график проведения научного исследования в форме диаграммы Гранта.

Для удобства построения, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней необходимо перевести в календарные дни.

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}},$$

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:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}},$$

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.

Результаты расчетов приведены в табл.5.10

Табл.5.10

Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работ			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях T_p	Длительность работ в календарных днях T_k
	$t_{\min}$	$t_{\max}$	$t_{\text{ож}}$			
Составление и утверждение ТЗ	2	5	3,2	Руководитель	3,2	5
Изучение материала по теме	7	14	9,8	Студент	9,8	15
Проведение патентного обзора	3	5	3,8	Студент	3,8	6
Составление принципиальной схемы	2	5	3,2	Студент	3,2	5
Построение расчётной схемы и математической модели	2	5	3,2	Студент	3,2	5
Выполнение расчётов	5	10	7	Студент	7	10
Исследование математической	7	14	9,8	Студент	9,8	15

модели						
Оформление статьи	7	14	9,8	Студент	9,8	15
Заполнение пояснительной записки	3	7	4,6	Студент	4,6	7

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

Табл.5.11

Календарный план-график проведения НИОКР по теме

работ	Вид работ	Исполнители	T_k	Продолжительность выполнения работ						
				арт	Апрель			Май		
	Составление и утверждение технического задания	Руководитель								
	Изучение материалов по теме	Студент								
	Проведение патентного обзора	Студент								
	Составление кинематической схемы	Студент								
	Выполнение расчетов	Студент								
	Построение модели устройств	Студент								

	Оформление патента	Студент								
	Разработка чертежей деталей	Студент								
	Разработка сборочных чертежей	Студент								
0	Заполнение технологической документации	Студент	6							
1	Заполнение пояснительной записки	Студент								

5.6.4 Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

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

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

$N_{расх\ i}$ – 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.

Табл.5.12

Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество		Цена за ед., руб.	Затраты на материалы	
		Исп. 1	Исп. 2		Исп. 1	Исп. 2

Шаговый двигатель	шт.	6	6	4000	24000	24000
ШВП	шт.	3	6	2000	6000	12000
Шатун	шт.	6	6	1000	6000	6000
Шарнир	шт.	6	6	3000	18000	18000
Платформа	шт.	1	1	2000	2000	2000
Станина	шт.	1	1	15000	15000	15000
Направляющие	шт.	1	1	4500	4500	4500
Ремень	шт.	6	3	3200	19200	9600
Итого расходы на материалы:					94700	91100

5.6.5 Основная заработная плата исполнителей.

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.

Табл.5.13

Расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапа	Исполнители	Трудоемкость, чел.-дн	Заработная плата на один чел.-дн., тыс. руб.	Всего заработная плата по тарифу, тыс. руб.
1	Составление и утверждение ТЗ	Руководитель	3,2	1580,61	5057,95
2	Изучение материалов по теме	Студент	9,8	287,7	2819,46
3	Проведение патентного обзора	Студент	3,8	287,7	1093,26
4	Составление принципиальной схемы	Студент	3,2	287,7	920,64
5	Построение расчётной схемы и математической модели	Студент	3,2	287,7	920,64
6	Выполнение расчётов	Студент	7	287,7	2013,9
7	Исследование математической модели	Студент	9,8	287,7	2819,46
8	Оформление статьи	Студент	9,8	287,7	2819,46
9	Заполнение пояснительной записки	Студент	4,6	287,7	1323,42

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

$$Z_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}},$$

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:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p,$$

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

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d},$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

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

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

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (табл. 14).

Табл.5.14

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	48 -	48 -
Действительный годовой фонд рабочего времени	198	198

$$З_{\text{дн1}} = \frac{З_{\text{м}} \cdot М}{F_{\text{д}}} = \frac{30244,32 \cdot 10,4}{198} = 1588,59 \text{ руб.} - \text{зарботная плата руководителя}$$

за 1 день;

$$З_{\text{дн2}} = \frac{З_{\text{м}} \cdot М}{F_{\text{д}}} = \frac{5111,68 \cdot 11,2}{198} = 289,14 \text{ руб.} - \text{зарботная плата студента за 1}$$

день.

$$З_{\text{осн1}} = 1588,59 \cdot 3 = 4765,77 \text{ руб.} - \text{руководитель};$$

$$З_{\text{осн2}} = 289,14 \cdot 51 = 14746,14 \text{ руб.} - \text{студент.}$$

$$З_{\text{зн1}} = 4765,77 + 714,86 = 5480,37 \text{ руб.} \quad - \quad \text{руководитель};$$

$$З_{\text{зн2}} = 14746,14 + 2211,92 = 16958,06 \text{ руб.} - \text{студент.}$$

5.6.6 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:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}}$$

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

$$З_{\text{доп1}} = 0,15 \cdot 4765,77 = 714,86 \text{ руб. – руководитель.}$$

$$З_{\text{доп2}} = 0,15 \cdot 15035,28 = 2211,92 \text{ руб. – студент.}$$

5.6.7 Отчисления во внебюджетные фонды

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

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

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 2014 году водится **а мне норм** пониженная ставка – 27,1%¹.

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

Табл.5.15

Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, р.уб.
Руководитель проекта	4765,77	714,86
Студент-дипломник	14746,14	2211,92
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	27,1%	27,1%

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»

Итого	1485,25+4595,63=6080,88
--------------	--------------------------------

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}) = 27,1\% \cdot (4765,77 + 714,86) = 1485,25 \text{ руб.} -$$

руководитель

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}) = 27,1\% \cdot (1474614 + 2211,92) = 4595,63 \text{ руб.} - \text{ студент-}$$

дипломник

5.6.8 Оплата работ, выполняемых сторонними организациями и предприятиями.

Данные расходы включают 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;
- 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, головным (генеральным) исполнителем которых 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 5.16 представлены исполнители операций по слесарным операциям.

Табл.5. 16

Исполнители операций

№ п/п	Профессия	Количество деталей	Количество работников	Разряд рабочего
2	Инженер	28	1	2

Табл.5.17

Оплата труда сторонних исполнителей

Исполнитель	заработная плата, руб.
Инженер	892,81
Отчисления во внебюджетные фонды	267,84
Итого	1160,65

$$З_{\text{дн}} = \frac{7936 \cdot 11,2}{223} = 398,58 \text{ руб.}$$

$$З_{\text{осн}} = 398,58 \cdot 2 = 797,16 \text{ руб.} - \text{основная зарплата инженера}$$

$$З_{\text{зп}} = 797,16 + 797,16 \cdot 0,12 = 892,81 \text{ руб.} - \text{зарплата инженера}$$

$$З_{\text{внеб}} = 30\% \cdot 892,81 = 267,84 \text{ руб.} - \text{внебюджетные отчисления инженера}$$

5.6.9 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:

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

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

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

5.6.10 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.

Табл.5.18

Расчёт бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.		Примечание
	Исп.1	Исп.2	
1. Материальные затраты НИИ	94700	91100	Пункт 5.6.4
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	19511,91	19511,91	Пункт 5.6.5
3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	2926,78	2926,78	Пункт 5.6.6

4.	Отчисления во внебюджетные фонды	6080,88	6080,88	Пункт 5.6.7
5.	Контрагентские расходы	1160,65	1160,65	Пункт 5.6.8
6.	Накладные расходы	9363,71	9558,91	16 % от суммы ст. 1-5
7.	Бюджет затрат НТИ	133743,93	130743,93	Сумма ст. 1- 6

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

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

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

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

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

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

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

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное

удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля).

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{130743,93}{133743,93} = 0,979 \quad - \quad \text{интегральный финансовый показатель}$$

разработки первого исполнения.

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{130743,93}{130743,93} = 1 \quad - \quad \text{интегральный финансовый показатель разработки}$$

второго исполнения.

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

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

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

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

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

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы (табл. 19).

Табл.5.19

Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,3	5	5
2. Долговечность в использовании	0,3	5	5

3. Регулировка	0,1	5	5
4. Переналадка	0,15	5	5
5. Надежность	0,15	4	3
ИТОГО	1		

$$I_{p-исп1} = 5*0,3 + 5*0,3 + 5*0,1 + 5*0,15 + 4*0,15 = 4,85;$$

$$I_{p-исп2} = 5*0,3 + 5*0,3 + 5*0,1 + 5*0,15 + 3*0,15 = 4,7;$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{испi.}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр.1}}, \quad I_{исп.2} = \frac{I_{p-исп2}}{I_{финр.2}} \text{ и т.д.}$$

$$I_{исп.1} = \frac{4,85}{0,979} = 4,95; \quad I_{исп.2} = \frac{4,7}{1} = 4,7;$$

Сравнение интегрального показателя эффективности, вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (см. табл.20) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{cp}$):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}}$$

Табл.5.20
Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,979	1

2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,85	4,7
3	Интегральный показатель эффективности	4,95	4,7
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	Исп1/Исп2=1,05	Исп2/Исп1=0,94

Из таблицы 20 видно, что наиболее эффективный вариант решения поставленной в магистерской работе технической задачи по многим показателям является исполнение 1.

Заключение

В ходе выполнения раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» был определен целевой рынок, для разрабатываемого 5D механизма. Проведен анализ конкурентов из которого следует, что проектируемое устройство конкурентоспособное. Рассчитаны материальные затраты на изготовление данного устройства, затраты на основной и дополнительной зарплате, отчисления во небюджетные фонды, контрагентные расходы, накладные расходы, на основании которых составлен бюджет затрат на НТИ. Произведена сравнительная характеристика эффективности разработки на основании интегрального показателя эффективности. По результатам таблицы 20 можно сделать вывод о наибольшей эффективности первого исполнения устройства.

Выводы

Основные выводы по проделанной работе:

- 1) В разделе литературный обзор приведена классификация и обзор механизмов с параллельной кинематикой.
- 2) В разделе расчеты и анализ было проведено исследование кинематики предложенного механизма. Определены его предельные положения, а также проведена эскизная проработка с выбором двигателей, шарнирных опор, подшипников, датчиков и т.д.
- 3) В разделе динамика были скорректированы динамические параметры и определена величина переходного процесса при подаче импульса.
- 4) В разделах финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение и социальная ответственность рассчитана стоимость научно технологического исследования для двух исполнений механизма, на основе которой выбрано наиболее экономически выгодное решение. Описаны меры безопасности при данном виде работ, меры по пожарной безопасности.

Список используемых источников

1. Рыбак Л.А., Ержуков В.В., Чичварин А.В. Эффективные методы решения задач кинематики и динамики робота-станка параллельной структуры – 2011
2. Кузнецов Ю.Н. и др. - Компоновки станков с механизмами параллельной структуры 2008
3. Gwinnett, J. T. Amusement devices US Patent No 1, 789, 680, January 20, 1931.
4. Guglielmetti P. Model-Based control of fast parallel robots: a global approach in operational space / P. Guglielmetti // Ph.D. Thesis, EPFL, Lausanne, March, 24, 1994.
5. Neugebauer R., Leopold J., Hoyer K., Stoll A., Kolbig S. Interaction Between Machine tool and process - Modelling Simulation and Identification of milling operations on Hexapod 6X HEXA. Chemnitz 2002.
6. В.И. Анурьев Справочник конструктора-машиностроителя: В 3-х т. Том 1. 8-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2001 г. - 920 с., ил.
7. Справочник технолога-машиностроителя: В 2-х т. Том 1/Под ред. Косиловой А.Г. и Мещерякова Р.К. – М.: Машиностроение, 1985 г. - 656 с., ил.
8. Ансеров М.А. Приспособления для металлорежущих станков расчеты и конструкции 3-е изд., стереотипное. – Л.: Машиностроение, 1966 г. - 652 с., ил.
9. Горбачев А.Ф., Шкред В.А. Курсовое проектирование по технологии машиностроения: Учебное пособие для ВУЗов машиностроительных специальностей – Минск: Высшая школа, 1983 г. - 256 с.
10. Потапов В.А. Возможен ли успех станков новой концепции? СТИН 1996 №3 с.40-45
11. Бушуев В.В., Хольщев И.Г. Механизмы параллельной структуры в машиностроении СТИН. 2001. №1.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Раздел
Английская часть

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8НМ41	Ильин Георгий Александрович		

Консультант кафедры АРМ

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Крауиньш Д.П.	к.т.н.		

Консультант – лингвист кафедры ИЯИК

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Диденко А.В.	к.ф.н.		

Calculation and analysis

1. Schematic diagram of the device

The device is the equipment providing the output link (platform) six degrees of freedom. The platform and the base of device are connected by six barbells. One of them is secured on the slide, for which there is a groove in the base limiting the progress of the slide. The barbell is connected with the slide and the platform through spherical hinges. The schematic device diagram that will be realized without constructive research is shown on Fig.1.

