

**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                                                                                                                     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Исследование 5D-механизма с параллельной кинематикой при симметричном пространственном расположении управляющих приводов</b> |

УДК 621.313.323-83-231.26-047.37

Студент

| Группа | ФИО                         | Подпись | Дата |
|--------|-----------------------------|---------|------|
| 8НМ41  | Стреминский Артем Сергеевич |         |      |

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.

## 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 Д.П.

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

|                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                 |
|----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                 |
| <i>Универсальные компетенции</i> |                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                 |
| <b>P7</b>                        | Использовать <i>глубокие знания</i> для ведения <i>инновационной</i> инженерной деятельности с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности                                                                                                          | Требования ФГОС ВО (ОПК -4, ПК-2, ПК-3, ПК-13, ПК-14, ПК-18).<br>Критерий 5 АИОР (п.2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> . |
| <b>P8</b>                        | <i>Активно</i> владеть <i>иностраным языком</i> на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности                                                                  | Требования ФГОС ВО (ОПК-3, ОПК-4, ПК-13, ПК-18).<br>Критерий 5 АИОР (п.2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .              |
| <b>P9</b>                        | Эффективно работать индивидуально, в качестве <i>члена и руководителя группы</i> , состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность <i>следовать корпоративной культуре</i> организации. | Требования ФГОС ВО (ОПК-1, ПК-18).<br>Критерий 5 АИОР (п. 2.13), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .                          |
| <b>P10</b>                       | Демонстрировать <i>глубокие знания социальных, этических и культурных аспектов</i> , компетентность в вопросах <i>устойчивого развития</i> .                                                                                                                              | Требования ФГОС ВО (ОК-2).<br>Критерий 5 АИОР (п.2.14), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .                                   |
| <b>P11</b>                       | <i>Самостоятельно</i> учиться и непрерывно <i>повышать квалификацию</i> в течение всего периода профессиональной деятельности                                                                                                                                             | Требования ФГОС ВО (ОК-3).<br>Критерий 5 АИОР (п.2.14), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .                                   |

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

Институт кибернетики

Направление подготовки: 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  | Стреминскому Артему Сергеевичу |

Тема работы:

|                                                                                                                                 |                       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| <b>Исследование 5D-механизма с параллельной кинематикой при симметричном пространственном расположении управляющих приводов</b> |                       |
| Утверждена приказом директора (дата, номер)                                                                                     | от 04.02.2016 № 700/с |

Срок сдачи студентом выполненной работы:

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                             |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ</b></p> <p><b>Исходные данные к работе</b></p> <p>(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.).</p> | <p>5D-механизм, обеспечивающий перемещение выходного звена, имеющего 5 степеней свободы. Минимальные габариты и масса. Пространственное симметричное расположение управляющих приводов.</p> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

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

|                                                                                                 |  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| <b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b> |  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|--|

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  | Стреминский А.С. |         |      |

## Реферат

Выпускная квалификационная работа 88 с., 35 рисунков, 24 табл., 15 источников, 1 прил.

Ключевые слова: 5D - механизм, параллельная кинематика, симметричное расположение приводов.

Цель работы – исследование кинематики и динамики механизма с параллельной кинематикой.

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

Предметом исследования являются решение обратной задачи кинематики и динамические характеристики механизма.

В процессе исследования проведен анализ кинематики, динамических параметров.

В результате исследования предложены оптимальные параметры динамической системы, описана методика решения обратной задачи кинематики.

Основные конструктивные и технико-эксплуатационные показатели: внешние габариты 5D – механизма 400x400x400 мм.

Эффективность разработанного устройства определяется его точностью и широким спектром применения.

## **ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ОБОЗНАЧЕНИЯ**

Параллельная кинематическая структура – структура при которой исполнительное звено соединено с основанием с использованием нескольких независимых кинематических цепей.

Степени свободы – характеристика движения механической системы, определяющая минимальное количество независимых переменных, необходимых для полного описания движения механической системы.

Мехатроника – это область науки и техники, основанная на синергетическом объединении узлов точной механики с электронными, электротехническими и компьютерными компонентами.

Математическая модель – приближенное описание объекта моделирования, выраженное с помощью математической символики.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|                                                                                                                                                      |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. ВВЕДЕНИЕ.....                                                                                                                                     | 9  |
| 2. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.....                                                                                                                             | 11 |
| 3. ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....                                                                                                                 | 20 |
| 4. РАСЧЕТЫ И АНАЛИТИКА.....                                                                                                                          | 22 |
| 4.1. Обоснование выбора комплектующих .....                                                                                                          | 22 |
| 4.1.1 Выбор привода.....                                                                                                                             | 22 |
| 4.1.2 Выбор шарнирных опор.....                                                                                                                      | 23 |
| 4.2. Анализ кинематики .....                                                                                                                         | 25 |
| 4.3. Анализ динамики .....                                                                                                                           | 37 |
| 5. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФЕКТИВНОСТЬ И<br>РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....                                                                            | 46 |
| 5.1. Общие сведения о научно-техническом исследовании.....                                                                                           | 46 |
| 5.2. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения<br>научных исследований с позиции ресурсоэффективности и<br>ресурсосбережения..... | 47 |
| 5.2.1. Потенциальные потребители результатов исследования.....                                                                                       | 48 |
| 5.2.2. Анализ конкурентных технических решений.....                                                                                                  | 49 |
| 5.2.3. SWOT – анализ.....                                                                                                                            | 50 |
| 5.2.4. Определение возможных альтернатив проведения научных<br>исследований.....                                                                     | 52 |
| 5.3. Планирование научно-исследовательских работ.....                                                                                                | 53 |
| 5.3.1. Структура работ в рамках научного исследования.....                                                                                           | 53 |
| 5.3.2. Определение трудоемкости выполняемых работ.....                                                                                               | 53 |
| 5.3.3. Разработка графика проведения научного исследования.....                                                                                      | 55 |
| 5.3.4. Бюджет научно-технического исследования.....                                                                                                  | 58 |
| 5.3.5. Расчет материальных затрат НТИ.....                                                                                                           | 59 |
| 5.3.6. Основная заработная плата исполнителей.....                                                                                                   | 61 |
| 5.3.7. Дополнительная заработная плата исполнителей.....                                                                                             | 63 |
| 5.3.8. Отчисления во внебюджетные фонды.....                                                                                                         | 63 |
| 5.3.9. Контрагентные расходы.....                                                                                                                    | 64 |
| 5.3.10. Накладные расходы.....                                                                                                                       | 65 |
| 5.3.11. Формирование бюджета затрат научно-технического<br>проекта.....                                                                              | 66 |
| 5.3.12. Определение ресурсной, финансовой, бюджетной,<br>социальной и экономической эффективности исследования                                       | 67 |
| 5.4. Заключение.....                                                                                                                                 | 67 |
| 6. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....                                                                                                                   | 68 |
| 7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....                                                                                                                                   | 78 |
| СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.....                                                                                                                  | 79 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ А.....                                                                                                                                    | 80 |

## 1. ВВЕДЕНИЕ.

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. Применение традиционных станков с ЧПУ или роботизированных комплексов все чаще оказывается малоэффективным для решения задач обработки поверхностей сложной геометрии и формирования этих поверхностей рабочим инструментом, подачей команд от управляющего компьютера. Одним из вариантов решения этой проблемы является использование механизмов параллельной кинематики, которые имеют: надежную конструкцию, высокую производительность благодаря динамике и сочетанию технологий, гибкость настройки и многое другое. Роботы-станки с параллельной кинематикой 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.

Объектом исследования данной работы является 5D-механизм с параллельной кинематикой, обеспечивающий шесть степеней свободы выходному звену с помощью шести управляющих приводов расположенных симметрично в пространстве.

Цель работы – исследование 5D-механизма с параллельной кинематикой при симметричном пространственном расположении управляющих приводов  
Задачи:

- Найти и изучить всю возможную информацию о данных механизмах;
- Придумать вариант реализации 5D-механизма;
- Составить компоновочно – кинематическую схему механизма;
- Описать принцип работы механизма;

- Провести кинематический анализ механизма;
- Провести динамический анализ механизма;
- Оценить экономические показатели проектируемого устройства;
- Написать вывод по проделанной работе.

## 2. ОБОР ЛИТЕРАТУРЫ.

Создание высокопроизводительных устройств, с высокими требованиями к точности позиционирования, скорости работы, нагрузкам и другим рабочим характеристикам, часто связано с созданием принципиально новых схем их компоновки. Одним из видов решения могут выступать механизмы с параллельной кинематикой, которые имеют: надежную конструкцию, высокую производительность благодаря динамике и сочетанию технологий, гибкость настройки и многое другое.

Механизмы с параллельной кинематикой могут быть выполнены с использованием шарнирных штанг постоянной или переменной длины. В первом случае траектория конечного узла определяется угловым и линейным положением штанг. Во втором, требуемые перемещения достигаются за счет согласованного изменения длин штанг.

«К механизмам со штангами переменной длины относятся так называемые «гексапод» (с шестью штангами), «трипод» (с тремя штангами) и их модификации, а к механизмам со штангами постоянной длины «гексаглайд» (с шестью штангами), «триглайд» (с тремя штангами) и их модификации.»

Наибольшее распространение получили механизмы с шестью штангами, обеспечивающие 6 степеней свободы, гексаподы и гексаглайды. Их распространение обусловлено целым рядом преимуществ. В отличие от многокоординатных последовательных систем, в которых погрешность по каждой из осей суммируются, погрешности в гексаподах и гексаглайдах могут компенсироваться, так что точность перемещения конечного узла достигнет долей микрона. Жесткое соединение концов штанг обеспечивает отсутствие «мертвого хода», а также повышенную жесткость и несущую способность конечного узла. Высокая точность измерения относительных перемещений конечного узла позволяет применять гексаподы и гексаглайды в особо точных станках, робототехнических системах и в медицине.

В зависимости от поставленных целей определяется структура, схема расположения приводов, размеры всего механизма. Выбранная конфигурация влияет на рабочий объем, в котором конечный узел перемещается. Применение мехатронных узлов, которые сочетают в одном конструктиве средства прецизионной механики, электроники, электротехники. Исполнительные и приводные элементы механизмов линейных и вращательных перемещений механизмов, объединенные

конструктивно, позволяют избежать применение промежуточных механических преобразователей и передач, повысить точность, быстродействие, снизить потери.

Инновационный форма механизмов с параллельной кинематикой определяется их преимуществами по сравнению с традиционными решениями, а именно:

- меньшая масса подвижных элементов

- упрощение конструкции за счет повторяемости типовых узлов

- уменьшение общей массы механизма

- штанги работают только на растяжение-сжатие при отсутствии внешней нагрузки

- высокая жесткость конечного узла

Помимо этого существуют недостатки ограничивающие область применения механизмов с параллельной кинематикой, а именно:

- любое перемещение конечного узла требует одновременного изменение положения всех штанг, синхронной работы приводов

- низкая способность штанг воспринимать и демпфировать нагрузку не позволяет использовать механизмы с параллельной кинематикой в операциях, где возникают большие переменные силы и моменты

- система шарнирных штанг ограничивает возможность угловых наклонов конечного узла

- невыгодное отношение рабочего объема к объему станка затрудняет доступ к обрабатываемому изделию

Первый механизм параллельной структуры был предложен Дж. Гвиннетом еще в 1931 г., рисунок 1. Он предложил смонтировать под полом зрительного зала кинотеатра своеобразный гидравлический механизм, позволяющий перемещать зрительские кресла в соответствии с происходящим на экране. Однако, изобретение так и не было реализовано.

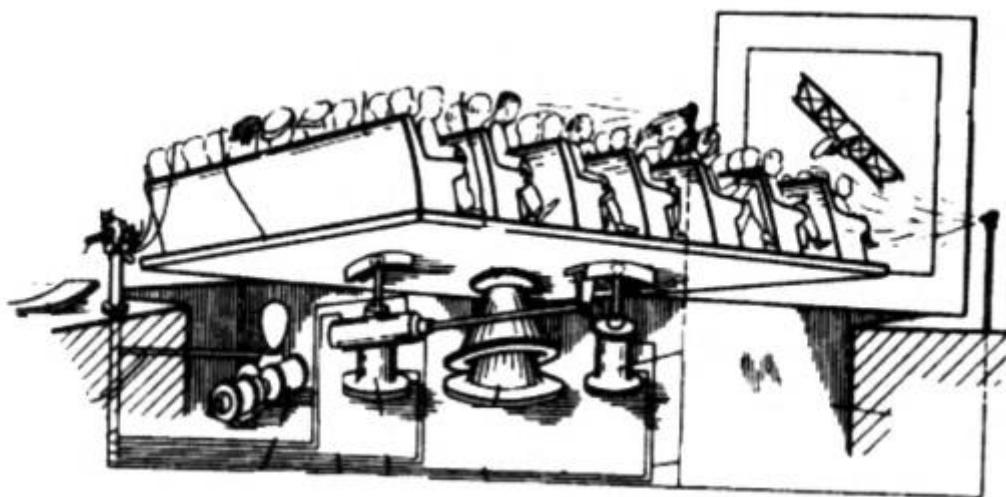


Рисунок 1 – Схема «увеселительного устройства» Дж.Гвиннета

Первое промышленное применение механизмов параллельной структуры – это машина для испытания механических свойств материала шин, созданная Гоугом в Великобритании в 1950 г. представлена на рисунке 2. Фактически это был огромный чувствительный элемент, способный измерять силы и моменты на испытываемом колесе во всех направлениях.



Рисунок 2 – Машина Гоуга

На текущий момент на рынке механизмов с параллельной кинематикой можно найти большое количество вариантов исполнения компоновки. Данное разнообразие определяется различиями в использовании разных типов приводов и реализации тех или иных

кинематических схем, реализующих требуемый закон движения выходного звена.

Известен многоцелевой станок Ulyses от Fatronic (Испания) (42 источник) представленный на рисунке 3, а. Станок обеспечивает перемещение выходного звена по трем декартовым координатам.