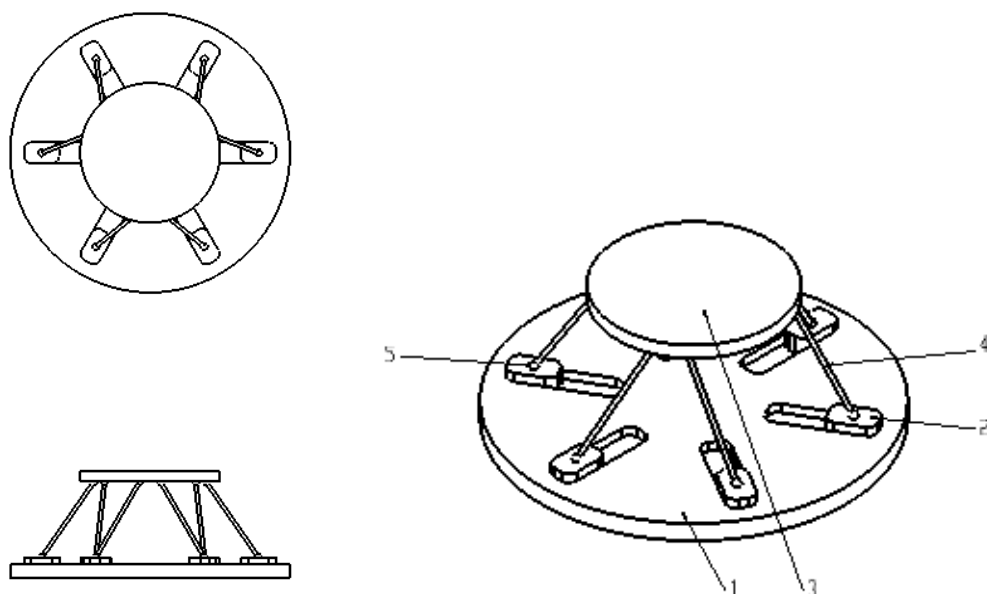


Fig.1. Schematic diagram of device

On the base 1 there are grooves for the passage of slides 2 in each of them there is a spherical hinge 5 connected tight to the barbell 4 which is equally connected to the platform 3 through a spherical hinge. The slide is able to move progressively along the groove pushing the barbell and moving this way the platform.

It is worth noting that the given layout scheme has been realized using rod mount fixing on the system 6x3. It means that on the lower base rod mounts are located along the whole with an equal pitch circle, but on the upper platform they make three groups of rod mounts, everyone of them locating from each other by the same interval. That is clearly seen on the figure presented above.

The following types of driving can be used in such devices as drive units: electro-mechanical (without self-locking or self-locked), electro-hydraulic and electro-magnetic. Accelerometer, speed sensors, power sensors, dynamometers can be used as sensors.

Executive mechanisms can be widely used too, but they need hydro-systems and can cause problems in adverse conditions.

2. Research and mathematic model

In this section motion paths of output level will be searched depending on sliders moving. It is worth making a few reservations:

- special attention must be paid to the coordinate system. Thank to the features of computing environment vertical axis is not Z but Y,
- only five coordinates will be studied (moving along axis X, Y and Z and turn around axis X and Z). Turning round Y axis is not important when the angle is not taken into account of the output link in dependence of this line.
- research will be performed only of typical motions for extreme positions of driving. There is no use testing all variants.

For example, while moving the driving 1 a researcher has two schedules: dependence of platform motion along coordinate axis on moving the driving and dependence of the turn of output link axis round lines X and Z. This research is

valid in the case when driving 4, placed opposite driving 1, is moved but with other symbols. So there is no use repeating the experiment.

It is also worth saying that the centre of the upper platform will be taken for the zero point. The step of each slider is 60 mm.

Modelling and analysis will be performed in the program SolidWorks 2015, using SolidWorksMotion, after that results will be transferred to Excel, the electronic tables for further treatment.

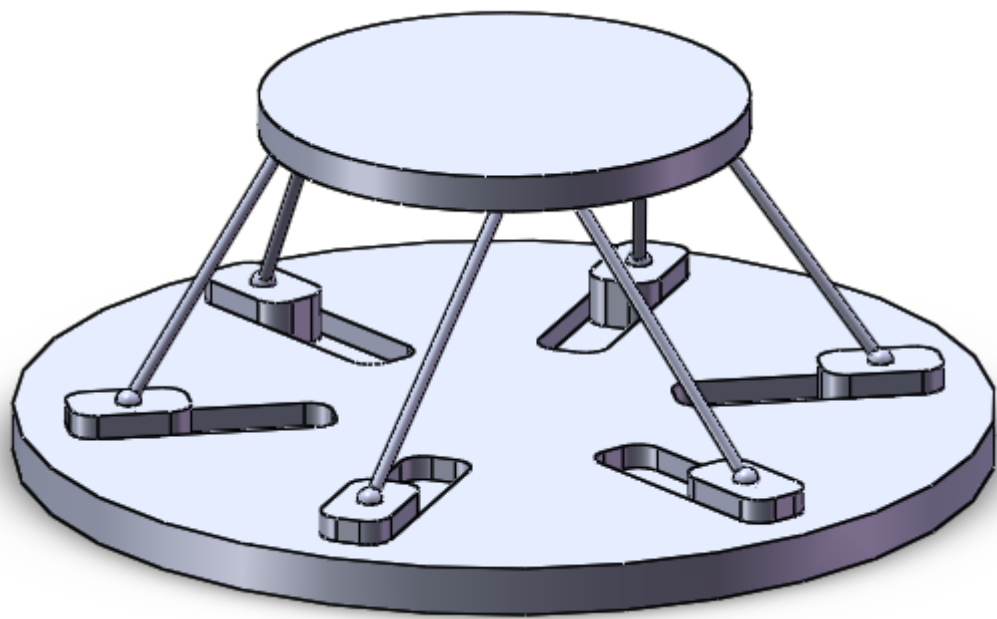


Fig.2. The researched model

The axis Y is directed vertically that means from the base centre, on which slides are located, to the platform centre.

Two investigations are going to be performed for every driving motion:

a) all sliders are located in extreme positions, maximally remote from the base centre, but the chosen slide is moving to the centre (Fig.3);

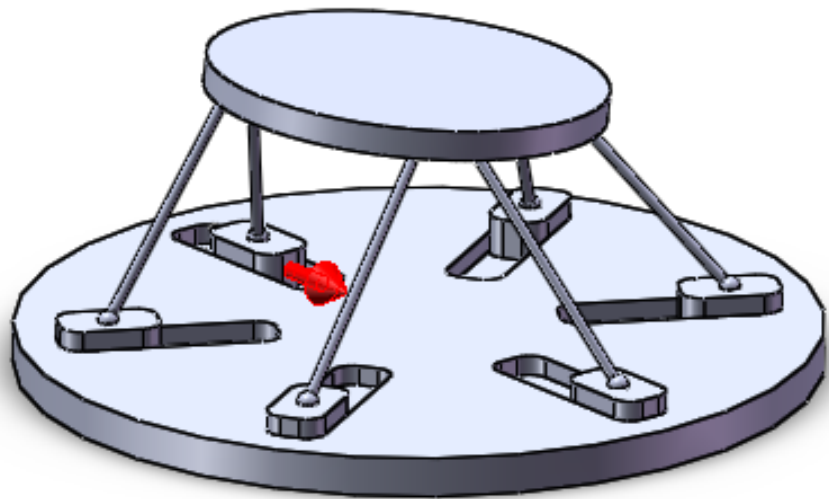


Fig.3. Slide moving to the centre

b) all slides are in extreme positions, nearest to the base centre, but the chosen one is moving from the centre to the periphery (Fig.4)

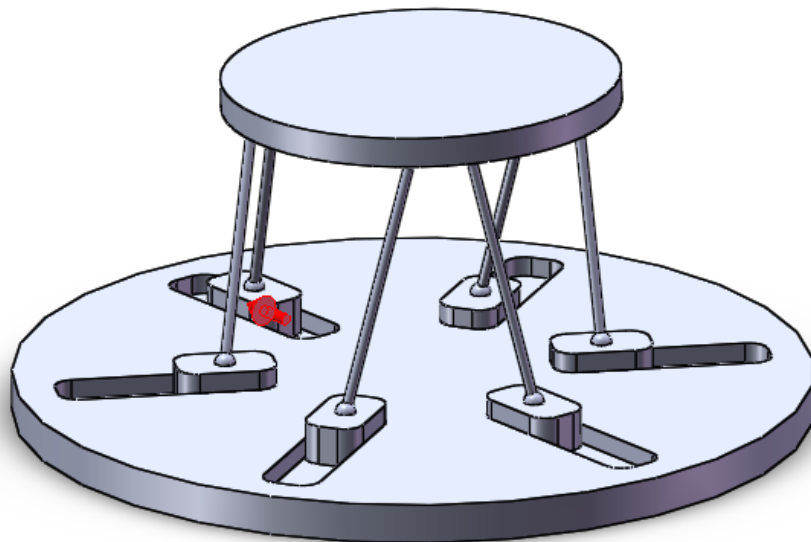


Fig.4. Slide moving from the centre

3.1. One slide motion at a time

The slides will be moved one by one. The slides number 1, 2 and 3 will be moved at a turn because 4, 5 and 6 are located opposite them, so the results will differ only in symbols.

The experiment results for the variant a) (all slides are located in extreme positions maximally removed from the base centre but the one being removed goes from this position to the centre) will be presented first. Variant b (all drive units are located in extreme positions brought maximally closer to the base centre, but the chosen one is moving from the centre to the periphery) comes next. For moving the slide 1 there are the following dependences (Fig.5):

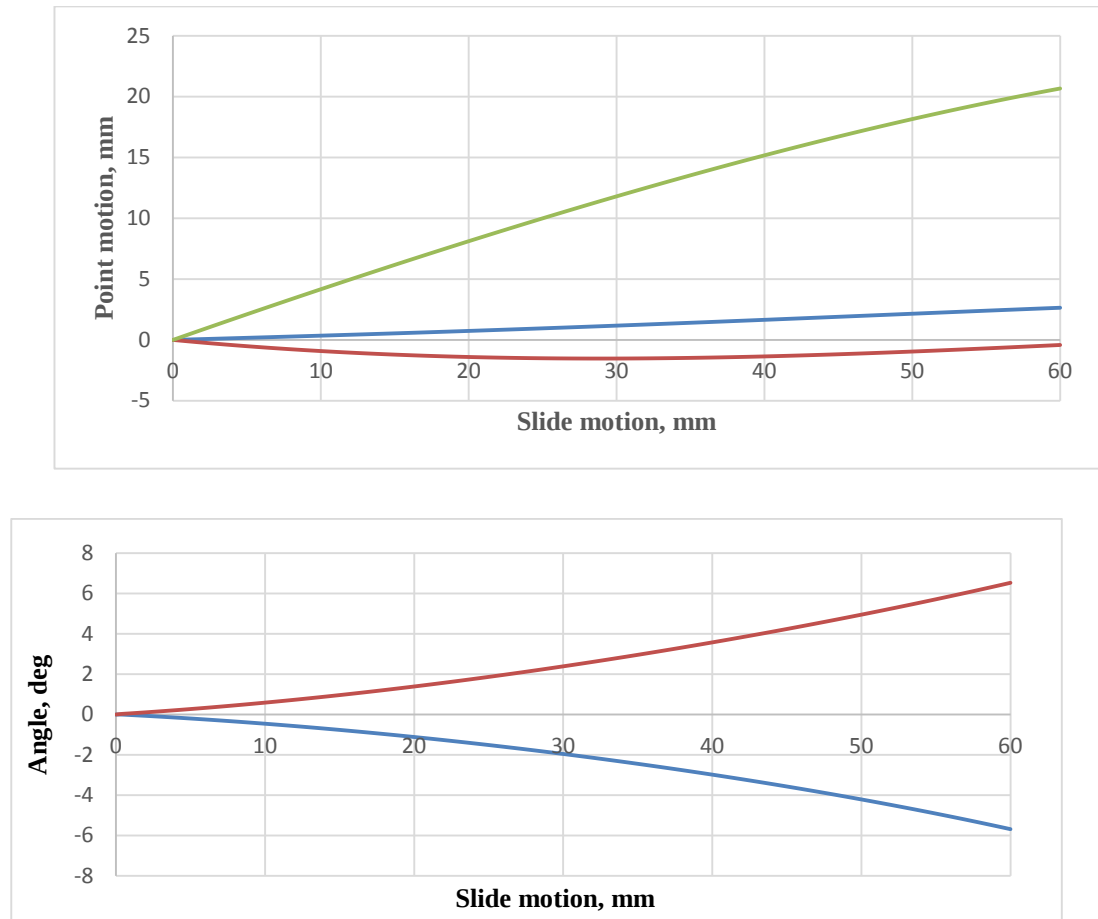


Fig.5. Graphs of motion (up) and turn of the platform by motion of the slide1 (first variant of slides location)

On the graph it can be seen that by given motion of the slide the platform significantly moves along the Z axis, along the X axis, the motion has linear dependence, moving for some 2,5 mm, but along the vertical Y axis the motion has a parabolic feature leaving the zero position and coming back at the end of the experiment, maximal lowering of the platform is 1,5 mm.