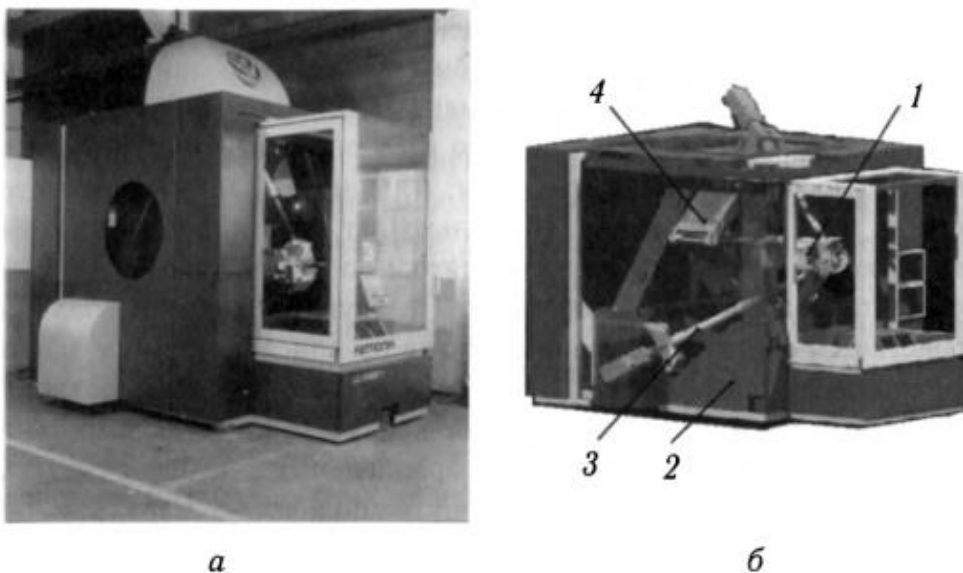


Рисунок 3 – Станок модели Ulyses: а – общий вид станка, б – кинематическая схема.

Выходное звено (1), на котором установлен шпиндель, связано со станиной станка (2) четырьмя кинематическими цепями (рис. 3, б). Три из них содержат приводы (3). Данные кинематические цепи представляют телескопические штанги с шариковой винтовой передачей. Кинематическая цепь (4) не содержит исполнительных приводов и представляет собой достаточно сложный механизм. Цепь (4) обеспечивает перемещение в вертикальной плоскости по двум координатам. Для увеличения жесткости конструкции каждое звено при соединении с другим звеном имеет по две разнесенные опоры. Перемещение в направлении оси z осуществляется по скользящим направляющим.

К положительным качествам относится большой рабочий объем по всем осям и высокая скорость выходного звена. К недостаткам данного прототипа относится наличие только 3 степеней свободы выходного звена и большая масса конструкции.

Также известно устройство, описанное в патенте РФ №2395380, принципиальная схема которого представлена на рисунке 2.

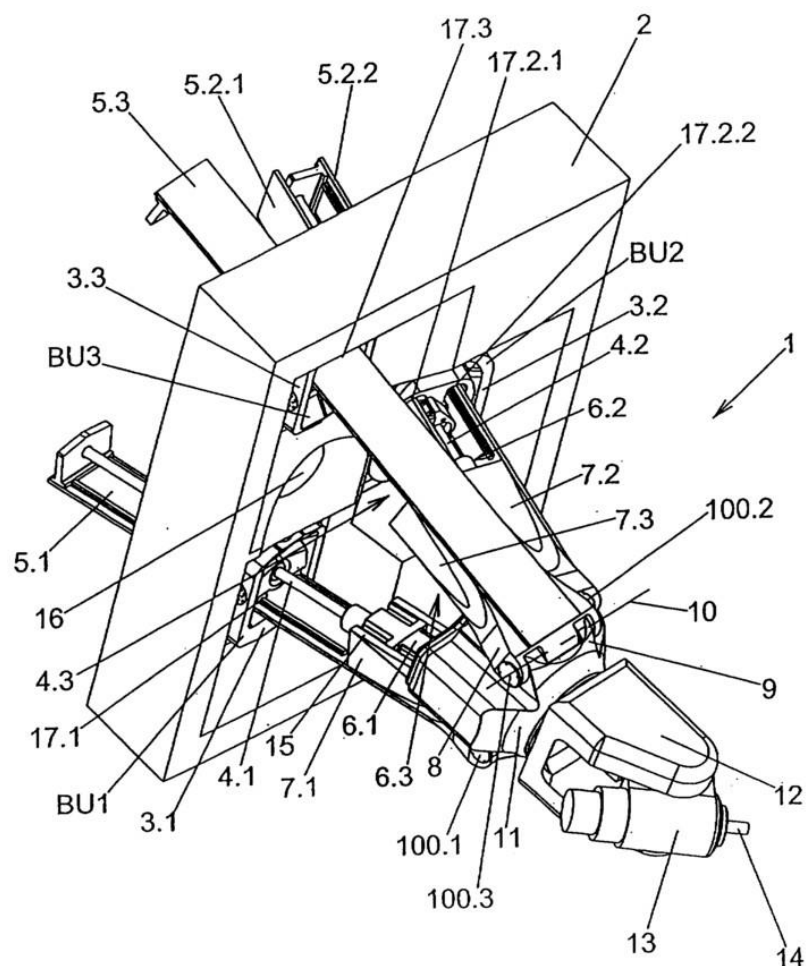


Рисунок 4 – Принципиальная схема робота с тремя установочными приспособлениями

Изобретение относится к станкам, в частности к роботам, предназначенным для работы в промышленности. Параллельный кинематический механизм (1) включает установочные приспособления (4.1, 4.2, 4.3), имеющие возможность по отдельности удлиняться и укорачиваться, и соединенные с установочной головкой (11) посредством первого соединения (8, 9, 10), а с основанием (2) - посредством карданного шарнира (3.1, 3.2, 3.3). Установочная головка (11) расположена с возможностью перемещения в пределах рабочей зоны при маневрировании установочных приспособлений (4.1, 4.2, 4.3). Усиливающие балки (5.1, 5.2, 5.2.1, 5.2.2) соединены с установочной головкой (11) посредством соответствующей поворотной опоры (100.1, 100.2) балки, каждая из которых имеет только одну степень свободы и имеет возможность скольжения в поперечном направлении в опоре (17.1, 17.2, 17.2.1, 17.2.2) балки в основании (2) при удлинении или укорачивании одного или более установочных приспособлений (4.1, 4.2, 4.3). Каждая опора (17.1, 17.2, 17.2.1, 17.2.2) балки соединена с основанием (2) посредством карданного шарнира (BU1, BU2)

опоры. Опора (17.2, 17.2.1, 17.2.2) усиливающей балки (5.2, 5.2.1, 5.2.2) расположена с возможностью поворота вокруг оси, расположенной параллельно продольной оси усиливающей балки (5.2, 5.2.1, 5.2.2).

К положительным качествам относится повышенная жесткость и точность механизма в сочетании с простотой его конструкции. Недостатком конструкции является малый ход установочных приспособлений, что в нашей конструкции решается за счет наличия шести опорных штанг.

Известно устройство, описанное в патенте РФ № 2400351, общий вид которого представлен на рисунке 5

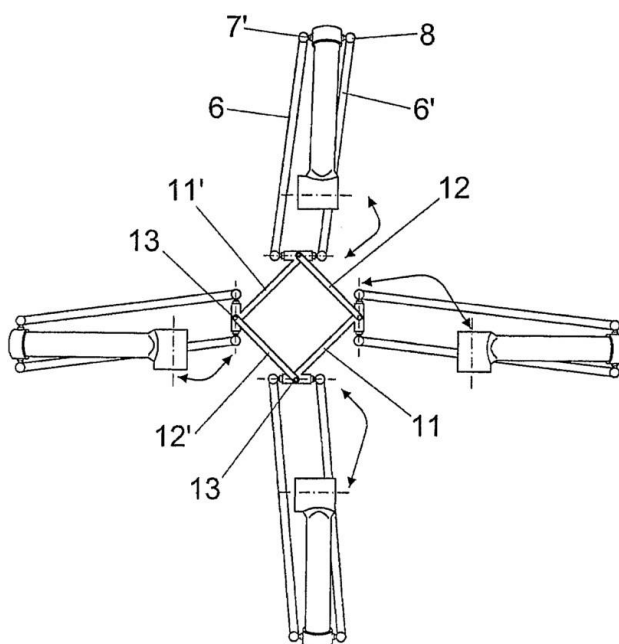


Рисунок 5 – Принципиальная схема робота с четырьмя степенями свободы.

Как показано на рисунке 1, робот содержит четыре кинематические цепи, одним из своих концов связанные посредством поворотных шарниров с приводами, прикрепленными к опорной плите, а другими своими концами - с подвижной платформой, на которой установлен рабочий инструмент.

К положительным качествам относится большой рабочий объем по вертикальной оси и повышенная жесткость за счет спаренных штанг. К недостаткам данного прототипа относится наличие только 4 степеней свободы выходного звена, из-за применения цилиндрических шарнирных опор.

Известен станок с параллельной структурой с переменными длинами штанг (телескопические штанги) Mikromat 6X Неха [35] общий вид которого

представлен на рисунке 6. Шпиндель данного станка имеет предельные углы поворотов 30 градусов, скорость подачи 30 м/мин, а ускорение 1g. Штанги с приводами расположены симметрично относительно оси шпинделя в верхней части станины. Такая компоновка позволяет обеспечить более удобный доступ к рабочей зоне станка. Станок установлен на специальные виброизолирующие подушки.



Рисунок 6 – Станок модели Mikromat 6X Hexa.

К положительным качествам относится большой предельный угол поворота шпинделя. К недостаткам данного прототипа относится низкая скорость перемещений выходного звена.

Известен станок модели Variax фирмы Giddings&Lewis [13, 46]. Отличительной чертой этого станка является станина построенная по триангуляционному принципу и имеет вид октаэдра. Это обеспечивает высокую прочность штанг и жесткость станка в целом.

Известен станок модели HEXEL. Шарниры основания расположены на одной плите и закрыты сферическими колпаками. Основание расположено в верхней части станины. Такая компоновка позволяет обеспечить более удобный доступ к рабочей зоне станка.

Известен технологический модуль фирмы АО «ЛАПИК» выполненный в качестве координатной измерительной машины [2, 13, 14].

В конструкции используются электродвигатели постоянного тока и фрикционным приводом. Установлена система обратной связи по положению. Для этого используется лазерный интерферометр. Система позволяет компенсировать погрешность измерения, учитывая изменения температуры, влажности и атмосферного давления. В результате этого точность позиционирования рабочих узлов по осям координат достигается 0,8 мкм.

Известен станок с параллельной структурой с постоянными длинами штанг PARALIX общий вид и кинематическая схема которого представлены на рисунке 7, а. В станке PARALIX используются штанги постоянной длины (2) (рис. 7, б), которые связаны с выходным звеном (1) сферическими шарнирами. Каждая штанга связана с ползуном (3) карданным шарниром. Ползуны (3) перемещаются по направляющим (4), которые установлены на станине (6). На ней расположен и рабочий стол (5). Все это выполнено в сочетании с горизонтальной компоновкой механизма параллельной структуры.

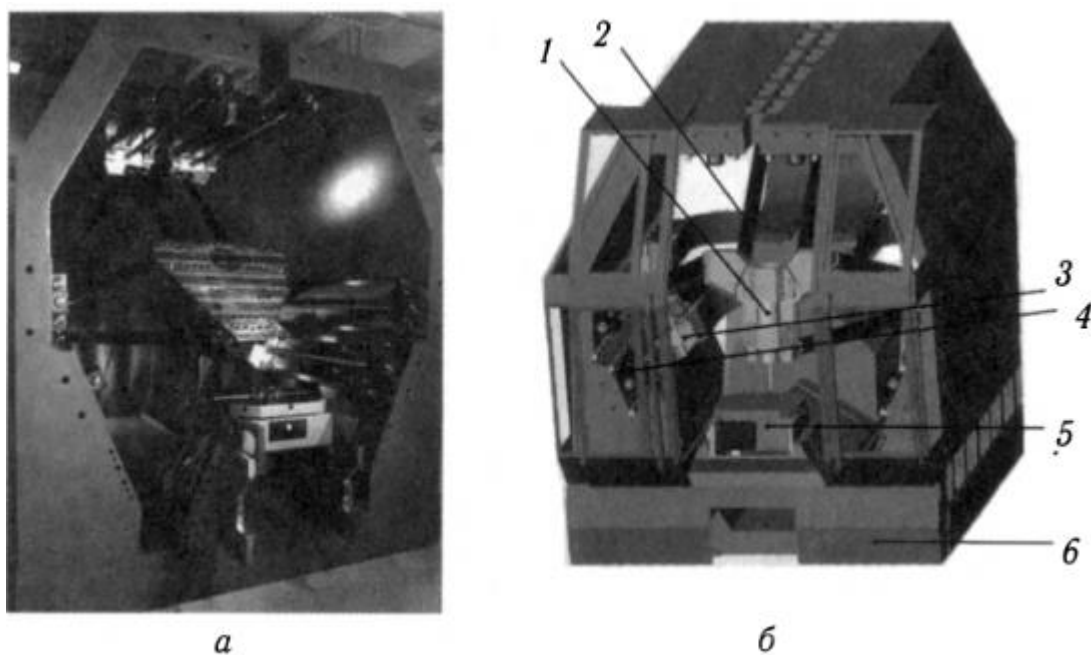


Рисунок 7 – Станок модели PARALIX: а – общий вид, б – кинематическая схема.

К положительным качествам относится конструктивная простота, так как шариковые винтовые передачи не находятся в относительном движении со штангами.

К недостаткам данного прототипа относится наличие карданного шарнира, который ограничивает перемещение выходного звена по вертикальной оси.

Описанные в данном разделе конструкции стендов представляют собой основные типы конструкций, промышленные образцы которых используются сегодня. На основе обзора можно выделить характеристики которые требуется достичь при разработке. Выходное звено должно иметь 5 степеней свободы. Рабочее пространство должно быть удобно для обслуживания. Привода должны быть расположены симметрично для компенсации ошибок. Штанги должны быть постоянной длины. Станина должна быть жесткой. Выходное звено должно иметь большой предельный угол поворота.

Анализируя конструкцию и особенности существующих прототипов, необходимо предложить принципиальную схему 5D-механизма с параллельной кинематикой, расположив привода на сфере симметрично в пространстве.

### 3. ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Принципиальная схема механизма представлена на рисунке 8. В состав механизма входит шесть управляющих приводов 1, которые плоскопараллельно перемещают штанги 2. Штанги соединены с площадкой 3 с помощью сферических шарниров 4. За счет последних площадка имеет шесть степеней свободы, однако в данной работе рассматриваются только перемещения по пяти координатам: линейное перемещение по 3 осям и два вращательных перемещения. Вращательное перемещение вокруг оси площадки не учитывается.

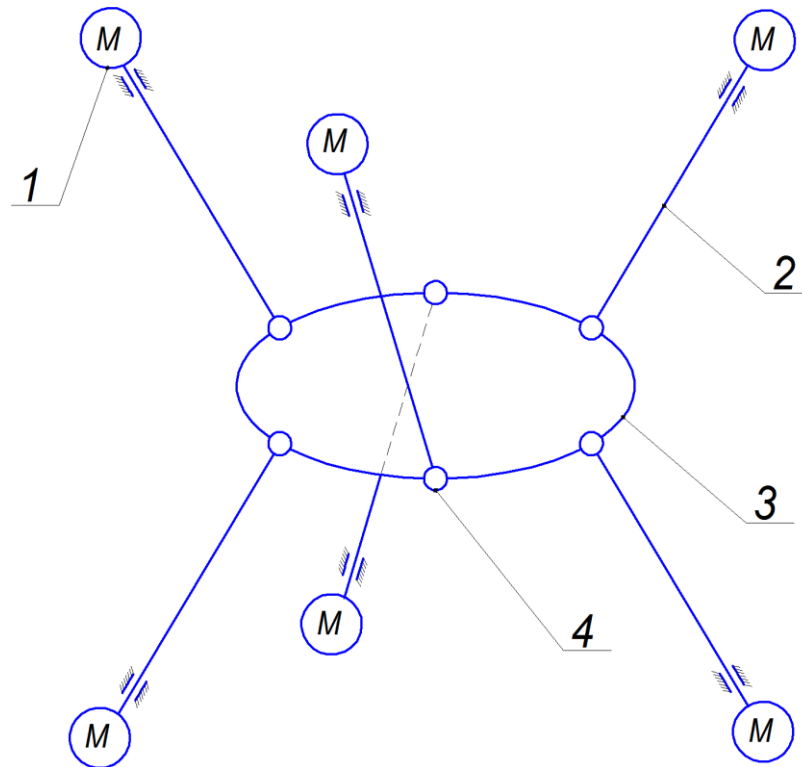


Рисунок 8 – Принципиальная схема исследуемого механизма

Плоскопараллельное перемещение штанг вдоль направляющих осуществляется с помощью пары «винт-гайка» входящей в состав приводов. Для перемещения и поворота площадки, которая служит выходным звеном, один либо несколько приводов перемещают вдоль направляющих штанги которые увлекают за собой площадку.

На основе принципиальной схемы разработана модель для исследования механизма, рисунок 9.

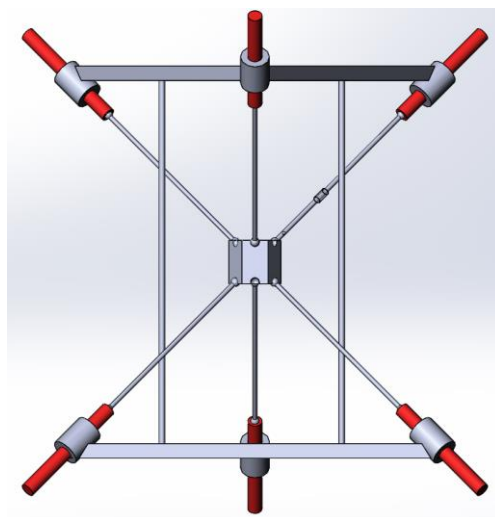


Рисунок 9 – Модель исследуемого механизма

Механизм включает в себя две треугольной платформы, в углах которых закреплены направляющие и шаговые двигатели оснащенные поступательной парой винт-гайка. К каждому двигателю с помощью сферических шарниров присоединена штанга. Противоположный конец штанги соединен с площадкой с помощью сферических шарниров. Площадка выполнена в виде восьмиугольника к граням которого крепятся шарниры. Вращение двигателя приводит к перемещению гайки вдоль винта, в результате чего штанга изменяет свое положения вдоль направляющих.

Особенностью данной компоновки является то что оси приводов расположенных в верхней части механизма пересекаются в точке, которая находится на расстоянии 3 мм от точки пересечения осей приводов расположенных в нижней части механизма. Такая схема расположения обеспечивает высокую точность позиционирования за счет жесткости штанг, при этом расстояние между точками пересечения осей верхних и нижних приводов исключает заклинивания механизма при небольшой ресинхронизации работы двигателей.

## **4. РАСЧЕТЫ И АНАЛИТИКА.**

### **4.1 Обоснование выбора комплектующих**

#### **4.1.1 Выбор привода**

В качестве привода выбраны шаговые двигатели как наиболее подходящие для данной цели. Двигатель должен работать в условиях переменных скоростей или реверсивного движения, поэтому асинхронные двигатели, движущий момент которых зависит не только от тока в статоре, но и от скорости вращения вала, не подходят. Также есть требование к массе, поэтому двигатели постоянного тока также не подходят из-за своей массы, которую нельзя сократить, так как она определяется конструкцией. Синхронный двигатель не отвечает требованиям постоянства момента, так как из-за малого числа фаз движущий момент сильно изменяется.

Шаговые двигатели по конструкции являются синхронными и имеют все их достоинства и недостатки, но эти двигатели открывают широкие возможности их использования если речь идет о малых перемещениях. Шаговые двигатели позволяют с высокой точностью преобразовывать цифровой электрический сигнал не посредственно в дискретные угловые перемещения (шаги) ротора. По сравнению с другими устройствами которые могут выполнять эти же или подобные функции, система управления, используемая в шаговых двигателях, обладает следующими существенными преимуществами:

- отсутствие обратной связи
- не накапливает ошибка положения
- совместимы с цифровыми устройствами
- перемещается за каждый импульс управления на определенный фиксированный угол

Для рассматриваемого механизма подходит шаговый двигатель модели FL61ST.

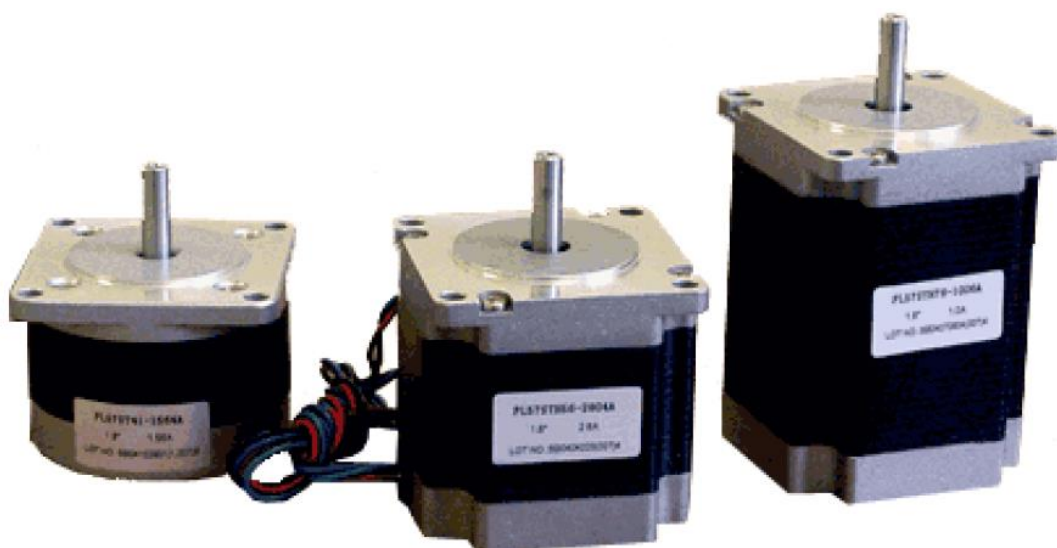


Рисунок 10 – Внешний вид шагового двигателя FL61ST

Таблица 1 – Технические характеристики шагового двигателя FL61ST

|                                                   |      |
|---------------------------------------------------|------|
| 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 |

Преобразование вращательного движения создаваемого шаговым двигателем в поступательно осуществляется за счет пары «винт-гайка». Выбор пары «винт-гайка» следует производить при известных массовых и силовых характеристиках механизма, а также максимального требуемого линейного перемещения.

#### 4.1.2 Выбор шарнирных опор

Шарнирные опоры будут реализованы с помощью шарнирных подшипников сопряженных с штангами. 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.

Для рассматриваемого механизма подходим шарнирный подшипник 3ШЛТ17

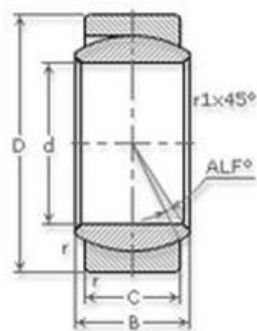


Рисунок 11 – Конструктивная схема шарнирного подшипника

Таблица 2 – Технические характеристики шарнирного подшипника 3ШЛТ17

|                                  |         |
|----------------------------------|---------|
| Номер (по ГОСТ)                  | 3ШЛТ17  |
| Диаметр внешний                  | 47      |
| Диаметр внутренний               | 17      |
| Грузоподъемность динамическая, Н | 91 160  |
| Грузоподъемность статическая, Н  | 303 880 |
| ALF, град                        | 31      |

## 4.2 Анализ кинематики

Можно выделить следующие задачи кинематического анализа:

1. Прямая задача кинематики, которая заключается в определении траекторий движения выходного звена по заданным законам движения приводных звеньев.
2. Обратная задача заключается в определении законов перемещения управляемых приводов, обеспечивающих требуемый закон перемещения выходного звена механизма.

При анализе кинематики механизмов считается, что структурная схема механизма известна и все зависимости определяются через заданные длины звеньев, управляемые координаты и конструктивные размеры механизма.

При кинематическом анализе есть 2 варианта решения задач:

1. Составление уравнений описывающих 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.
2. Предварительный расчет координат входных и выходного звеньев, составление на основе этого массива данных. Далее 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.

В данной работе будет реализован второй вариант. Решив обратную задачу, запишем для каждого положения выходного звена, положения управляемых приводов.

Так как исследуемый механизм имеет 5 степеней свободы, требуется для каждой точки пространства знать не только положение конечного звена по 3 осям координат, но и 2 угла поворота. Поэтому обратную задачу целесообразно решить в 2 этапа:

1. Необходимо найти линейное положение двигателей, когда конечное звено находится в заданной точке, при этом площадка перпендикулярна одной из плоскости образованной осями координат.
2. Необходимо найти линейное положение двигателей, когда конечное звено находится в заданной точке, при этом площадка не перпендикулярна ни одной из плоскости образованной осями координат.

Используя модель построенную в SolidWorks последовательно решим обратную задачу. Для первого этапа зададимся точкой с координатами XYZ [30; 5; 30] относительно начального положения конечного звена. Перемещаем площадку с закрепленным на ней инструментом, так чтобы ноль инструмента пришел в заданную точку.

Графики положения ноля инструменты. Из них видно, что конечное звено пришло в заданную точку.

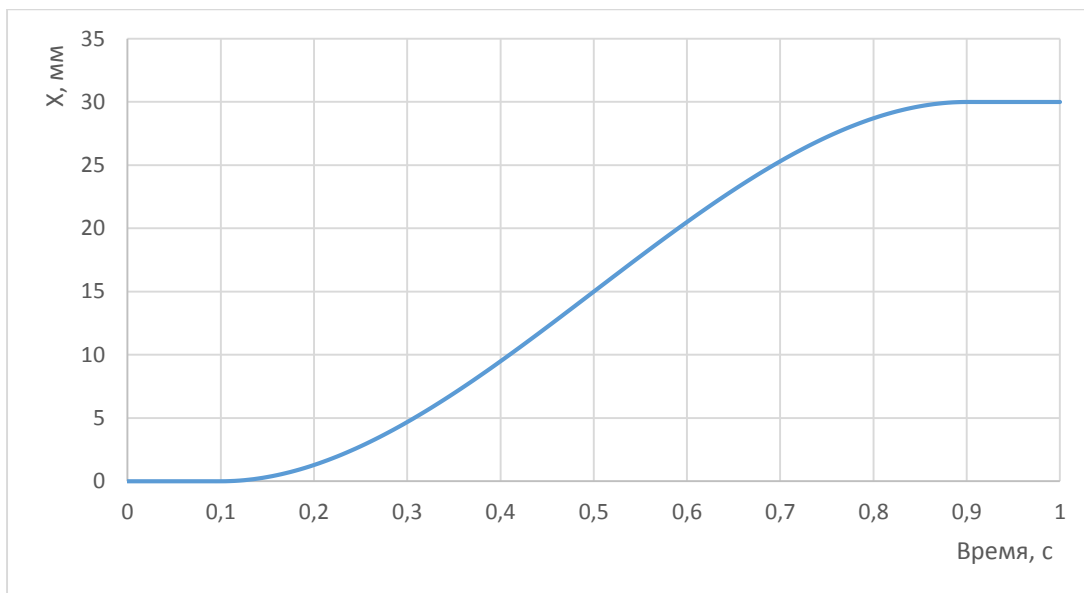


Рисунок 12 – Изменение значений положения точки по оси X

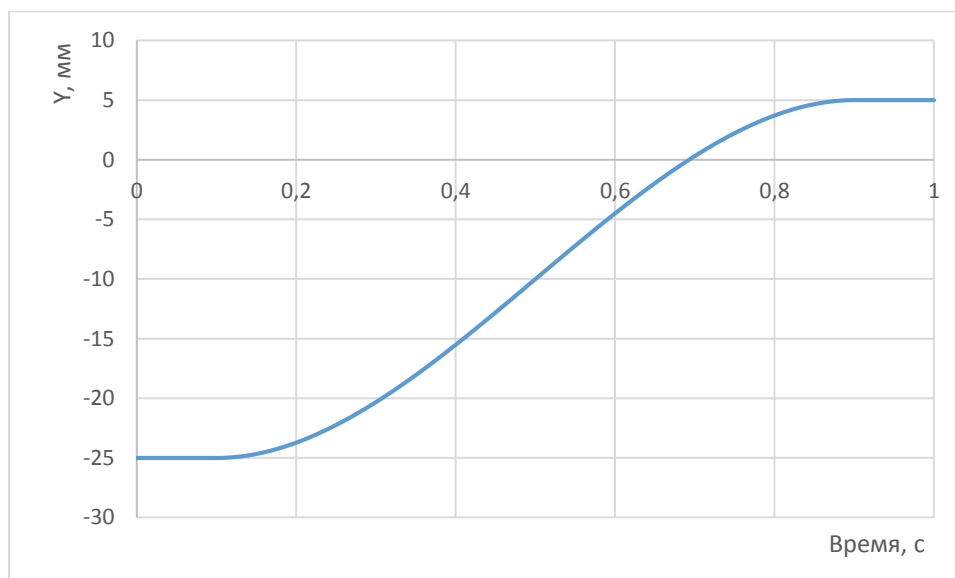


Рисунок 13 – Изменение значений положения точки по оси Y

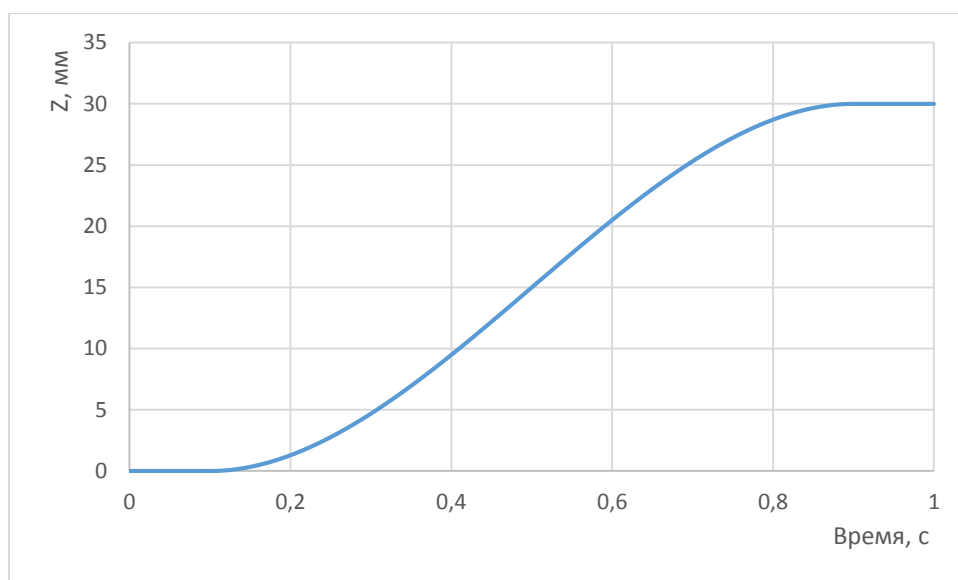


Рисунок 14 – Изменение значений положения точки по оси Z

На графиках можно выделить зону разгона, зону торможения и зону ускоренного перемещения. Точка перемещается равномерно по всем 3 координатам, значит движение без рывков. Итого конечное звено прошло путь 30 мм по всем осям, 51,96 по прямой.