As for platform angles changing graph, it is quite simple: both dependences come from the point 0;0 (it is evident considering that from the beginning the platform is parallel to the base) gradually reaching maximum values with the motion of the slide. At the extreme point maximum angle values for a turnover round are the X axis is -5,7 degrees, round Z axis – 6,5.

But those graphs are not informative enough for intermediate values. It is necessary to receive a dependence describing those graphics. Using the approximation function (a scientific method made up of changing some objects through others close to them but simpler), there is an equation describing the necessary curve. Now there are the graphs from the fig.5, where approximation has been already used.

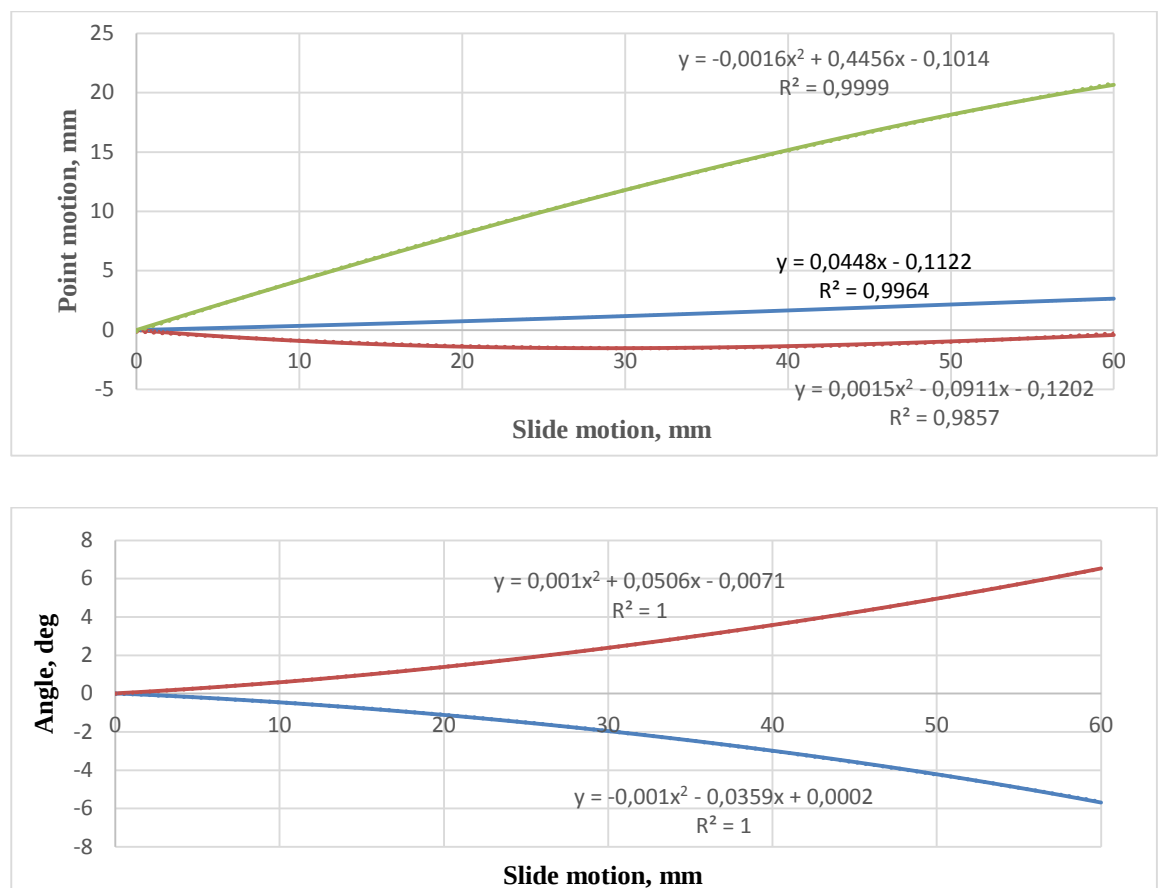


Fig.6.a) Graphs of motion (up) and turn of the platform by slide 1 motion using approximation

Now there are equations describing each curve. A new value has been introduced is R – a coefficient of approximation reliability. As it follows from the name, the reliability coefficient of approximation R^2 shows the degree of correspondence of the trend model to the input. Its meaning can range from 0 to 1. The nearer R^2 is to 1, the more exactly the model describes the data. Watching the graphs more attentively, one can see trend lines, but equations are chosen so exactly that they can not be seen because of the curves describing movement dependences or of turn angle from the slide moving. The trend line needed for approximation can be either polynomial (of some exponent, in our case more often – 2) or linear (that is in fact with a polynomial exponent equal to 1), with sufficient magnitude reliability. The polynomial exponent is higher so the equation describes the curve more exactly. By the approximation reliability coefficient less than 0,98 the polynomial exponent will increase to bring closer the trend line to the described curve.

The variable X in these equations is the position of the slide at the time, when it is necessary to have the coordinate Y of the graph whether it is moving along any of axis or a turn angle.

All equations and approximation reliability coefficients will be presented in Table 1, which is placed at the end of the chapter.

This is how those graphs will look for the second variant of slides disposition:

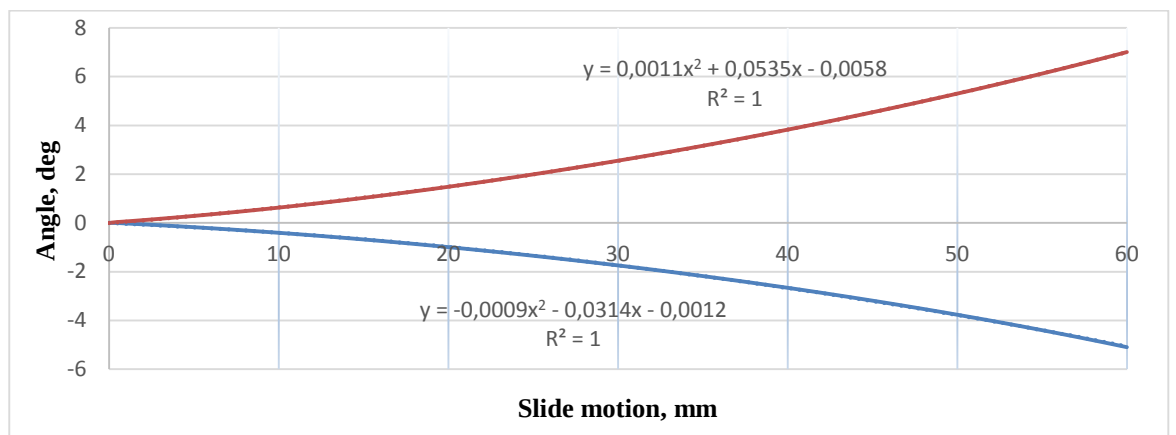
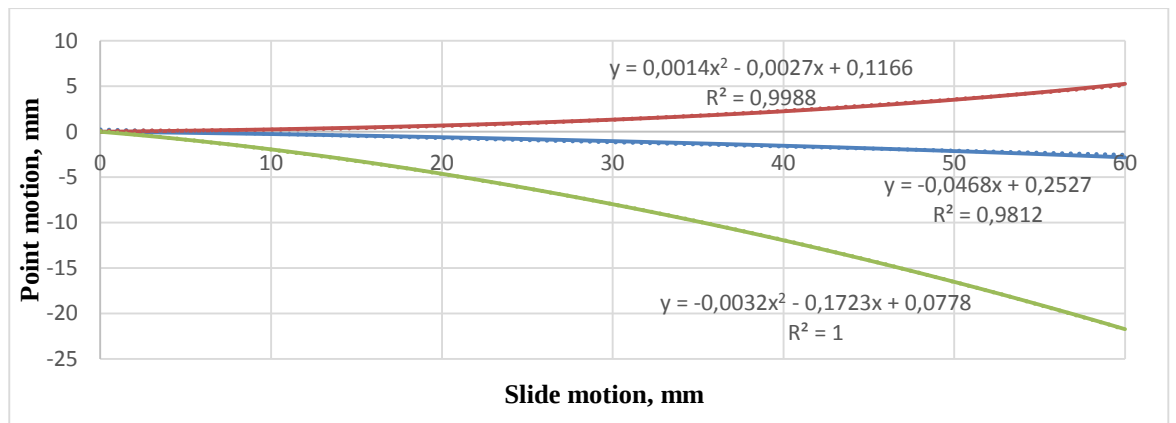
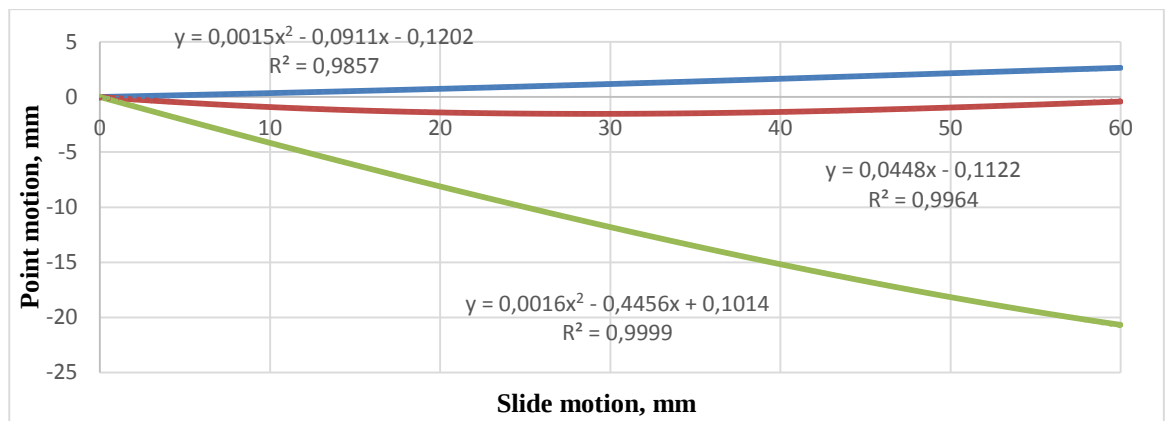


Fig.6.b) Motion graphs (up) and platform turn while slide 1 moving (second variant of slides disposition)

The same operation is made for the second slide motion:



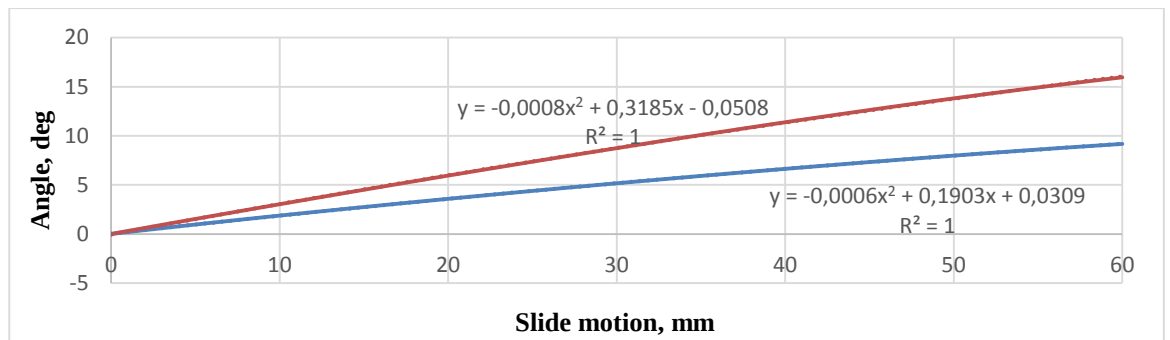


Fig.7.a) Motion graphs and platform turn while slide 2 moving

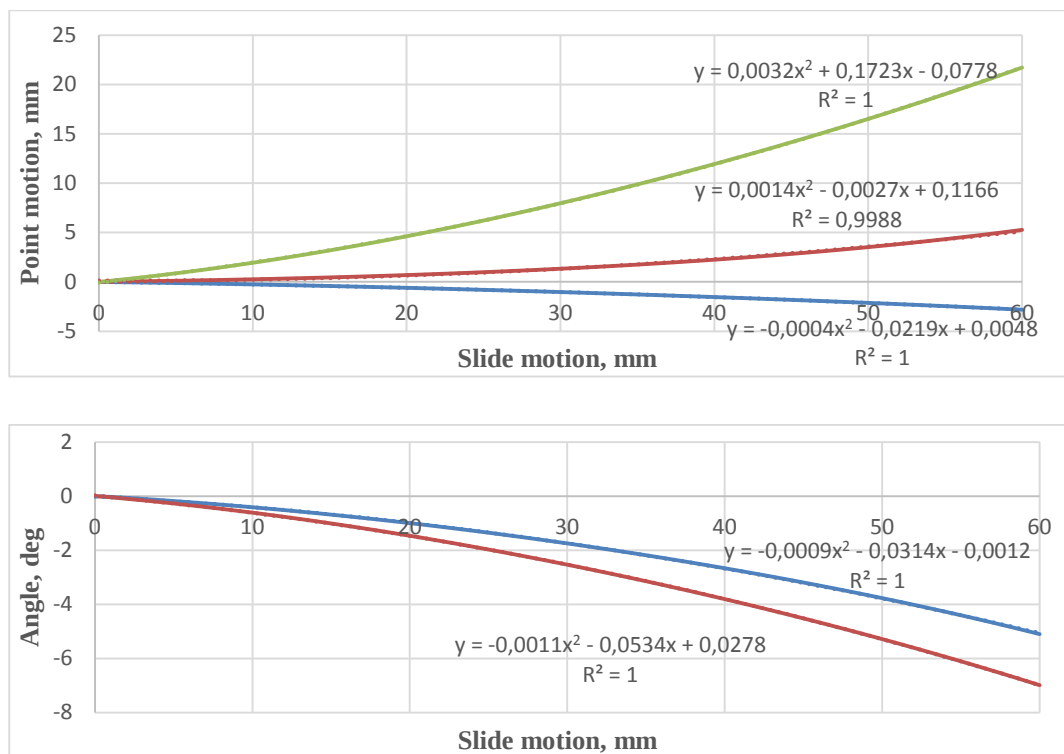


Fig.7.b) Motion graphs and platform turn while slide 2 moving

The same operation is made for the third slide motion:

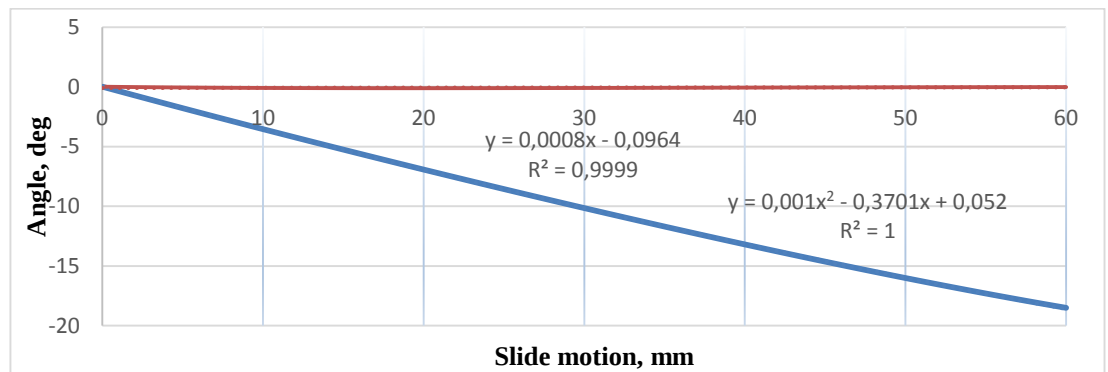
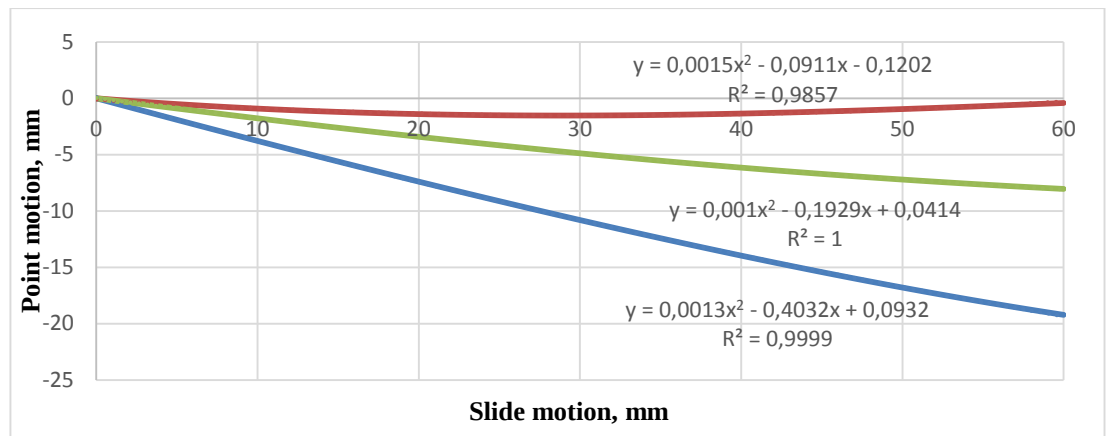
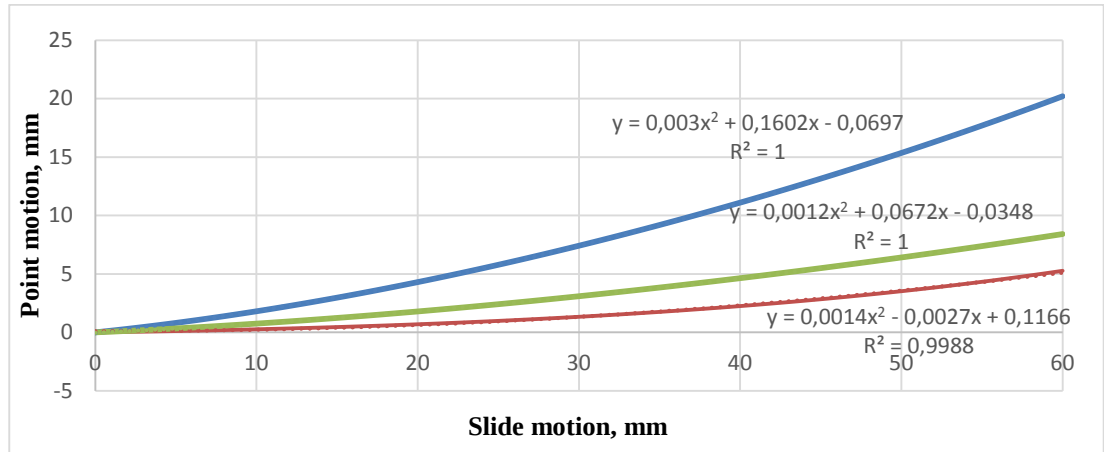


Fig.8.a) Motion graphs and platform turn by slide 3 motion



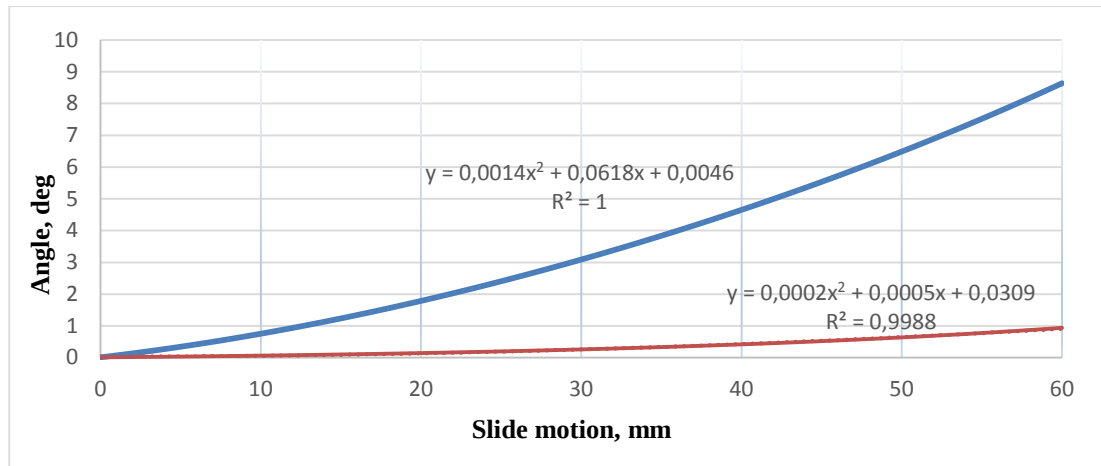
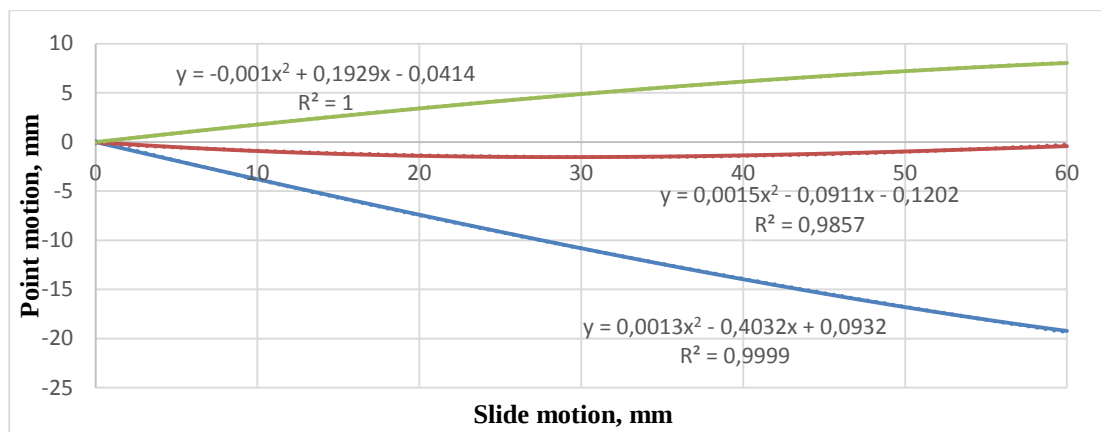


Fig.8.b) Motion graphs and platform turn by slide 3 motion

In Fig.8.a) at the angle changing graph it could seem that the dependence of platform turn round Z axis is equal to zero, but it is not. In fact, it happens so, first, because the slide 3 movement coincides with the axis Z direction, and, second, because the second curve contrasts on this graph which maximal motion graphs and platform turn meaning is 18,5 grades (against 0,11 compared to the first). It is supported by the linear dependence which value is near that curve.

The same experiment is performed with slide 6 motion (it is opposite the slide 3), to make sure that those dependences really differ only in symbols:



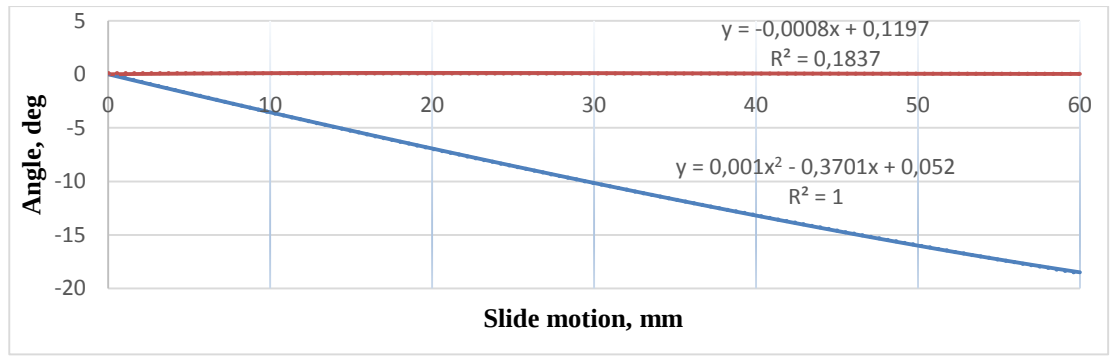


Fig.9.a) Motion graphs and platform turn slide 6 motion

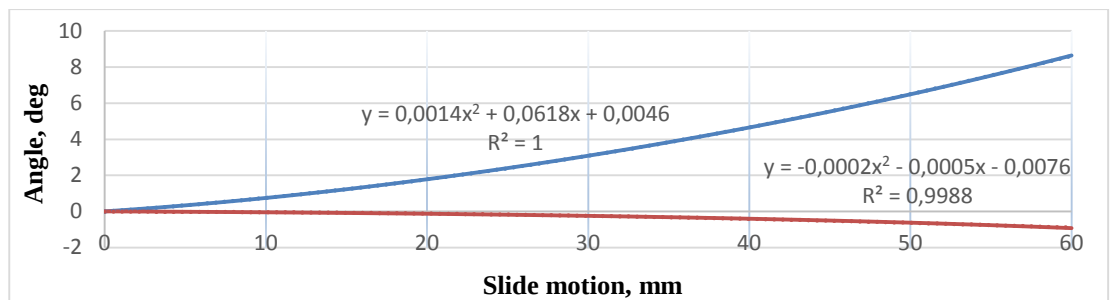
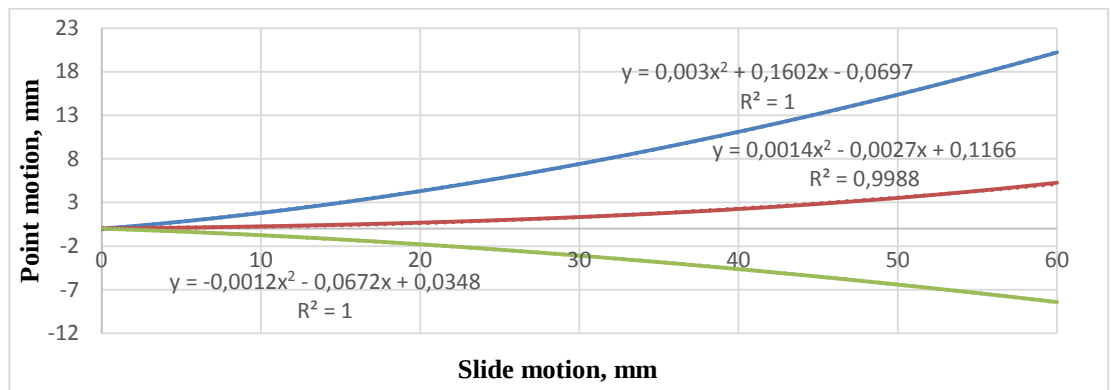


Fig.9.b) Motion graphs and platform turn slide 6 motion

Angle changing graphs of the turn are absolutely identical but in the graphs of coordinates symbols are changed with the motion dependence along the axis Z, in the rest they are equal to slide 3 movement graphs.