Графики линейного положения двигателей при выходе в заданную точку:

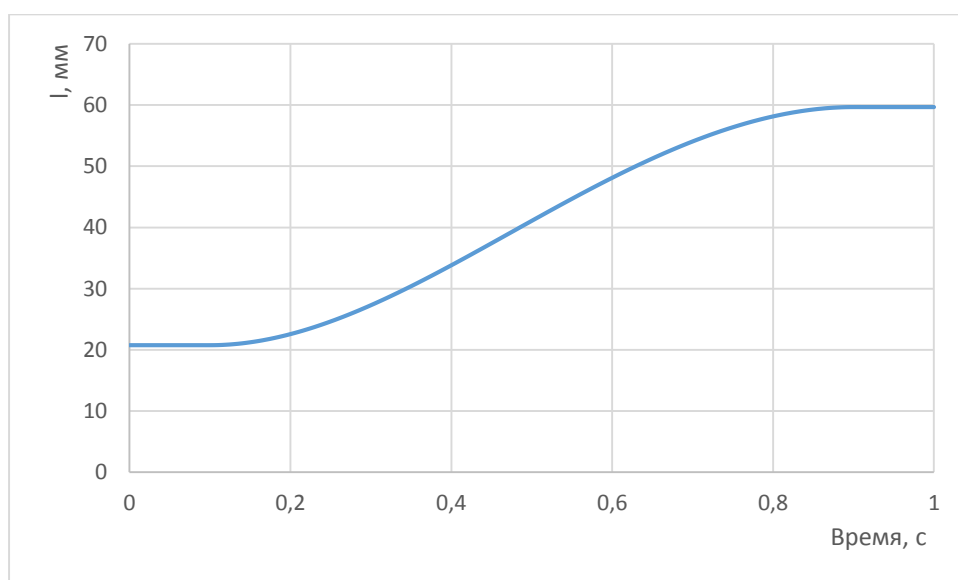


Рисунок 15 – Изменение значений линейного положения привода 1

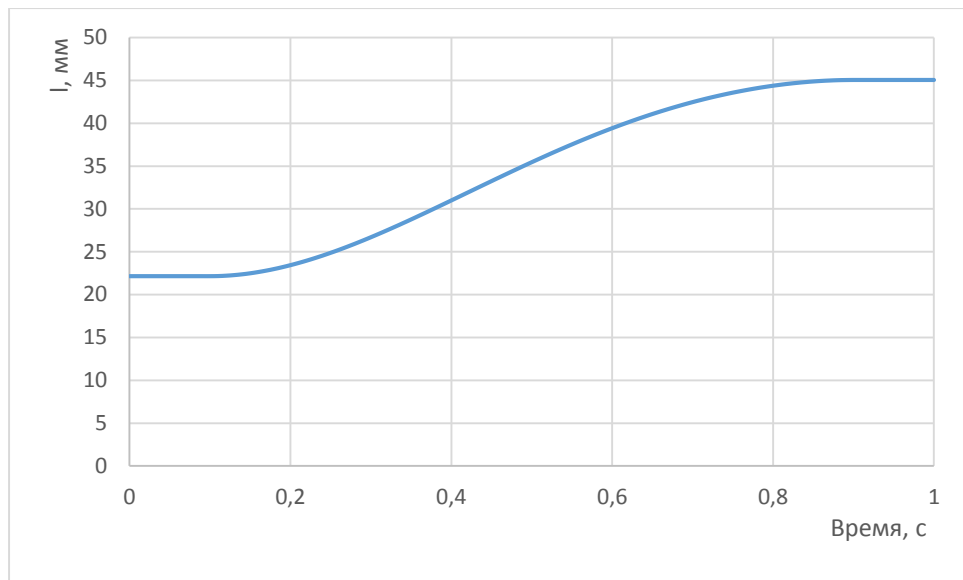


Рисунок 16 – Изменение значений линейного положения привода 2

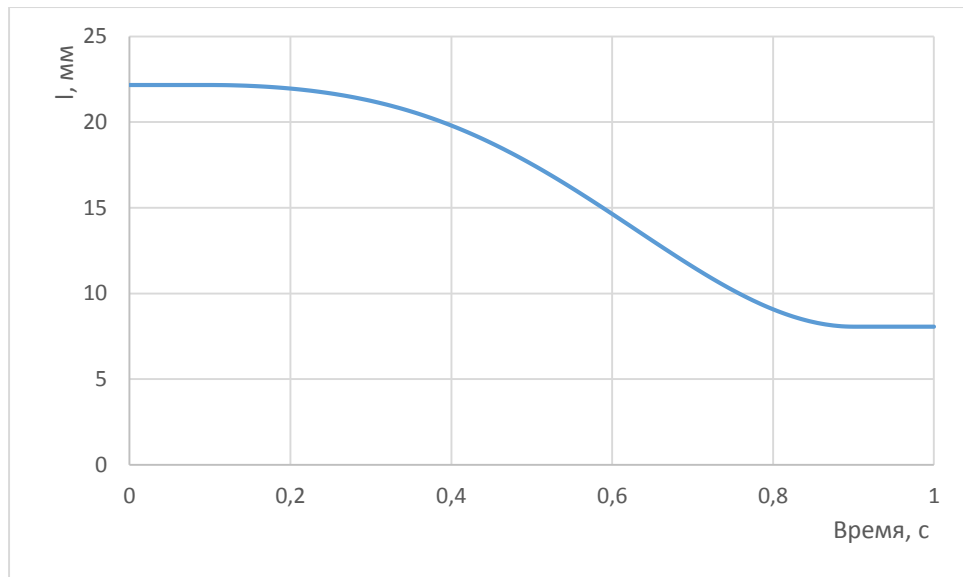


Рисунок 17 – Изменение значений линейного положения привода 3

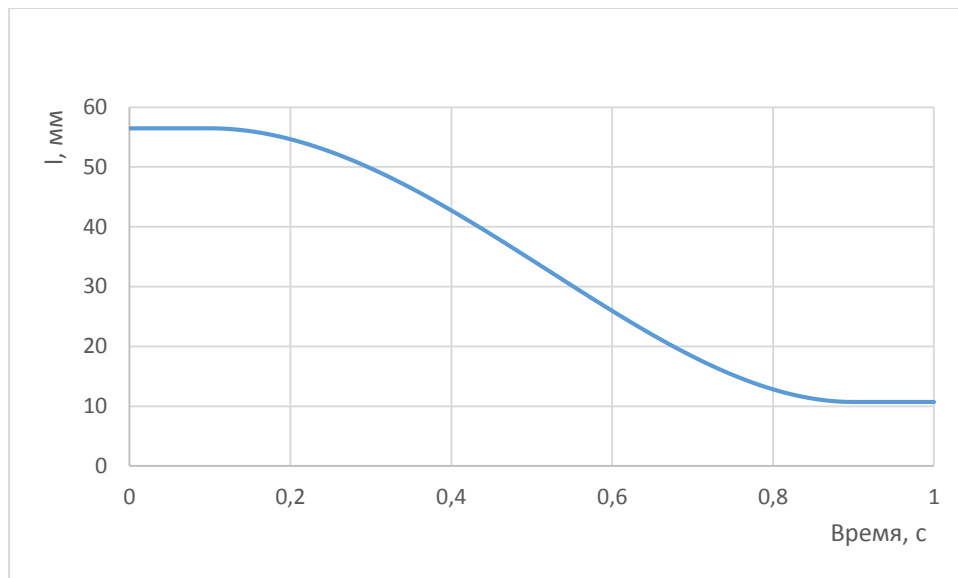


Рисунок 18 – Изменение значений линейного положения привода 4

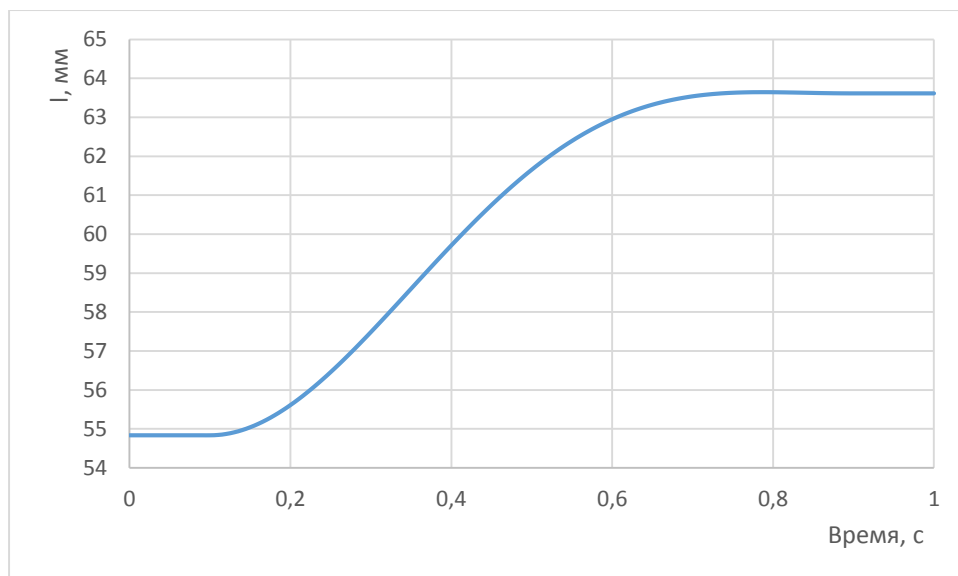


Рисунок 19 – Изменение значений линейного положения привода 5

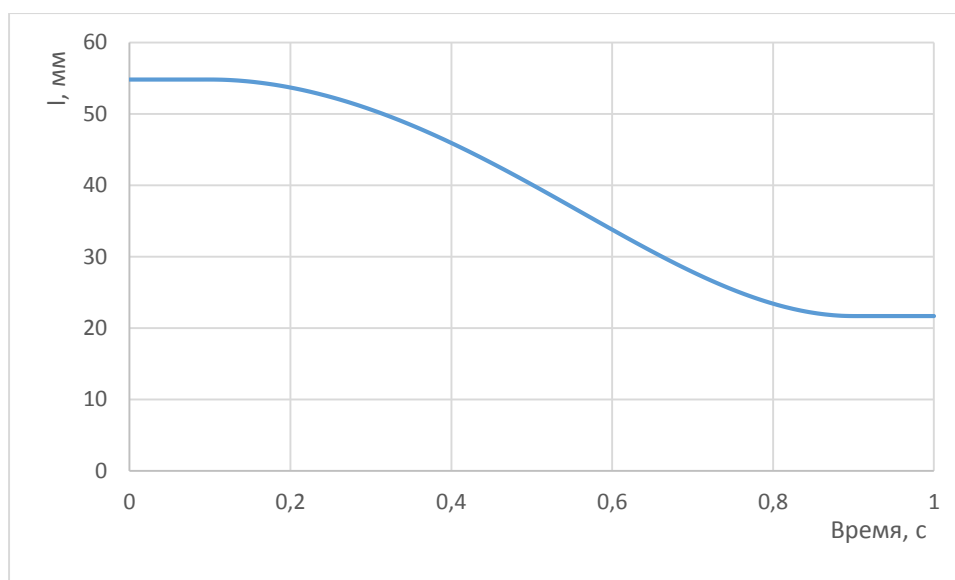


Рисунок 20 – Изменение значений линейного положения привода 6

Запишем полученные данные в таблицу:

Таблица 3 – Данные получение при исследовании

| Название координаты | Значение | Название координаты | Начальное значение | Конечное значение | Путь  |
|---------------------|----------|---------------------|--------------------|-------------------|-------|
| X начальное         | 30       | Двигатель 1         | 20,77              | 59,60             | 33,83 |
| Y начальное         | -25      | Двигатель 2         | 21,16              | 45,05             | 23,89 |
| Z начальное         | 30       | Двигатель 3         | 22,16              | 8,05              | 14,11 |
| X                   | 30       | Двигатель 4         | 56,47              | 10,69             | 45,78 |
| Y                   | 5        | Двигатель 5         | 54,83              | 63,61             | 8,78  |
| Z                   | 30       | Двигатель 6         | 54,83              | 21,69             | 33,14 |

Таким образом каждой точке рабочего пространства можно присвоить координаты линейного перемещения двигателей, которые обеспечивают нахождение конечного звена в этой точке. Положение двигателя в последний момент времени (1 секунда) и есть ответ для обратной задачи.

Исходя из ТЗ наша площадка должна иметь возможность углового наклона. Для определения возможных положений в заданной точке при разном угловом положении измерим линейное положение двигателей,

закрепив ноль инструмента в одной точке и обходя ось площадки некоторую окружность.

Графики линейного положения двигателей при выходе в заданную точку

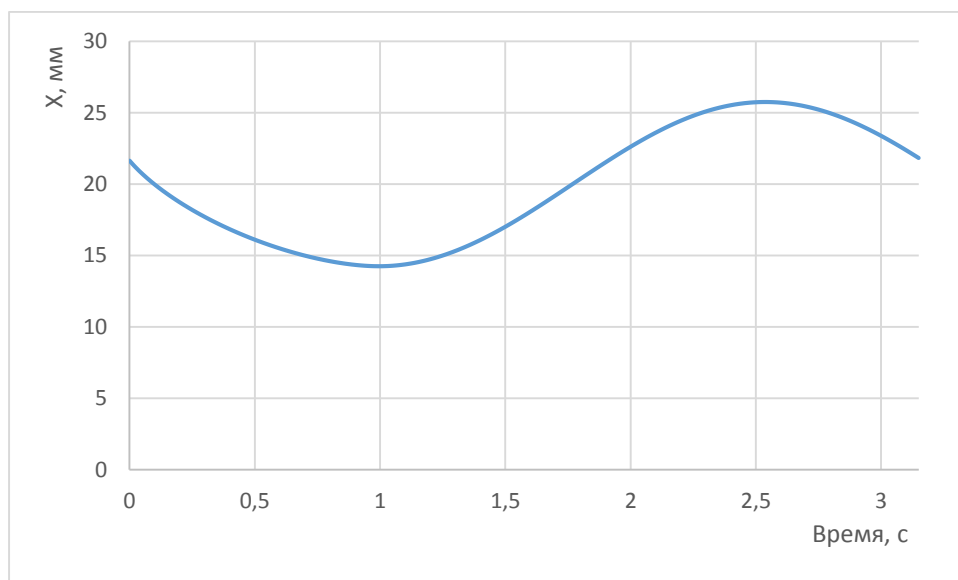


Рисунок 21 – Изменение значений линейного положения привода X

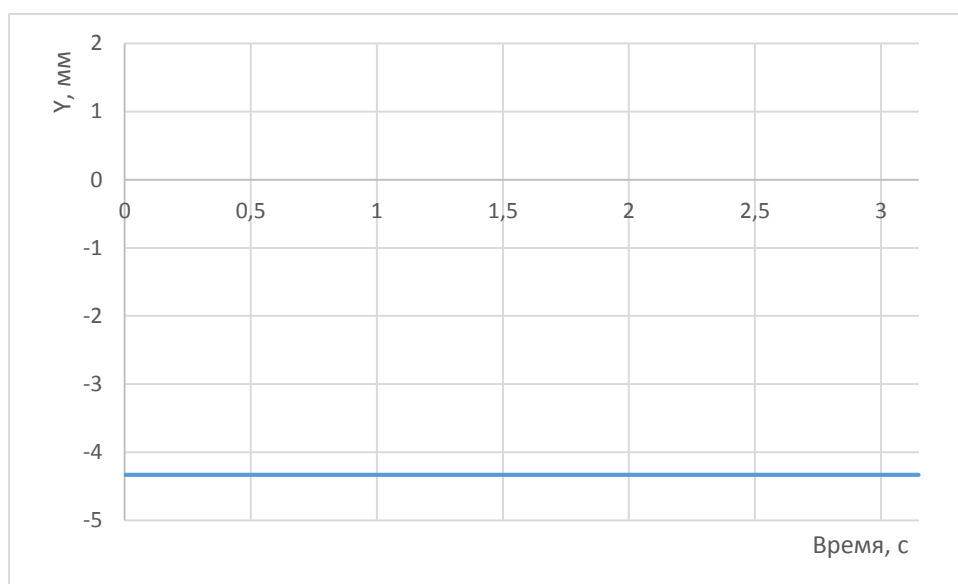


Рисунок 22 – Изменение значений линейного положения привода Y

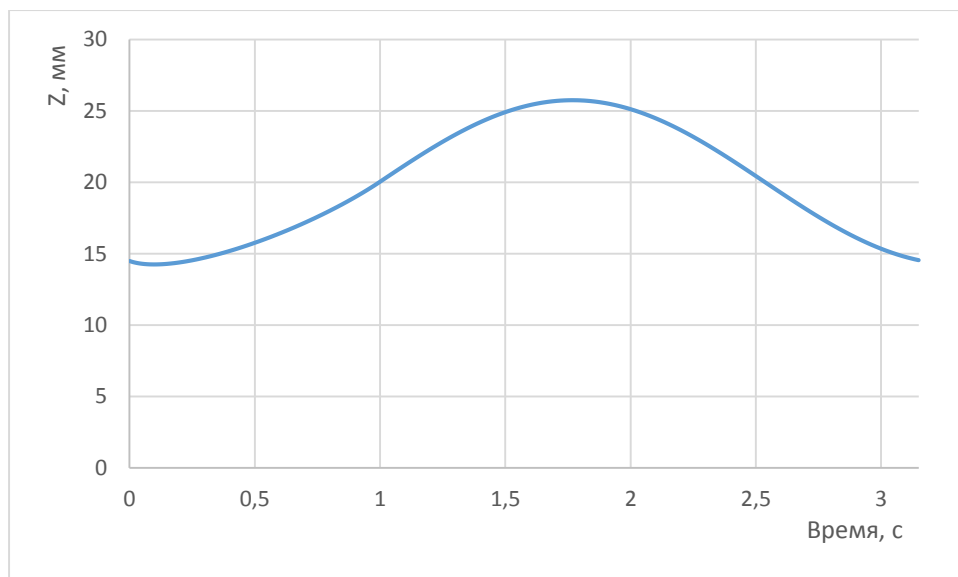


Рисунок 23 – Изменение значений линейного положения привода  $Z$

Одна координата неизменна, значит ноль инструмента не покидает заданную точку. Остальные две координаты меняются по синусоидальному закону, значит площадка вращается по окружности.

Графики линейного положения двигателей при выходе в заданную точку

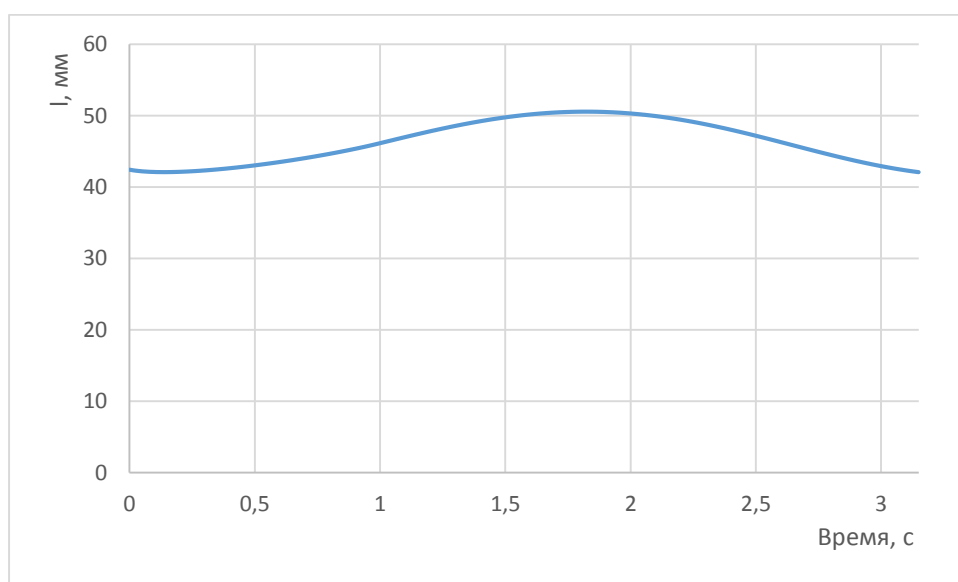


Рисунок 24 – Изменение значений линейного положения привода 1

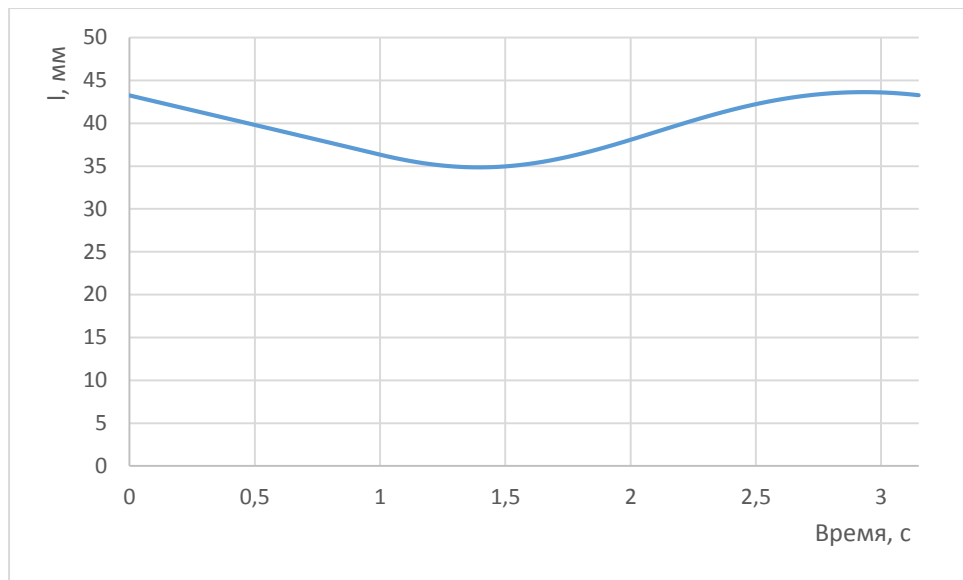


Рисунок 25 – Изменение значений линейного положения привода 2

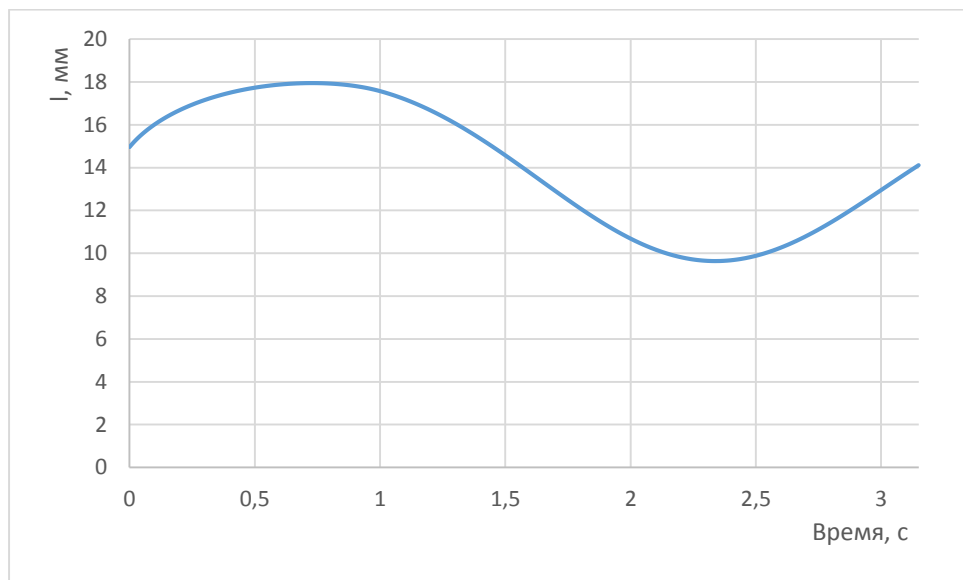


Рисунок 26 – Изменение значений линейного положения привода 3

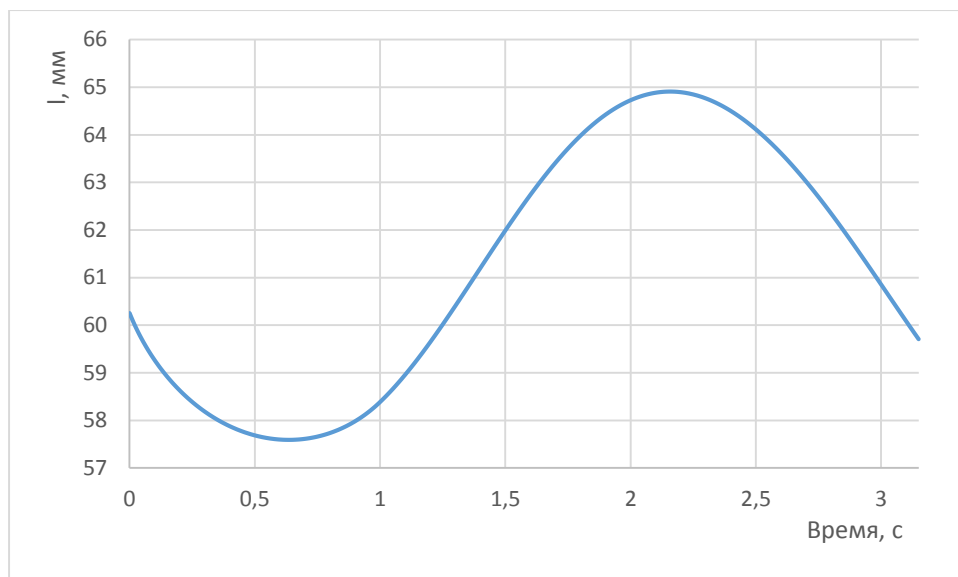


Рисунок 27 – Изменение значений линейного положения привода 4

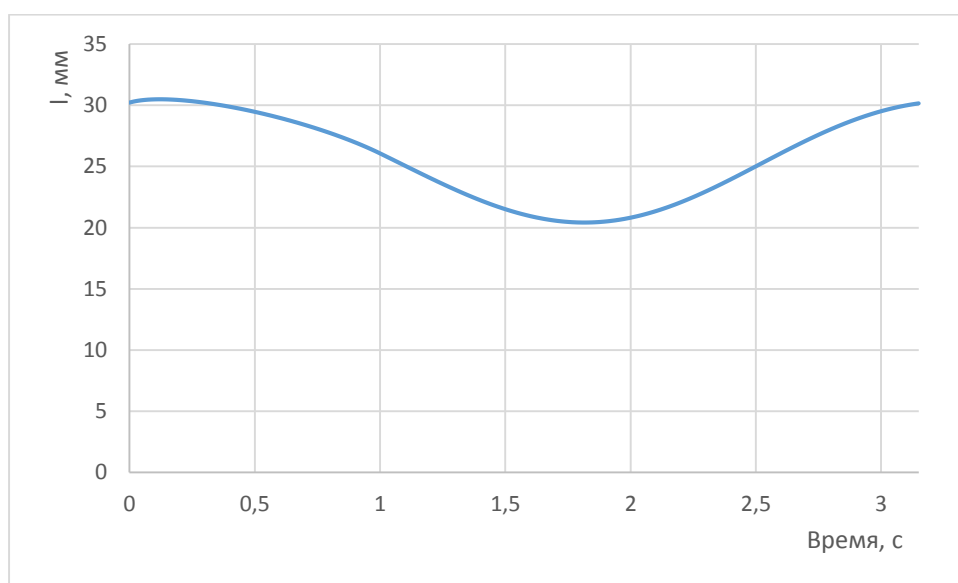


Рисунок 28 – Изменение значений линейного положения привода 5

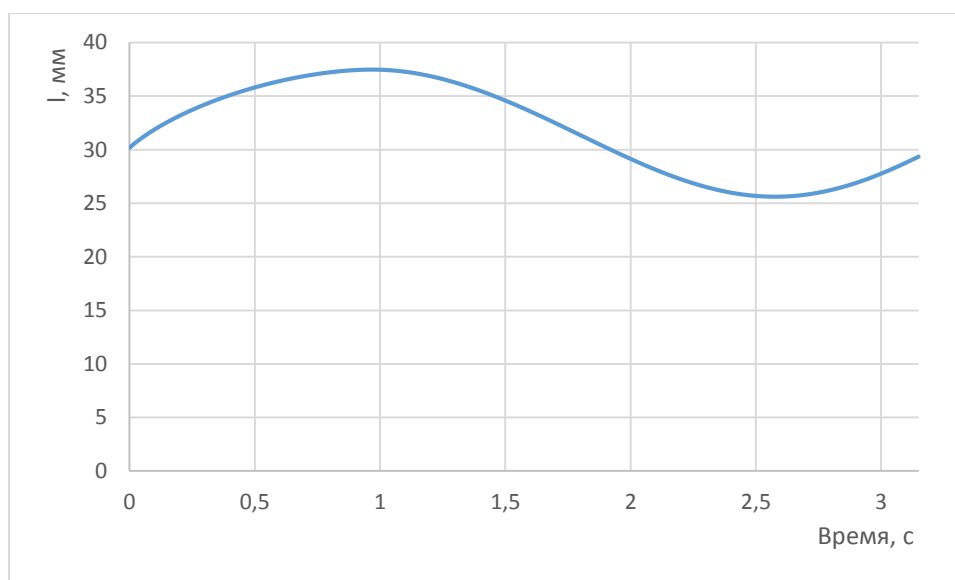


Рисунок 29 – Изменение значений линейного положения привода б

Связав линейное положение двигателя в определенный момент с углом поворота площадки, можно найти для каждого заданного положения в пространстве и углу наклона положения двигателей.