Remembering the dependence of coordinate changing from the slide moving, it is possible to determine dependences for the remaining five slides. Knowing under what angle they are separated one from another, it would be

possible to restart the coordinate system from the beginning, turning it to the angle. It will be considered in future research.

3.2. Movement of two slides

Cases where two slides are moving will be considered in this chapter. As it was stated earlier there is no need examining all 15 variants, but choosing the most typical to represent the picture as a whole. In the previous chapter it was proved to be enough to consider particular cases rather than come over to the common ones. So there will be examined just three cases: simultaneous movement of the slides 1 and 2 (as being in the same group of fixing rods to the platform), 1 and 3 (as being in the adjacent groups of fixing rods to the platform), and 1 and 4 (as being located opposite each other). The slides will move with the same velocity.

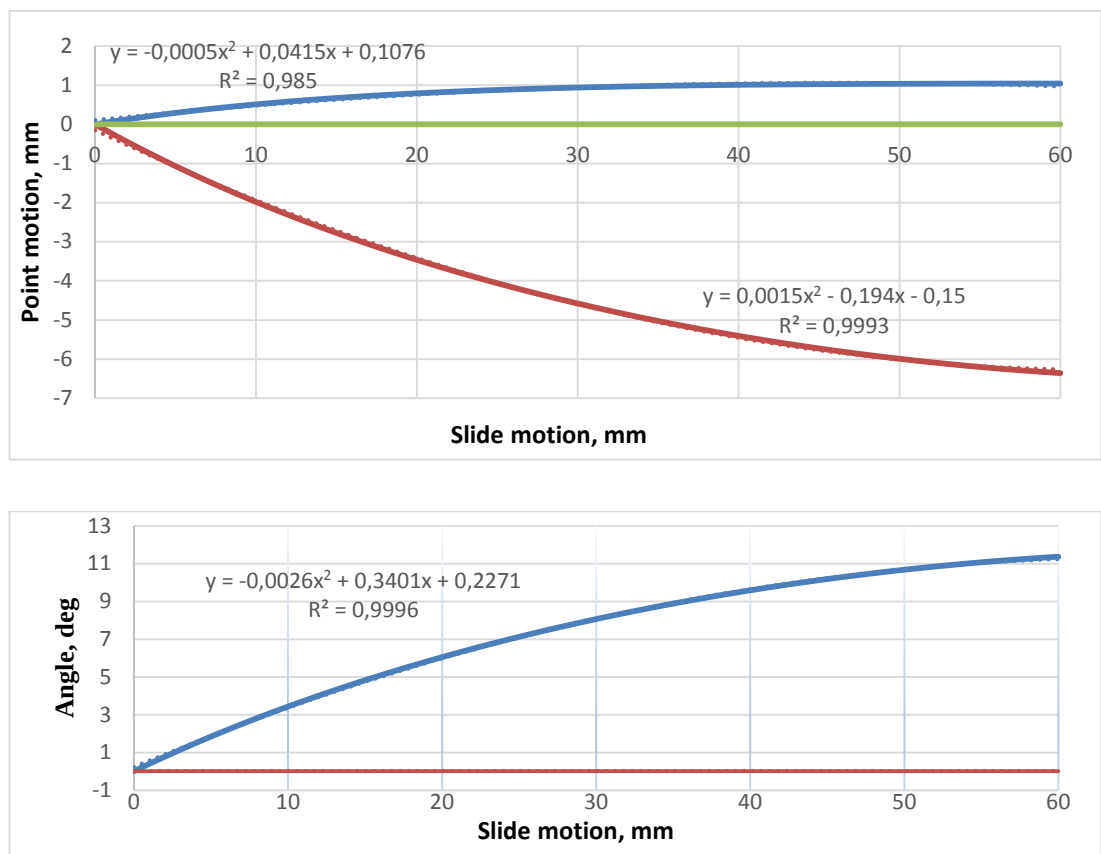


Fig.10.a) Motion and platform turn graphs by simultaneous motion of the slides 1 and 2

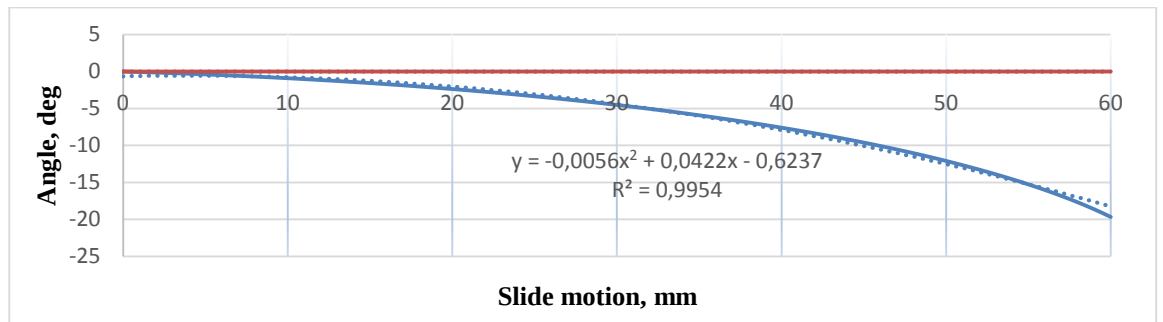
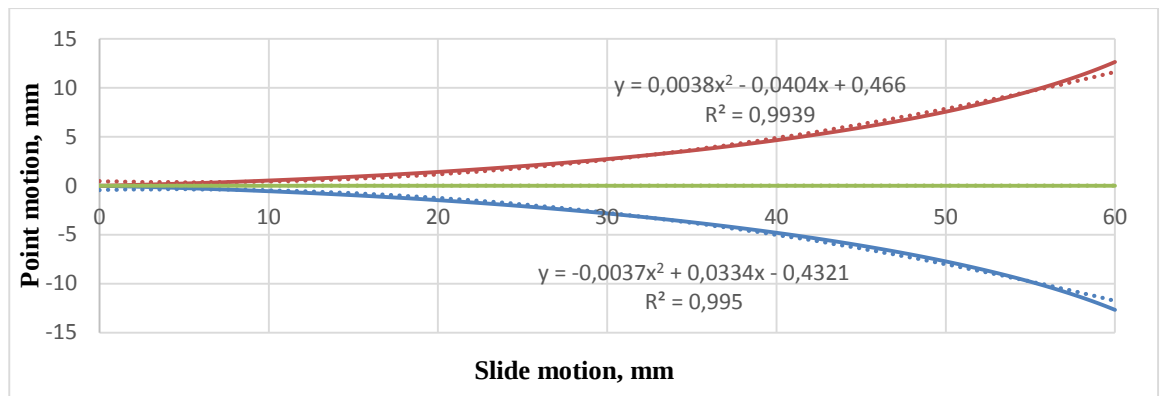
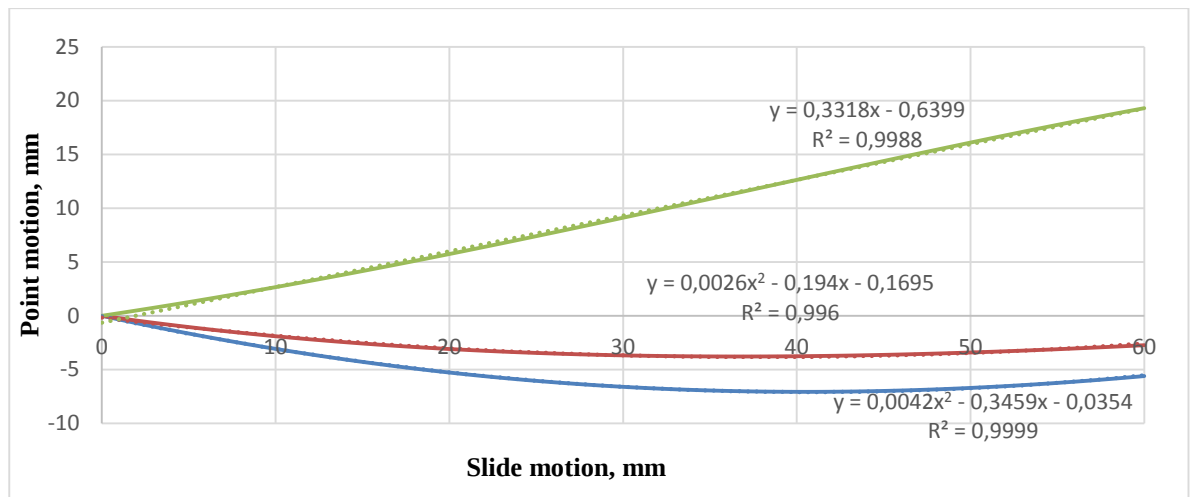


Fig.10.b) Motion and platform turn graphs by simultaneous motion of the slides 1 and 2

From the graphs, it can be seen that both the movement along the axis Z and turns around it are equal to 0. It is because the axis X is equally remote from the slides 1 and 2 and is located between them. So the equation will be $y=0$.



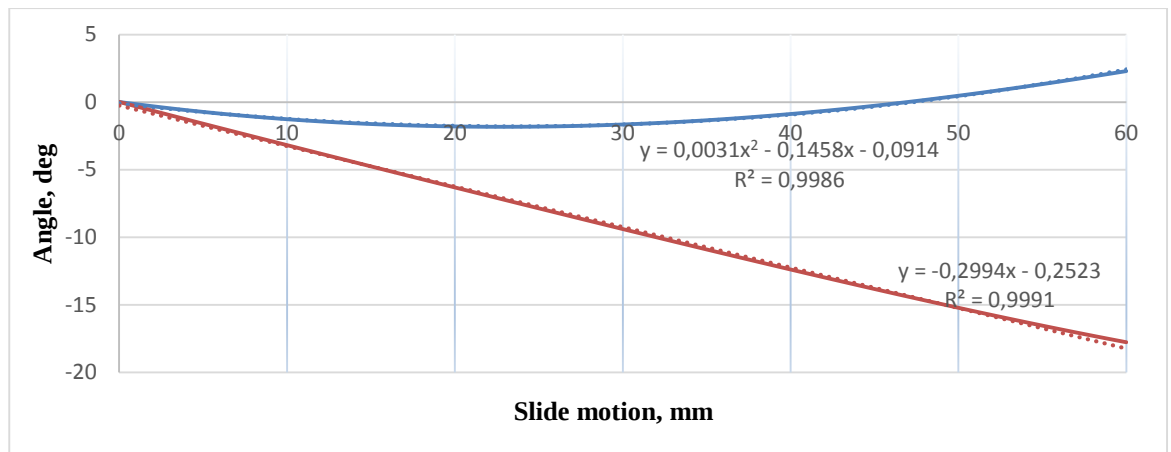


Fig.11.a) Motion and platform turn graphs by simultaneous motion of the slides 1 and 3