Таблица 4 – Координаты площадки

| Угол обхода | Координата X | Координата Z | Линейное положение первого двигателя | Угол А   | Угол В   |
|-------------|--------------|--------------|--------------------------------------|----------|----------|
| 0           | 21,8314      | 14,54945     | 42,07127                             | -13,3    | 0        |
| 1,128527    | 21,64067     | 14,48904     | 42,41576                             | -13,4806 | 0,198879 |
| 2,257053    | 21,442       | 14,43375     | 42,35567                             | -13,6613 | 0,566005 |
| 3,38558     | 21,25347     | 14,38829     | 42,30439                             | -13,8419 | 0,932558 |
| 4,514107    | 21,07355     | 14,35111     | 42,26054                             | -14,0225 | 1,29839  |
| 5,642633    | 20,90108     | 14,32104     | 42,22307                             | -14,2032 | 1,663356 |
| 6,77116     | 20,73514     | 14,29719     | 42,19119                             | -14,3838 | 2,027311 |
| 7,899687    | 20,57502     | 14,27882     | 42,16423                             | -14,5644 | 2,390112 |
| 9,028213    | 20,42013     | 14,26537     | 42,14169                             | -14,7451 | 2,75162  |
| -           | -            | -            | -                                    | -        | -        |
| 355,4859    | 22,23282     | 14,70123     | 42,24723                             | -12,8099 | -1,27239 |

|          |          |          |          |          |          |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 356,6144 | 22,12496 | 14,65706 | 42,1973  | -12,9324 | -0,90446 |
| 357,7429 | 22,01622 | 14,61508 | 42,14896 | -13,0549 | -0,5365  |
| 358,8715 | 21,90664 | 14,57532 | 42,10223 | -13,1775 | -0,16867 |
| 360      | 21,8314  | 14,54945 | 42,07127 | -13,3    | 0        |

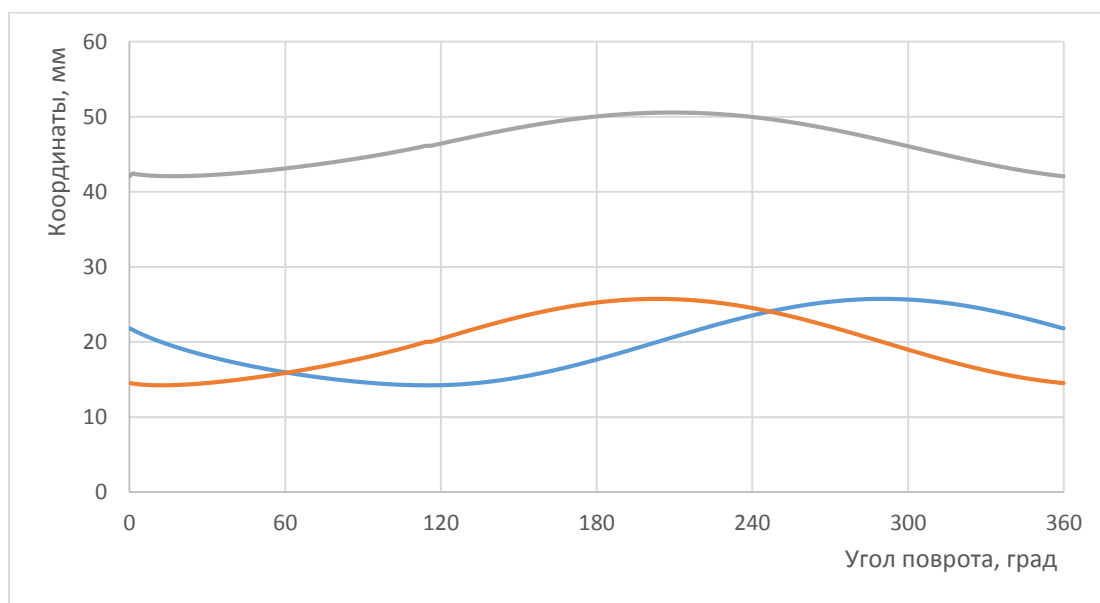


Рисунок 30 – Изменение положения площадки и первого двигателя при повороте площадки вокруг некоторой оси на 360 градусов

Повторив данные манипуляции для каждой точки пространства с заданной дискретностью, можно составить матрицу, которая будет содержать данные о положении двигателей для каждой точки рабочего пространства, при этом каждая точка будет иметь в зависимости от дискретности углового положения  $n$  вариантов положения двигателей.

### 4.3. Анализ динамики

В данном разделе рассматривается создание и дальнейшее исследование математической модели проектируемого 5D-механизма с целью определения оптимальных параметров на этапе его разработки.

Рассмотрим исследуемый механизм с точки зрения динамики. Площадка имеющая массу  $m$  служит выходным звеном. Перемещение площадки осуществляется за счет перемещения штанг. Для облегчения расчетов примем, что перемещается только одна штанга управляемая двигателем. Двигатель примем как абсолютно жесткое звено без трения. Штангу присоединению через шаровой шарнир к площадке представим, как пружину с жесткостью  $c$  и вязкостью  $a$ . Тогда единичное перемещение двигателя передается на площадку в виде силы упругости которая возникает в сжатой пружине. При этом остальные штанги так же взаимодействуют с площадкой как пружины с определенной жесткостью и вязкостью. Жесткость двигателей, массой штанг и шарниров пренебрегаем. В итоге мы имеем массу закрепленную на системе пружин, на которую действует сила упругости созданная единичным перемещением конца входной пружины.

Для облегчения расчетов расположим 5D-механизм таким образом, чтобы входная штанга и противоположная ей лежали в одной плоскости, а остальные штанги при проецировании на эту плоскость совпадали накладываясь друг на друга. Данная схема расположения представлена на рисунке 2. Мысленно заменим штанги на пружины и перенесем их на плоскость рисунка. Тогда схема будет выглядеть следующим образом при виде спереди и сверху:

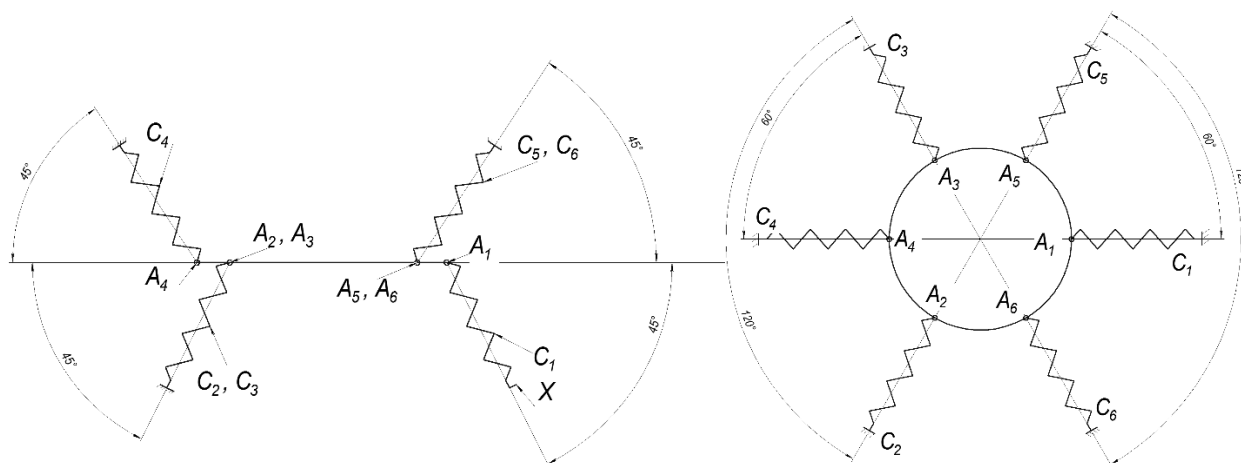


Рисунок 31 – Схема расположения штанг относительно площадки

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

$$C_{1n} = C_1 * \sin 45$$

$$C_{2n} = (C_2 + C_3 + C_5 + C_6) * \sin 60 * \sin 45 + C_4 * \sin 45$$

$$a_{2n} = ((A_2 + A_3 + A_5 + A_6) * \sin 60 * \sin 45) + A_4 * \sin 45$$

$$a_{1n} = A_1 * \sin 45$$

По полученной схеме составим математическую модель.

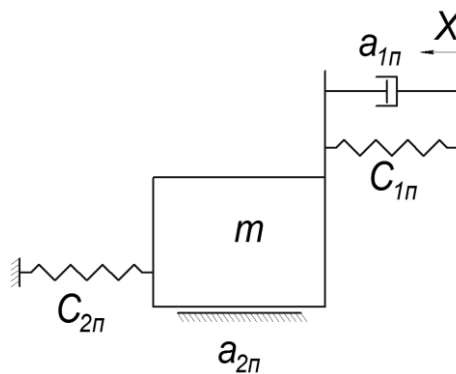


Рисунок 32 – Математическая модель

$C_{1n}$  – приведенная общая жесткость 1 штанги с шарнирами

$C_{2n}$  – приведенная общая жесткость 2,3,4,5,6 штанг с шарнирами

$a_{2n}$  – приведенная общая вязкость для 2,3,4,5,6 штанг с шарнирами

$a_{1n}$  – приведенная общая вязкость для 1 штанги с шарнирами

Используя математический аппарат, описываем математическую модель 5D-механизма.

$$c_1(x_B - x) + (v_B - v)h_1 = ma + h_2v + c_2x$$

$c_1$  – 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

$h_1$  – приведенная общая вязкость для 1 штанги с шарнирами

$h_2$  – приведенная общая вязкость для 2,3,4,5,6 штанг с шарнирами

$m$  – масса площадки

$a$  – ускорение площадки

Составим структурную схему:

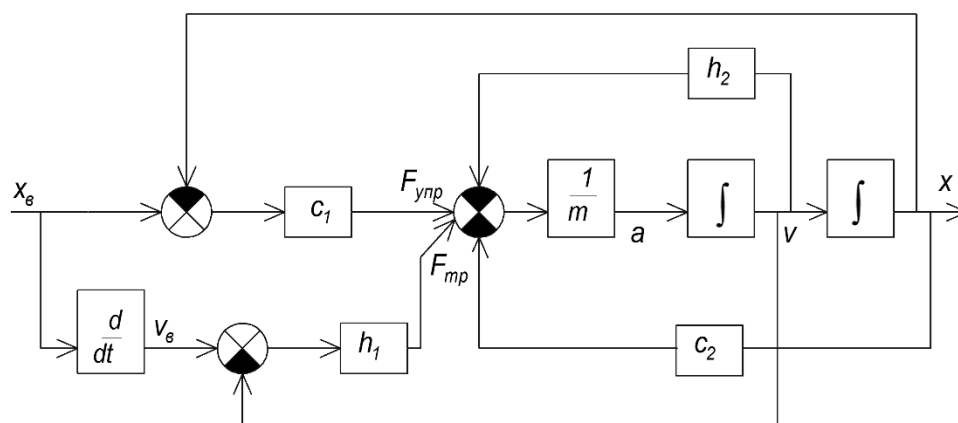


Рисунок 33 – Структурная схема исследуемого механизма

Для проведения исследований необходимо определить входные параметры жёсткостей, массы и вязкостей. Найдём коэффициент жесткости и вязкости для одной штанги. Жесткость штанги будет состоять из суммы жесткости шарнирной опоры и самой штанги.

Суммарная жесткость находится по формуле:

$$\frac{1}{c_0} = \frac{1}{c_{\text{шо}}} + \frac{1}{c_{\text{ш}}} + \frac{1}{c_{\text{шо}}}$$

Жесткость штанги определим с помощью CAE дополнения SolidWorks Simulation.

Жесткость штанги будет равна:

$$c_{\text{ш}} = \frac{F}{x}$$

$F$  — сила приложенная к штанге

$x$  — перемещение конца штанги под действием силы



Рисунок 34 – Схема приложения силы и крепления

При приложенной силе в 100 Н, конец штанги переместился на 0,009 мм.

$$c_{ш} = \frac{100}{0,000009} = 11,1 * 10^6 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$$

Определим жёсткость шарнирной опоры:

Выбранная нами шарнирная опора 3ШЛТ13 будет представляет собой сферический подшипник скольжения. Жесткость данного подшипника будет различной в зависимости от режима работы и углового положения штанги. Рассмотрим 2 случая: нормальная контактная жесткость, касательная контактная жесткость.

Чтобы возникла ситуация при котором ликвидируется зазор в подшипники нужно приложить 100 Н, согласно [4]. Тогда поверхности подшипника начнут взаимодействовать выступами шероховатости.