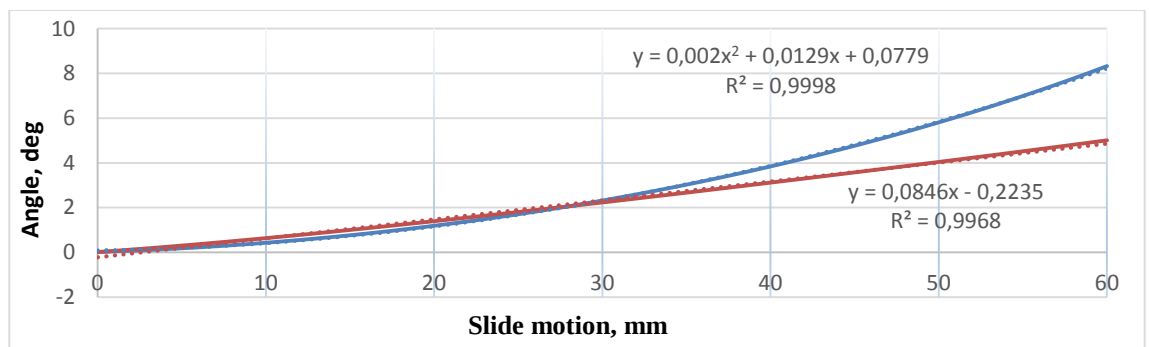
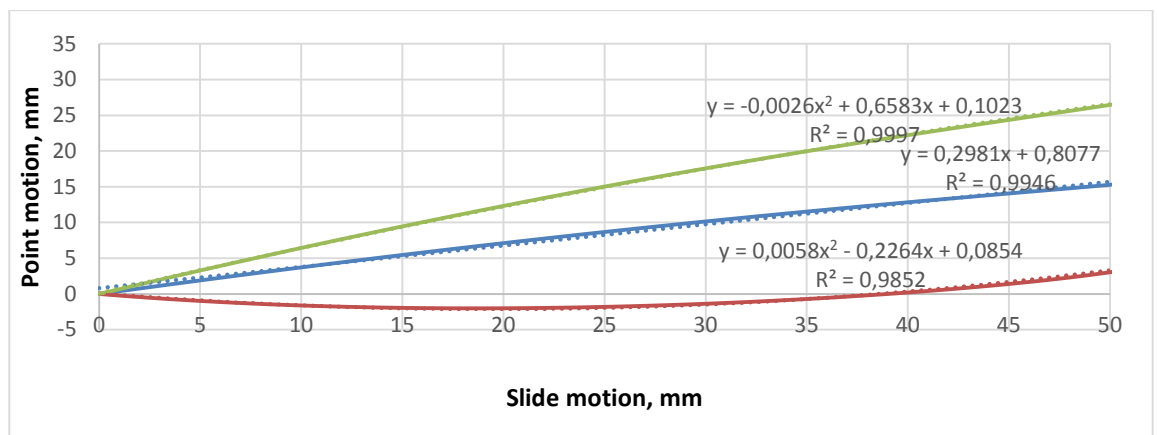


Fig.11.b) Motion and platform turn graphs by simultaneous motion of the slides 1 and 3

The slides, located opposite each other (1 and 4), will be moved simultaneously.



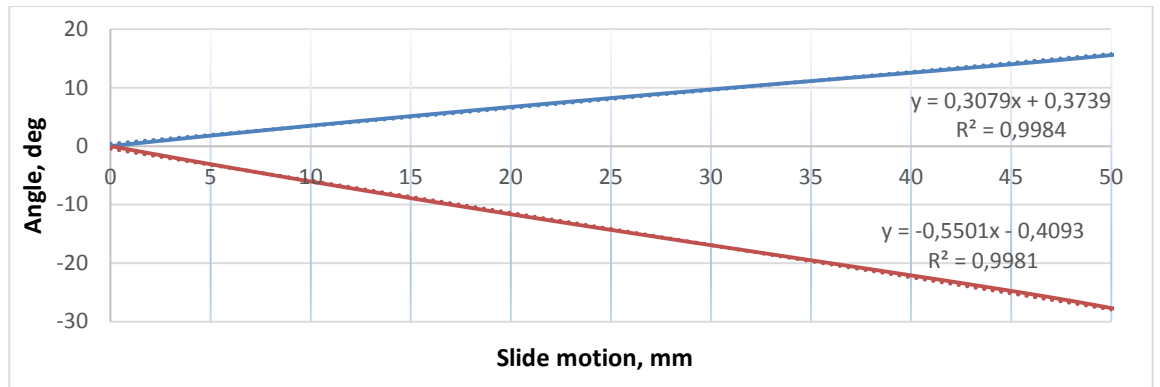


Fig.12.a) Motion and platform turn graphs by simultaneous motion of the slides 1 and 4

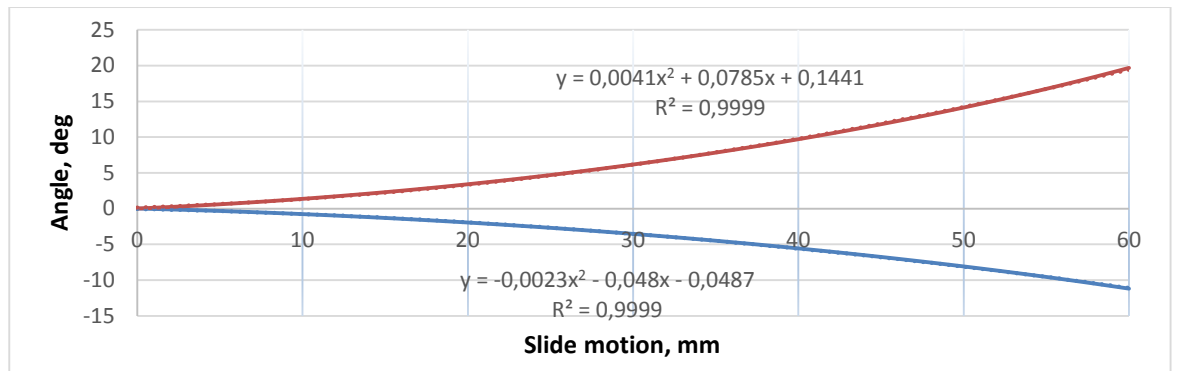
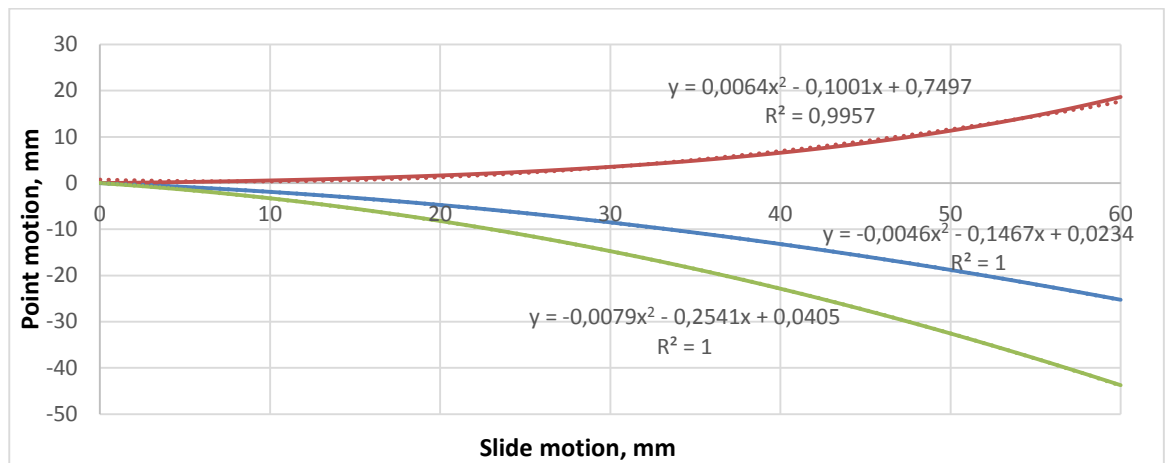


Fig.12.b) Motion and platform turn graphs by simultaneous motion of the slides 1 and 4

3.3. Three slides moved simultaneously

Cases of moving three slides simultaneously are examined in this chapter. There will be considered only two cases – simultaneous movement of the slides 1,

2 and 3 (being entirely on one side) and 1, 3 and 5 (as located one through the other). The slides will move with the same velocity and in the same direction.

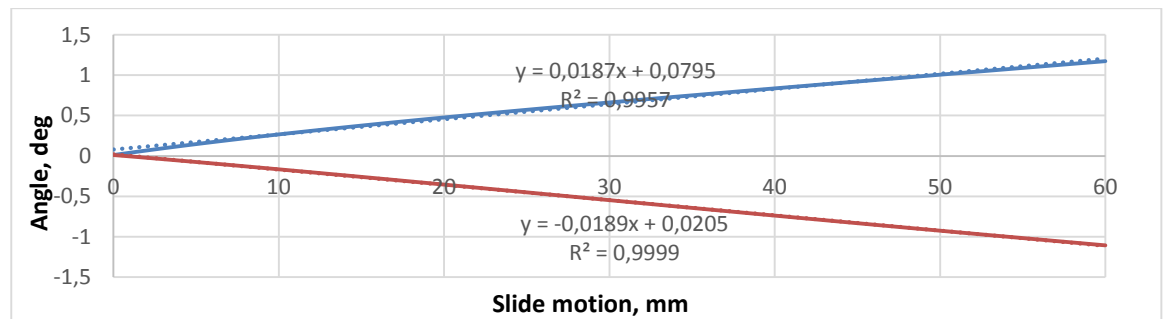
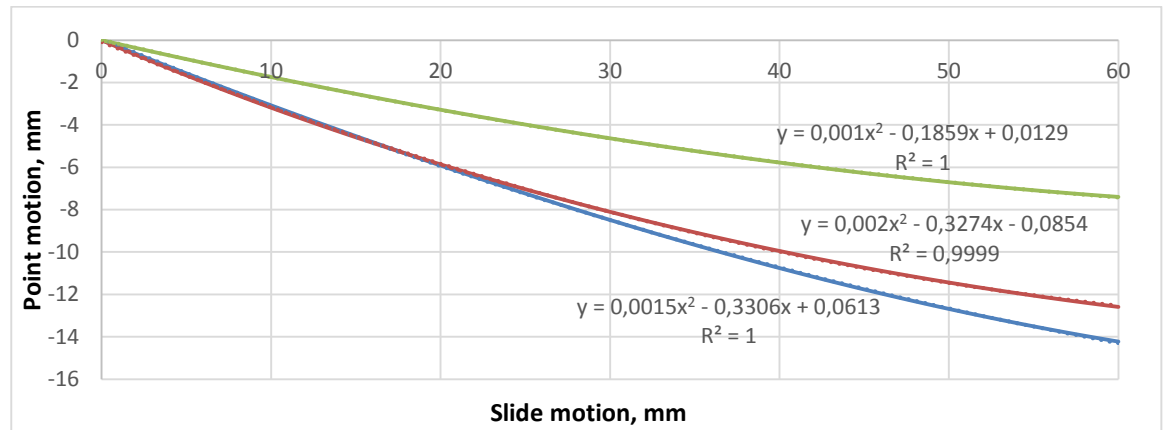
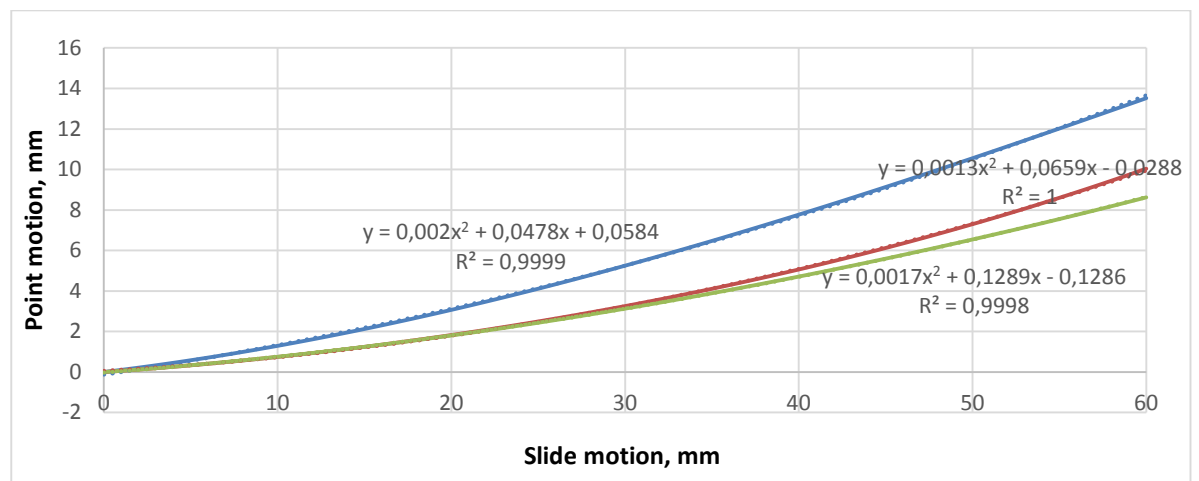


Fig.13.a) Motion and platform turn graphs by simultaneous motion of the slides 1, 2 and 3



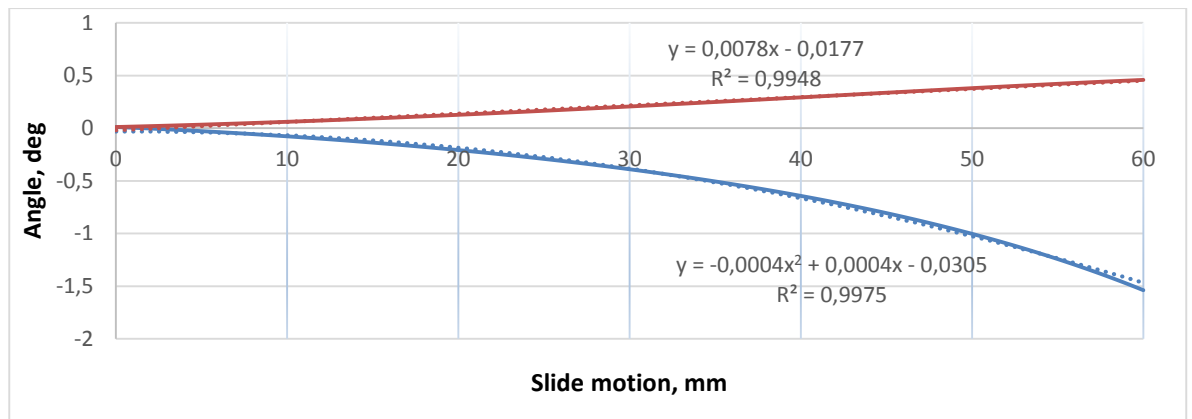


Fig.13.b) Motion and platform turn graphs by simultaneous motion of the slides 1, 2 and 3

As soon as the slides 1, 2 and 3 are located on one side, the platform moves along all coordinates in one direction. The graphs support it too.

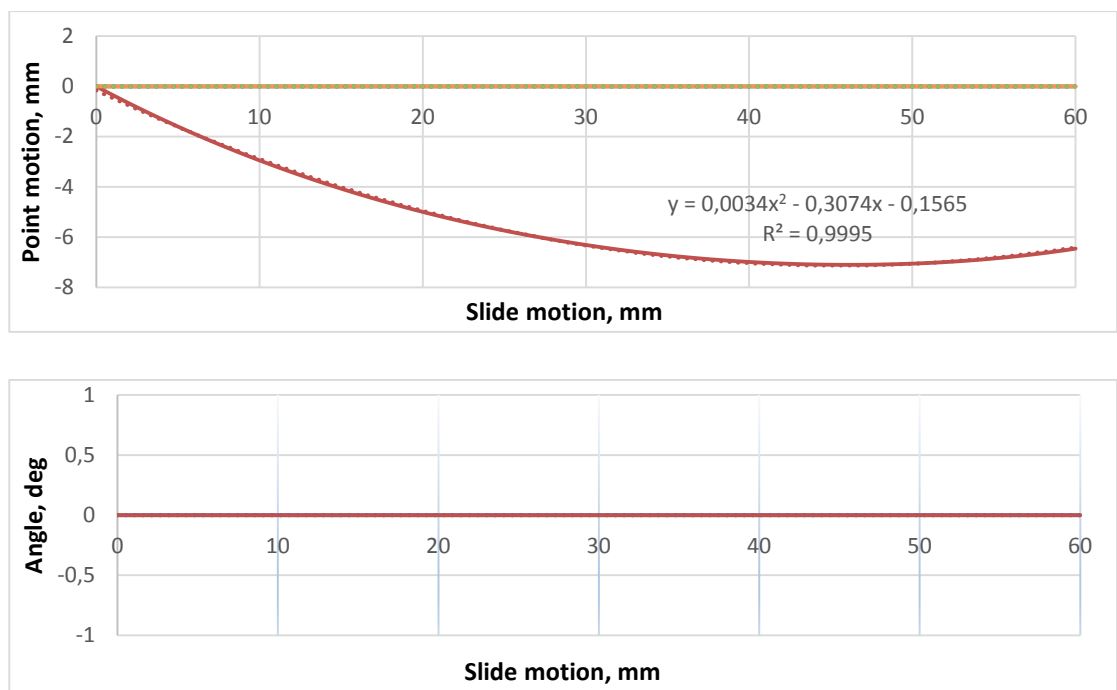


Fig.14.a) Motion and platform turn graphs by simultaneous motion of the slides 1, 3 and 5

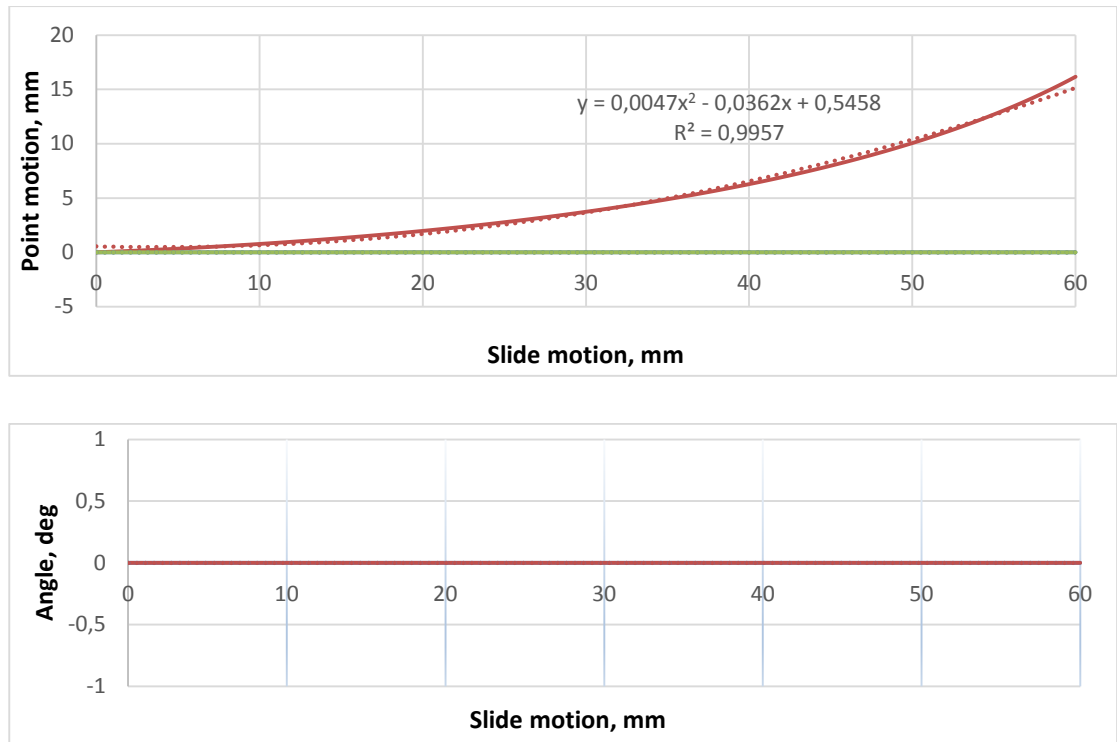


Fig.14.b) Motion and platform turn graphs by simultaneous motion of the slides 1, 3 and 5

The graphs are not difficult to substantiate. In this case slides work one through one, and they compensate motion along axis and turns round them. The platform moves only up and down. The graphs prove that too - only one coordinate is changed – along the Y direction. In fact, the platform turns round this axis as well, but it was not aimed to pay much attention to this coordinate.

3.4. Four slides moved simultaneously

Two investigations in this chapter are especially interesting because can later be transferred to others. That is simultaneous movement of the drive units 1, 2, 3 and 4 (two whole groups involved) and 1, 2, 3 and 5 (one whole group and one slide from other groups).

3.5. Simultaneously motion of five slides

The Motion of five slides simultaneously will be researched in this chapter. No matter which of the slides will be fixed, the slide 6 can be taken.

3.6. Motion of all slides

By motion of all slides, in theory, only the distance between the base and the platform should change. In other words, only the motion along the axis Y will change. The other coordinates change will be equal to zero. The experiment has supported the theory.

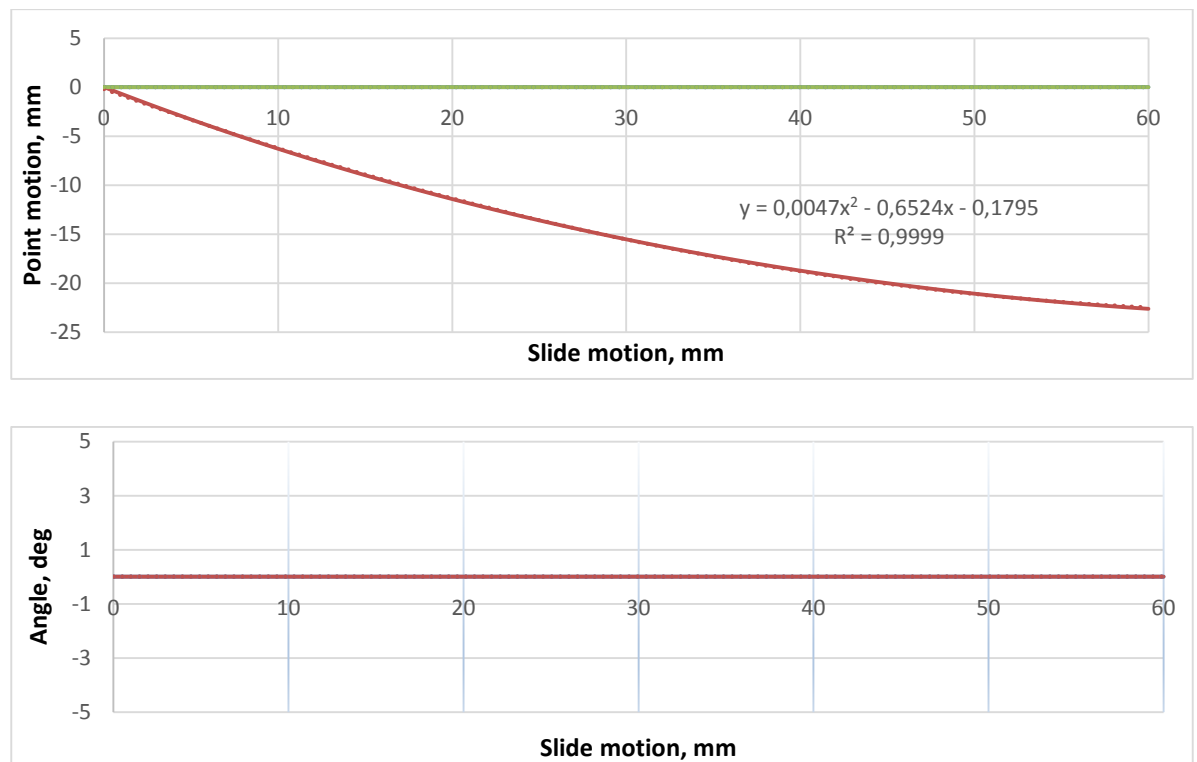


Fig.18.a) Motion and platform turn graphs by simultaneous motion of all the slides

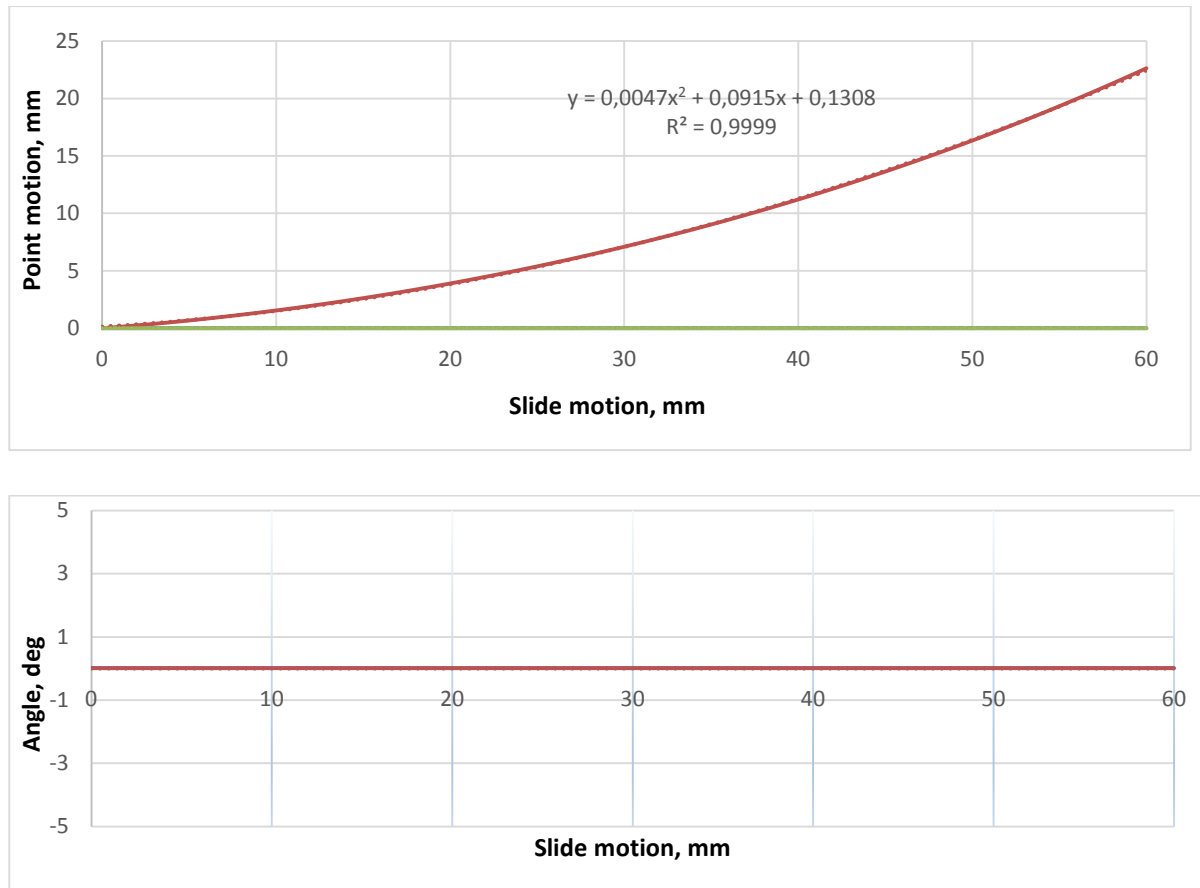


Fig.18.b) Motion and platform turn graphs by simultaneous motion of all the slides

3.7. Results

Summary Tables with the results of all graphs are listed here:

Table 1.