Контакт шероховатостей можно представить, как контакт двух идеально гладких сфер, рисунок 3:

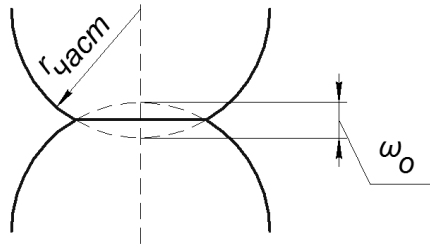


Рисунок 35 – Схема приложения силы и крепления

Найдем деформацию, которая возникает между идеальными сферами с гладкой поверхностью [1] .

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

$G_o$  - деформация

$f_n$  – нормальная сила

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

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

$r_{\text{част}}$  – радиус сферы

$$\omega_o = 2 \left[ \frac{3 * 100(1 - 0,28)}{8 * 79,3 * 10^9 * (1,26 * 10^{-6})^{1/2}} \right]^{2/3} = 9,95 * 10^{-5} \text{ м}$$

Найдем контактную жесткость в направлении нормальной поверхности контакта  $K_n$  можно определить по формуле:

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

$$K_n = \left[ \frac{3 * 1,26 * 10^{-6} * (79,3 * 10^9)^2}{(1 - 0,28)} 100 \right]^{1/3} = 1291733 \text{ Н/м}$$

Согласно [1], касательная компонента контактной жесткости:

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

$$K_t = \frac{2(1 - 0,28)}{2 - 0,28} \left(1 - \frac{0,1}{100 * \tan 30}\right)^{\frac{1}{3}} * 1291733 = 108118 \text{ Н/м}$$

Найдем общую жесткость, состоящую из жесткостей последовательно соединенных: нормальная контактная жесткость, касательная контактная жесткость, жесткость штаги, жесткость в случае минимального зазора.

Суммарная жесткость:

$$\frac{1}{c_o} = \frac{1}{c_{шо}} + \frac{1}{c_{ш}} + \frac{1}{c_{шо}} = 23208 \frac{H}{M}$$

Так как все привода имеют одинаковое конструктивное исполнение принимаем что:

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

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

$$C_{1п} = 23208 * 0,7 = 16245,6 \frac{H}{M}$$

$$C_{2п} = (23208 * 4) * 0,86 * 0,7 + 23208 * 0,7 = 72130,4 \frac{H}{M}$$

Коэффициент вязкости найдем исходя из того , что для коэффициент затухания следует выбирать 0,3.

Формула коэффициента затухания:

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

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

$$h_{1п} = 0,3 * 2 * \sqrt{16245,6 * 2} = 108$$

$$h_{2п} = 0,3 * 2 * \sqrt{72130,4 * 2} = 227$$

Подставляем данные в математическую модель и проводим исследования в Matlab Simulink.

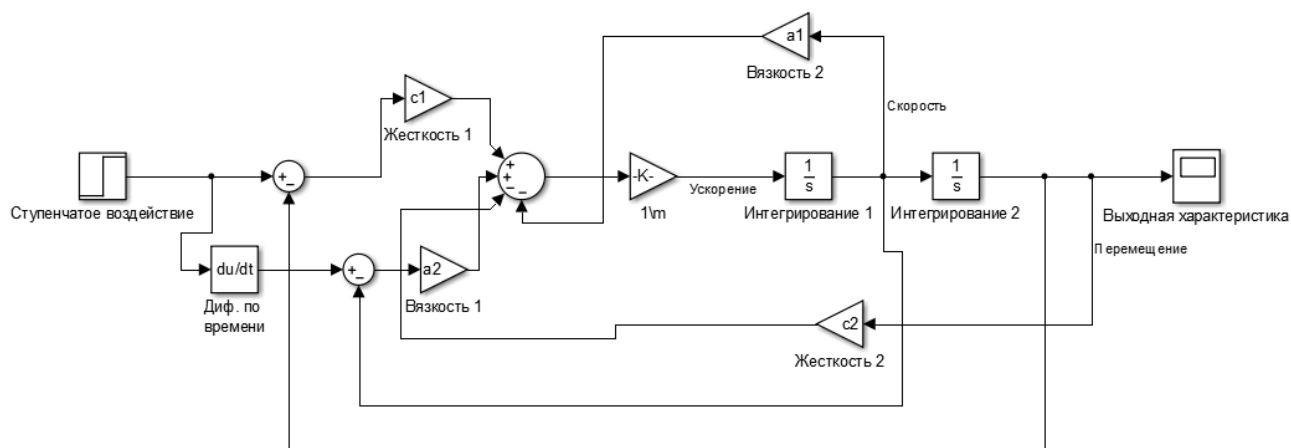


Рисунок 36 – Вид динамической модели в Simulink

В результате получаем график перемещения выходного звена, рисунок 1.

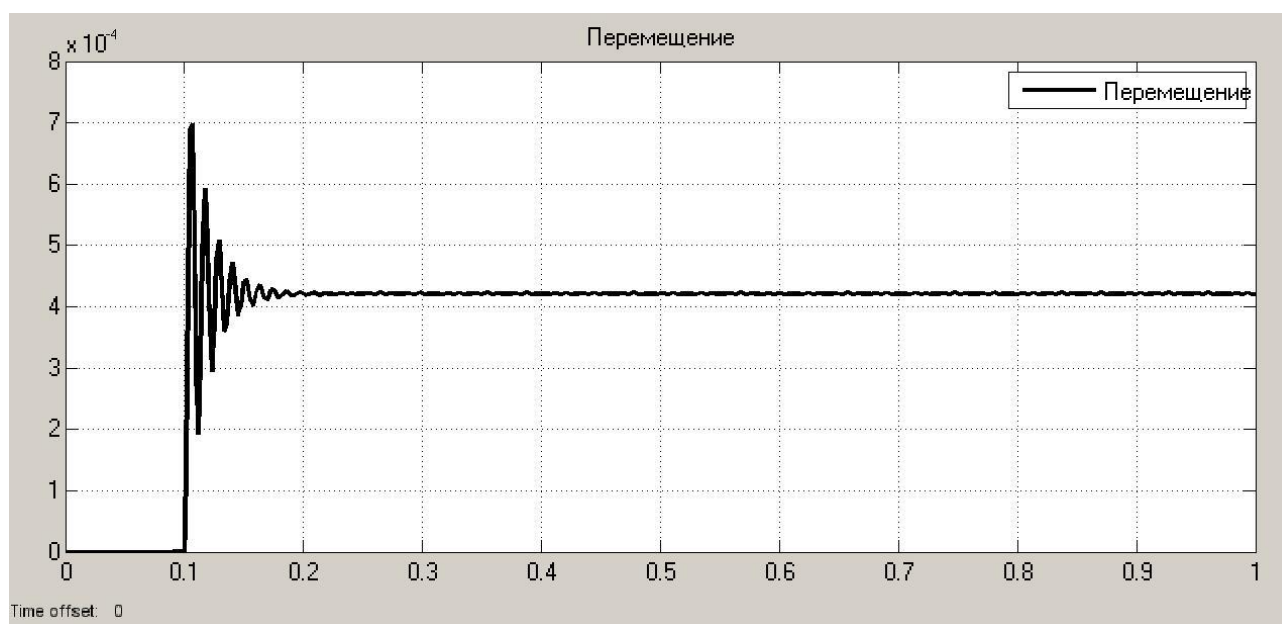


Рисунок 37 – Схема приложения силы и крепления

Анализируя полученные графики видно, что после единичного воздействия система испытывает затухающие колебания, это свидетельствует о том, что требования устойчивости и точности не выполняются. Причина в том, что жесткость системы, характеризующаяся коэффициентами вязкого трения  $h$  и жесткостью  $c$ , не достаточна. Задача, которую предстоит решить, используя

данную математическую модель, заключается в нахождении оптимальных параметров  $h$  и  $c$ , при которых работа проектируемого механизма будет стабильна, а время переходного процесса минимальным.

Повысив коэффициент вязкости на 30% от расчетного получим:

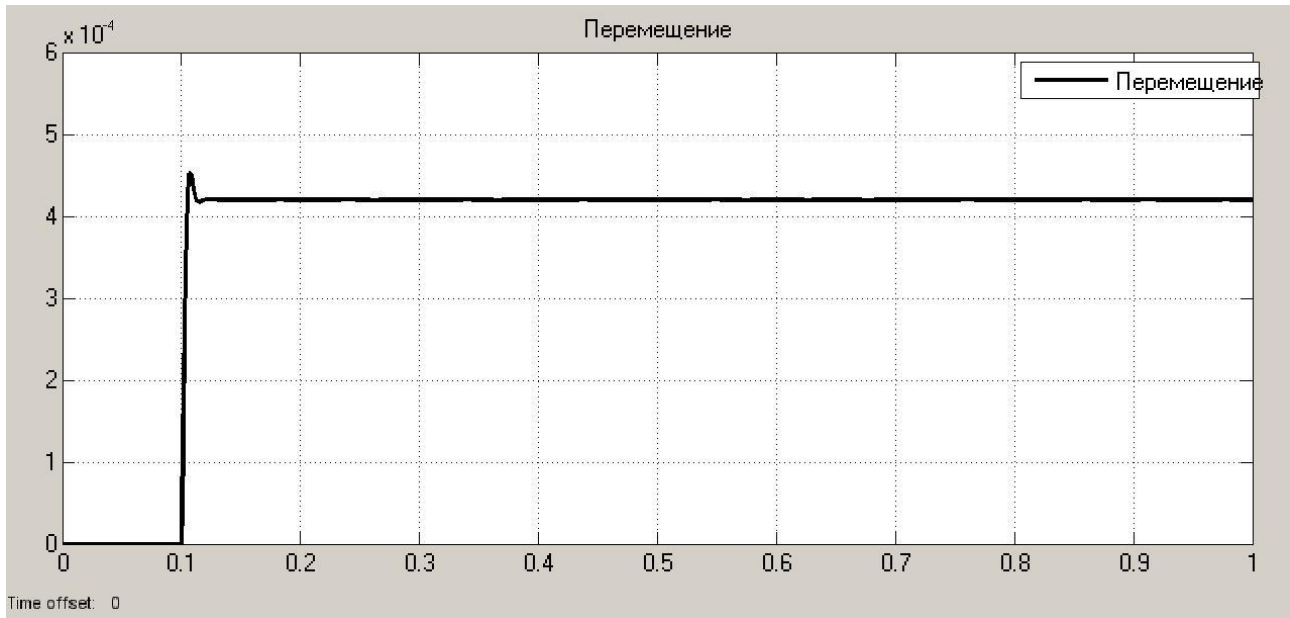


Рисунок 38 – Схема приложения силы и крепления

Из графика на рисунке видно, что переходный процесс значительно сократился, однако присутствует перемещение выше заданной величины, что негативно сказывается на точности механизма. Увеличив коэффициент жесткости штанг на 18% от расчетного, и вязкости на 35% от расчетного получим:

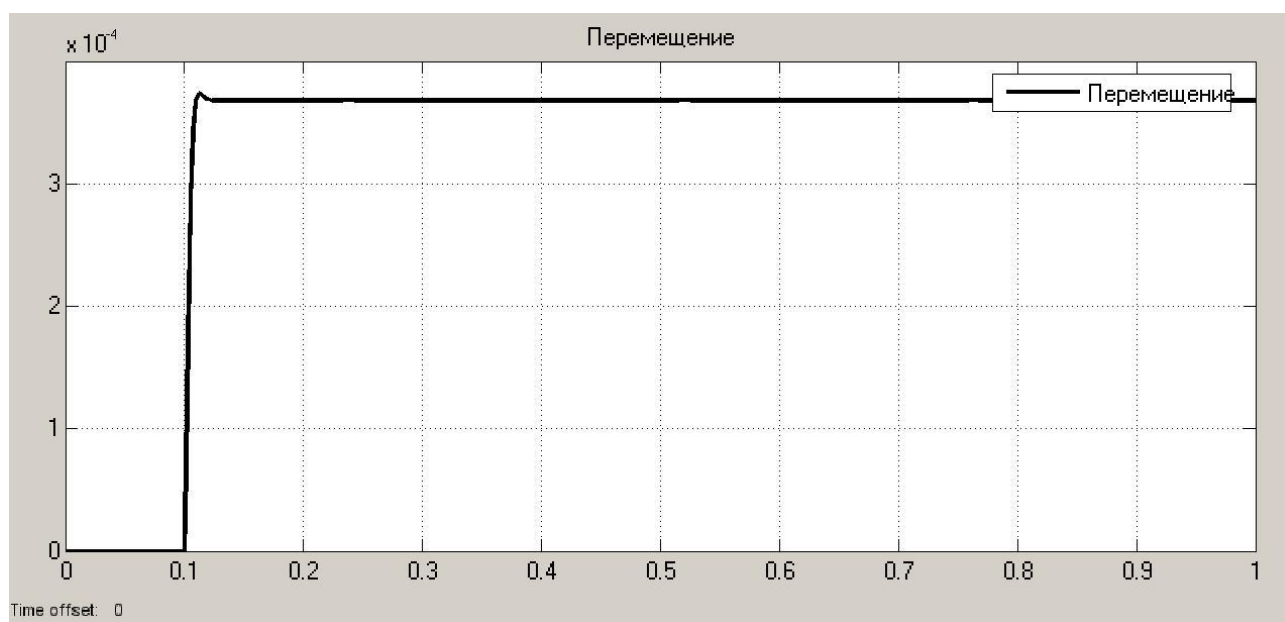


Рисунок 39 – Схема приложения силы и крепления

Из рисунка 1 следует что что перебег стал минимальным, однако для обеспечения заданного коэффициента вязкого трения требуется доработать конструкцию.

Таким образом, исследование математической модели 5D-механизма позволило на стадии разработки оценить и скорректировать значения жесткости и вязкого трения звеньев механизма. Подобранные значения коэффициента жесткости позволят в дальнейшем выбрать и настроить комплектующие таким образом, чтобы реальные показатели работы стенда были максимально приближены к расчетным.

## **5. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ**

### **5.1 Общие сведения о научном исследовании**

В настоящее время перспективность научного исследования определяется не только масштабом открытия, оценить которое на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки. Оценка коммерческой ценности (потенциала) 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. Через такую оценку ученый может найти партнера для дальнейшего проведения научного исследования, коммерциализации результатов такого исследования и открытия бизнеса.