Summary table with motion results of point motion along coordinate axis

Slide	Position	Variable	Equation of motion	R2	Min value, mm	Max value, mm
1	b	X	$y = -0,0468x + 0,2527$	0,98	-2,8	0
1	b	Y	$y = 0,0014x^2 - 0,0027x + 0,1166$	1	0	5,2
1	b	Z	$y = -0,0032x^2 - 0,1723x + 0,0778$	1	-21,7	0
1	a	X	$y = 0,0448x - 0,1122$	0,99	0	2,6
1	a	Y	$y = 0,0015x^2 - 0,0911x - 0,1202$	0,98	-1,5	0

1	a	Z	$y = -0,0016x^2 + 0,4456x - 0,1014$	1	0	20,6
2	b	X	$y = -0,0004x^2 - 0,0219x + 0,0048$	1	-2,8	0
2	b	Y	$y = 0,0014x^2 - 0,0027x + 0,1166$	1	0	5,7
2	b	Z	$y = 0,0032x^2 + 0,1723x - 0,0778$	1	0	21,7
2	a	X	$y = 0,0015x^2 - 0,0911x - 0,1202$	0,98	0	2,6
2	a	Y	$y = 0,0448x - 0,1122$	0,99	-1,5	0
2	a	Z	$y = 0,0016x^2 - 0,4456x + 0,1014$	1	0	2,4
3	b	X	$y = 0,003x^2 + 0,1602x - 0,0697$	1	0	20,2
3	b	Y	$y = 0,0014x^2 - 0,0027x + 0,1166$	1	0	5,2
3	b	Z	$y = 0,0012x^2 + 0,0672x - 0,0348$	1	0	8,4
3	a	X	$y = 0,001x^2 - 0,1929x + 0,0414$	1	-19,2	0
3	a	Y	$y = 0,0015x^2 - 0,0911x - 0,1202$	0,98	-0,4	0
3	a	Z	$y = 0,001x^2 - 0,1929x + 0,0414$	1	0	133,7
12	b	X	$y = -0,0037x^2 + 0,0334x - 0,4321$	0,99	-12,6	0
12	b	Y	$y = 0,0038x^2 - 0,0404x + 0,466$	0,99	0	12,6
12	b	Z	$y = 0$	1	0	0
12	a	X	$y = -0,0005x^2 + 0,0415x + 0,1076$	0,99	0	1
12	a	Y	$y = 0,0015x^2 - 0,194x - 0,15$	1	-6,4	0
12	a	Z	$y = 0$	1	0	0
13	b	X	$y = 0,0045x^2 + 0,1315x - 0,0408$	1	0	24
13	b	Y	$y = 0,0023x^2 + 0,0082x + 0,1671$	0,99	0	9,04
13	b	Z	$y = 0,0023x^2 - 0,1524x + 0,2565$	0,98	-0,52	0
13	a	X	$y = 0,0045x^2 + 0,1315x - 0,0408$	1	0	24
13	a	Y	$y = 0,0023x^2 + 0,0082x + 0,1671$	0,99	0	9
13	a	Z	$y = 0,0023x^2 - 0,1524x + 0,2565$	0,98	-0,5	0
14	b	X	$y = -0,0046x^2 - 0,1467x + 0,0234$	1	-45,2	0

14	b	Y	$y = 0,0064x^2 - 0,1001x + 0,7497$	0,99	0	18,6
14	b	Z	$y = -0,0079x^2 - 0,2541x + 0,0405$	1	-43,7	0
14	a	X	$y = 0,2981x + 0,8077$	0,99	0	16,9
14	a	Y	$y = 0,0058x^2 - 0,2264x + 0,0854$	0,98	0	6,9
14	a	Z	$y = 0,5163x + 1,3989$	0,99	0	29,4
123	b	X	$y = 0,002x^2 + 0,0478x + 0,0584$	0,99	0	13,5
123	b	Y	$y = 0,0013x^2 + 0,0659x - 0,0288$	1	0	10
123	b	Z	$y = 0,0017x^2 + 0,1289x - 0,1286$	0,99	0	8,6
123	a	X	$y = 0,0015x^2 - 0,3306x + 0,0613$	1	-14,2	0
123	a	Y	$y = 0,002x^2 - 0,3274x - 0,0854$	0,99	-12,5	0
123	a	Z	$y = 0,001x^2 - 0,1859x + 0,0129$	1	-7,3	0
135	b	X	$y = 0$	1	0	0
135	b	Y	$y = 0,0047x^2 - 0,0362x + 0,5458$	0,99	0	16,2
135	b	Z	$y = 0$	1	0	0
135	a	X	$y = 0$	1	0	0
135	a	Y	$y = 0,0034x^2 - 0,3074x - 0,1565$	0,99	-6,4	0
135	a	Z	$y = 0$	1	0	0
1234	b	X	$y = 0,0007x^2 - 0,0631x + 0,1422$	0,99	-0,8	0
1234	b	Y	$y = 0,0035x^2 + 0,0536x + 0,1252$	1	0	16,3
1234	b	Z	$y = 0,0007x^2 - 0,0631x + 0,1422$	0,99	-1,3	0
1234	a	X	$y = 0,0011x^2 + 0,0362x + 0,0014$	1	0	6,4
1234	a	Y	$y = 0,0045x^2 - 0,4381x - 0,0882$	1	-10,6	0
1234	a	Z	$y = 0,002x^2 + 0,0627x + 0,0024$	1	0	10,9
1235	b	X	$y = -0,0036x^2 - 0,0155x + 0,0143$	1	-13,9	0
1235	b	Y	$y = 0,0053x^2 - 0,0063x + 0,4615$	1	0	19,9
1235	b	Z	$y = 0,2558x - 0,628$	1	0	14,5

1235	a	X	$y = 0,0028x^2 - 0,3846x - 0,3497$	0,99	-11,5	0
1235	a	Y	$y = -0,2016x + 2,229$	0,93	-13,5	0
1235	a	Z	$y = 0,0022x^2 - 0,4929x + 0,3284$	0,99	-21,1	0
12345	b	X	$y = -0,318x + 1,6478$	0,98	-19,2	0
12345	b	Y	$y = 0,0054x^2 + 0,0254x + 0,4088$	0,99	0	22,2
12345	b	Z	$y = 0,0011x^2 + 0,0726x - 0,0695$	0,99	0	8
12345	a	X	$y = 0,3414x + 0,5066$	0,99	0	20,2
12345	a	Y	$y = 0,004x^2 - 0,522x - 0,2415$	0,99	-17,3	0
12345	a	Z	$y = 0,0007x^2 - 0,1808x - 0,0101$	1	-8,4	0
123456	b	X	$y = 0$	1	0	0
123456	b	Y	$y = 0,0047x^2 + 0,0915x + 0,1308$	0,99	0	92,6
123456	b	Z	$y = 0$	1	0	0
123456	a	X	$y = 0$	1	0	0
123456	a	Y	$y = 0,0047x^2 - 0,6524x - 0,1795$	0,99	-22,6	0
123456	a	Z	$y = 0$	1	0	0

Table 2

Summary table with platform turn results around coordinate axis

Slide	Position	Variable	Equation of motion	R2	Min value, mm	Max value, mm
1	b	XO	$y = -0,0009x^2 - 0,0314x - 0,0012$	1	-5,1	0
1	b	ZO	$y = 0,0011x^2 + 0,0535x - 0,0058$	1	0	7
1	a	XO	$y = -0,001x^2 - 0,0359x + 0,0002$	1	-5,6	0
1	a	ZO	$y = 0,001x^2 + 0,0506x - 0,0071$	1	0	-6,5
2	b	XO	$y = -0,0009x^2 - 0,0314x - 0,0012$	1	-6,9	0
2	b	ZO	$y = -0,0011x^2 - 0,0534x + 0,0278$	0.99	5	0
2	a	XO	$y = -0,0006x^2 + 0,1903x + 0,0309$	1	0	9,1

2	a	ZO	$y = -0,0008x^2 + 0,3185x - 0,0508$	1	0	15,9
3	b	XO	$y = 0,0014x^2 + 0,0618x + 0,0046$	1	0	8,6
3	b	ZO	$y = 0,0002x^2 + 0,0005x + 0,0309$	1	0	0,9
3	a	XO	$y = 0,001x^2 - 0,3701x + 0,052$	1	-18,5	0
3	a	ZO	$y = 0,0008x - 0,0964$	1	-0,1	0
12	b	XO	$y = -0,0056x^2 + 0,0422x - 0,6237$	0,99	-19,6	0
12	b	ZO	$y = 0$	1	0	0
12	a	XO	$y = -0,0026x^2 + 0,3401x + 0,2271$	1	0	11,4
12	a	ZO	$y = 0$	1	0	0
13	b	XO	$y = 0,002x^2 + 0,0129x + 0,0779$	0,99	0	8,3
13	b	ZO	$y = 0,0846x - 0,2235$	0,99	0	5
13	a	XO	$y = 0,0031x^2 - 0,1458x - 0,0914$	0,99	0	2,2
13	a	ZO	$y = -0,2994x - 0,2523$	0,99	-17,7	0
14	b	XO	$y = -0,0023x^2 - 0,048x - 0,0487$	0,99	-11,1	0
14	b	ZO	$y = 0,0041x^2 + 0,0785x + 0,1441$	0,99	0	19,6
14	a	XO	$y = 0,3079x + 0,3739$	0,99	-33	0
14	a	ZO	$y = -0,5501x - 0,4093$	0,99	0	18,3
123	b	XO	$y = -0,0004x^2 + 0,0004x - 0,0305$	0,99	-1,4	0
123	b	ZO	$y = 0,0078x - 0,0177$	0,99	0	0,45
123	a	XO	$y = -7E-05x^2 + 0,0232x + 0,0352$	0,99	0	1,1
123	a	ZO	$y = 6E-07x^2 - 0,0189x + 0,0209$	0,99	-1,1	0
135	b	XO	$y = 0$	1	0	0
135	b	ZO	$y = 0$	1	0	0
135	a	XO	$y = 0$	1	0	0
135	a	ZO	$y = 0$	1	0	0
1234	b	XO	$y = -0,001x^2 - 0,0308x - 0,0002$	1	-5,6	0

1234	b	ZO	$y = 0,0018x^2 + 0,0527x + 0,0355$	1	0	9,8
1234	a	XO	$y = -0,0005x^2 + 0,1884x + 0,0578$	1	0	9,7
1234	a	ZO	$y = 0,0008x^2 - 0,3251x - 0,0737$	1	-16,9	0
1235	b	XO	$y = -0,0051x^2 + 0,0531x - 0,447$	1	-16,5	0
1235	b	ZO	$y = -0,0008x^2 - 0,0662x + 0,101$	1	-6,8	0
1235	a	XO	$y = -0,0023x^2 + 0,128x + 0,3429$	0,96	0	0,1
1235	a	ZO	$y = -0,0027x^2 + 0,3277x - 0,0903$	0,99	0	9,7
12345	b	XO	$y = -0,0052x^2 + 0,0323x - 0,5116$	0,99	-18,5	0
12345	b	ZO	$y = -0,0002x^2 + 0,0111x - 0,025$	0,92	0	0
12345	a	XO	$y = -0,003x^2 + 0,3183x + 0,1946$	0,99	0	8,6
12345	a	ZO	$y = 0,0002x^2 - 0,0277x + 0,0565$	0,99	-0,9	0
123456	b	XO	$y = 0$	1	0	0
123456	b	ZO	$y = 0$	1	0	0
123456	a	XO	$y = 0$	1	0	0
123456	a	ZO	$y = 0$	1	0	0

4. Conclusion

The main results of the work are:

- 1) the previous research experience and construction of mechanisms with parallel kinematics have been analyzed;
- 2) the device model has been designed for further research of output link motion;
- 3) the mathematic model, identifying the motion path of output link has been designed in dependence of slides motion, using approximation. Maximal displacements and platform turns have been calculated. By constructing dependence and computation of motion laws from the kinematic point of view preparatory work for designing the dynamic model has been done.