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

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

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- разработка общей экономической идеи проекта, формирование концепции проекта;
- организация работ по научно-исследовательскому проекту;

- определение возможных альтернатив проведения научных исследований;
- планирование научно-исследовательских работ;
- оценки коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

## 5.2. Предпроектный анализ

### 5.2.1 Потенциальные потребители результатов исследования

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

Целевой рынок: машиностроительные компании и заводы.

|                 |         | Наименование применяемого устройства<br>на различных заводах |          |          |
|-----------------|---------|--------------------------------------------------------------|----------|----------|
|                 |         | Трипод                                                       | Тетрапод | Гексапод |
| Размер компании | Средние |                                                              |          |          |
|                 | Мелкие  |                                                              |          |          |

Рис. 1. Карта сегментирования рынка по использованию

амортизаторов для станков



RENISHAW



VERNE

Трипод – 1к.

Тетрапод – 2к.

По данной карте сегментирования видно, что гексаподы не используются из-за слабого их развития.

### 5.2.2 Анализ конкурентных технических решений

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

Таблица 1

*Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений  
(разработок)*

| Критерии оценки                                                     | Вес критерия | Баллы           |                 | Конкурентоспособность |                 |
|---------------------------------------------------------------------|--------------|-----------------|-----------------|-----------------------|-----------------|
|                                                                     |              | Б <sub>2к</sub> | Б <sub>1к</sub> | К <sub>2к</sub>       | К <sub>2к</sub> |
| 1                                                                   | 2            | 3               | 5               | 6                     | 7               |
| <b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>             |              |                 |                 |                       |                 |
| 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              |
| <b>Экономические критерии оценки эффективности</b>                  |              |                 |                 |                       |                 |
| 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               |
| <b>Итого</b>                                                        | <b>100</b>   | <b>76</b>       | <b>75</b>       | <b>573</b>            | <b>576</b>      |

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.

### 5.2.3 SWOT-анализ

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

Таблица 2

*Матрица SWOT*

|                                                                                                                                                        | <b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b><br>С1. Повышенный объем рабочей зоны.<br>С2. Быстрая скорость просчета траектории.<br>С3. Быстродействие, уменьшение времени восстановления системы.<br>С4. Простота эксплуатации.<br>С5. Надежность, простота обслуживания, благодаря универсальным элементам. | <b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b><br>Сл1. Более высокая себестоимость.<br>Сл2. Трудоёмкость монтажа.<br>Сл3. Увеличение габаритов.                                                                 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Возможности:</b><br>В1. Быстрое продвижение на рынок.<br>В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт<br>В3. Усовершенствование устройства | В1С1С2С3С4С5 – быстрое продвижение на рынок в связи с преимуществами данного устройства.<br>В2С1С2С5- дополнительный спрос может появиться за счёт универсальности устройства.<br>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.<br>В2Сл1Сл2Сл3 – появление дополнительного спроса может быть мало из-за несовершенства устройства. |
| <b>Угрозы:</b><br>У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства.<br>У2. Кризис<br>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.                                                                                                                        |

Таблица 3

*Интерактивная матрица проекта*

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

Таблица 4

*Интерактивная матрица проекта*

| Слабые стороны проекта |    |     |     |     |
|------------------------|----|-----|-----|-----|
| Возможности проекта    |    | Сл1 | Сл2 | Сл3 |
|                        | B1 | -   | -   | +   |
|                        | B2 | +   | +   | +   |
|                        | B3 | 0   | 0   | 0   |

Таблица 5

*Интерактивная матрица проекта*

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

Таблица 6

*Интерактивная матрица проекта*

| Слабые стороны проекта |    |     |     |     |
|------------------------|----|-----|-----|-----|
| Угрозы                 |    | Сл1 | Сл2 | Сл3 |
|                        | У1 | +   | 0   | +   |
|                        | У2 | +   | 0   | +   |
|                        | У3 | +   | 0   | 0   |

### 5.3 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, 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 таблице 7.

Таблица 7

*Морфологическая матрица для гидроневмоамортизатора винта*

|              | 1                 | 2                 |  |
|--------------|-------------------|-------------------|--|
| А. Вариант 1 | Ременная передача | ШВП               |  |
| Б. Вариант 2 | ШВП               | Шаговый двигатель |  |

А1Б1 – Исполнение 1

А2Б2 – Исполнение 2

## 5.4 Планирование научно-исследовательских работ

### 5.4.1 Структура работ в рамках научного исследования

Таблица 8

*Перечень этапов, работ и распределение исполнителей*

| Основные этапы                                 | № раб |                                                | Должность исполнителя |
|------------------------------------------------|-------|------------------------------------------------|-----------------------|
| Разработка технического задания                | 1     | Составление и утверждение технического задания | Руководитель          |
| Выбор направления исследований                 | 2     | Изучение материалов по теме                    | Студент               |
|                                                | 3     | Проведение патентного обзора                   | Студент               |
| Теоретические и 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 |

#### 5.4.2 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:

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{мин}i} + 2t_{\text{макс}i}}{5}, \quad (1)$$

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 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{\text{ож}i}}{Ч_i}, \quad (2)$$

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

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

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

Таблица 9

*Ожидаемое время выполнения работы*

| Основные этапы                                 | № раб |                                                    | $t_{ож}$ , чел.-дн. |
|------------------------------------------------|-------|----------------------------------------------------|---------------------|
| Разработка технического задания                | 1     | 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  $T_p = t_{ож}$ .

### 5.4.3 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.

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (3)$$

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

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

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

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (4)$$

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. 10

Таблица 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 модели                 | 7                  | 14         | 9,8             | Студент      | 9,8                                     | 15                                          |

|                                        |   |    |     |         |     |    |
|----------------------------------------|---|----|-----|---------|-----|----|
| Оформление статьи                      | 7 | 14 | 9,8 | Студент | 9,8 | 15 |
| Заполнение<br>пояснительной<br>записки | 3 | 7  | 4,6 | Студент | 4,6 | 7  |

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

Таблица 11

*Календарный план-график проведения НИОКР по теме*

| № работ | Вид работ                                      | Исполнители  | $T_k$ | Продолжительность выполнения работ |        |   |   |     |   |   |
|---------|------------------------------------------------|--------------|-------|------------------------------------|--------|---|---|-----|---|---|
|         |                                                |              |       | Март                               | Апрель |   |   | Май |   |   |
|         |                                                |              |       | 3                                  | 1      | 2 | 3 | 1   | 2 | 3 |
| 1       | Составление и утверждение технического задания | Руководитель | 2     |                                    |        |   |   |     |   |   |
| 2       | Изучение материалов по теме                    | Студент      | 2     |                                    |        |   |   |     |   |   |
| 3       | Проведение патентного обзора                   | Студент      | 3     |                                    |        |   |   |     |   |   |
| 4       | Составление кинематической схемы               | Студент      | 6     |                                    |        |   |   |     |   |   |
| 5       | Выполнение расчетов                            | Студент      | 6     |                                    |        |   |   |     |   |   |
| 6       | Построение модели устройства                   | Студент      | 7     |                                    |        |   |   |     |   |   |
| 7       | Оформление патента                             | Студент      | 7     |                                    |        |   |   |     |   |   |
| 8       | Разработка чертежей деталей                    | Студент      | 9     |                                    |        |   |   |     |   |   |
| 9       | Разработка сборочных чертежей                  | Студент      | 6     |                                    |        |   |   |     |   |   |
| 10      | Заполнение технологической документации        | Студент      | 16    |                                    |        |   |   |     |   |   |
| 11      | Заполнение пояснительной записки               | Студент      | 4     |                                    |        |   |   |     |   |   |

#### 5.4.4 Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m \Pi_i \cdot N_{расхi}, \quad (5)$$

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

$N_{расхi}$  – количество материальных ресурсов  $i$ -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м<sup>2</sup> и т.д.);

$\Pi_i$  – цена приобретения единицы  $i$ -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м<sup>2</sup> и т.д.);

$k_T$  – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Таблица 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  |

#### 5.4.5 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.

Таблица 13

*Расчет основной заработной платы*

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

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп}, \quad (6)$$

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

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

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

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p, \quad (7)$$

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:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (8)$$

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).

Таблица 14

*Баланс рабочего времени*

| Показатели рабочего времени                  | Руководитель | Студент |
|----------------------------------------------|--------------|---------|
| Календарное число дней                       | 366          | 366     |
| Количество нерабочих дней                    |              |         |
| - выходные дни                               | 106          | 106     |
| - праздничные дни                            | 14           | 14      |
| Потери рабочего времени                      |              |         |
| - отпуск                                     | 48           | 48      |
| - невыходы по болезням                       | -            | -       |
| Действительный годовой фонд рабочего времени | 198          | 198     |

$$З_{\text{дн1}} = \frac{З_{\text{м}} \cdot М}{F_{\text{д}}} = \frac{30244,32 \cdot 10,4}{198} = 1588,59 \text{ руб.} - \text{заработная плата руководителя за 1}$$

день;

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

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

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

$$З_{\text{зп1}} = 4765,77 + 714,86 = 5480,37 \text{ руб.} - \text{руководитель;}$$

$$З_{\text{зп2}} = 14746,14 + 2211,92 = 16958,06 \text{ руб.} - \text{студент.}$$

#### 5.4.6 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:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}} \quad (9)$$

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

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

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

#### 5.4.7 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}), \quad (10)$$

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 пониженная ставка – 27,1%\*.

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

Таблица 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%                                  |
| <b>Итого</b>                                 | <b>1485,25+4595,63=6080,88</b>  |                                        |

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

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}) = 27,1\% \cdot (14746,14 + 2211,92) = 4595,63 \text{ руб.} - \text{студент-дипломник}$$

#### **5.4.8 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:

---

\* 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»

- 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 16 представлены исполнители операций по слесарным операциям.

Таблица 16

*Исполнители операций*

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

*Оплата труда сторонних исполнителей*

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

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

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

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

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

**5.4.9 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:

$$З_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 7) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (11)$$

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

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

**5.4.10 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.

Таблица 18

*Расчёт бюджета затрат НТИ*

| Наименование статьи                                             | Сумма, руб. |           | Примечание            |
|-----------------------------------------------------------------|-------------|-----------|-----------------------|
|                                                                 | Исп.1       | Исп.2     |                       |
| 1. Материальные затраты НТИ                                     | 94700       | 91100     | Пункт 5.4.4           |
| 2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы       | 19511,91    | 19511,91  | Пункт 5.4.5           |
| 3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы | 2926,78     | 2926,78   | Пункт 5.4.6           |
| 4. Отчисления во внебюджетные фонды                             | 6080,88     | 6080,88   | Пункт 5.4.7           |
| 5. Контрагентские расходы                                       | 1160,65     | 1160,65   | Пункт 5.4.8           |
| 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        |

### 5.5 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 соотносится финансовые значения по всем вариантам исполнения.

**Интегральный финансовый показатель** разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.i}} = \frac{\Phi_{\text{pi}}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (12)$$

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

$\Phi_{pi}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;

$\Phi_{\max}$  – 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).

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

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

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

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (13)$$

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

$a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$b_i^a, b_i^p$  – бальная 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).

Таблица 19

*Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта*

| Объект исследования<br>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** ( $I_{исп.i}$ ) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{исп.1}^{финр}}, \quad I_{исп.2} = \frac{I_{p-исп2}}{I_{исп.2}^{финр}} \text{ и т.д.} \quad (14)$$

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

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 ( $\mathcal{E}_{cp}$ ):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}} \quad (15)$$

Таблица 20

*Сравнительная эффективность разработки*

| №<br>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.

## 5.6. 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.

## **6. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ**

### **Введение**

Изучение и решение проблем, связанных с обеспечением здоровых и безопасных условий, в которых протекает труд человека – одна из наиболее важных задач в разработке новых технологий и систем производства.

Безопасность жизнедеятельности человека определяется характером труда, его организацией, взаимоотношениями, существующими в трудовых коллективах, организацией рабочих мест, наличием опасных и вредных факторов в среде обитания.

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. Применение традиционных станков с ЧПУ или роботизированных комплексов все чаще оказывается малоэффективным для решения задач обработки поверхностей сложной геометрии и формирования этих поверхностей рабочим инструментом, подачей команд от управляющего компьютера. Одним из вариантов решения этой проблемы является использование механизмов параллельной кинематики, которые имеют: надежную конструкцию, высокую производительность благодаря динамике и сочетанию технологий, гибкость настройки и многое другое. Роботы-станки с параллельной кинематикой 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

Объектом исследования данной работы является 5D-механизм с параллельной кинематикой, обеспечивающий шесть степеней свободы

выходному звену с помощью шести управляющих приводов расположенных симметрично в пространстве.

## Основная часть

Элементы условий труда, выступающих в роли опасных и вредных производственных факторов, можно разделить на четыре группы [1]:

- физические;
- химические;
- биологические;
- психофизиологические.

Таблица 1.1. Опасные и вредные факторы

| Опасный фактор                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Вредные факторы                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><i>Поражение электрическим током.</i> Исходя из анализа состояния помещения, данную лабораторию по степени опасности поражения электрическим током можно отнести к классу помещений без повышенной опасности.</p> <p>В помещении подавляющая часть электрической проводки является скрытой. Поражение электрическим током возможно только при возникновении оголенных участков на кабеле, а также нарушении изоляции распределительных устройств,</p> | <ul style="list-style-type: none"><li>- воздействие вредных излучений от монитора и компьютера;</li><li>- воздействие электромагнитных излучений;</li><li>- недостаточная освещенность;</li><li>- шум от работы оборудования (в частности, матричных принтеров);</li><li>- некомфортные метеорологические условия;</li></ul> |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                          |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| <p>однако кабель имеет двойную изоляцию, поэтому опасность поражения значительно снижается. Не исключается также опасность поражения и от токоведущих частей компьютера в случае их пробоя и нарушении изоляции. Кроме того, <i>компьютер является основным источником статического электричества</i>. Местами скопления статических зарядов, как правило, служит поверхность экрана монитора. Частое поражение статическим электричеством может привести к возникновению кожных заболеваний и нервно-психическим расстройствам.</p> | <p>- умственное перенапряжение и др.</p> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|

### **Общие требования безопасности**

. Требования настоящей инструкции являются обязательными, отступления от нее не допускаются. К самостоятельной эксплуатации электроаппаратуры допускается только специально обученный персонал не моложе 18 лет, пригодный по состоянию здоровья и квалификации к выполнению указанных работ. [2]

## **Требования безопасности перед началом работы**

Перед началом работы следует убедиться в исправности электропроводки, выключателей, штепсельных розеток, при помощи которых оборудование включается в сеть, наличии заземления компьютера, его работоспособности,

## **Требования безопасности во время работы**

Для снижения или предотвращения влияния опасных и вредных факторов необходимо соблюдать санитарные правила и нормы. гигиенические требования к видеодисплейным терминалам, персональным электронно-вычислительным машинам.

Во избежание повреждения изоляции проводов и возникновения коротких замыканий не разрешается: вешать что-либо на провода, закрашивать и белить шнуры и провода, закладывать провода и шнуры за газовые и водопроводные трубы, за батареи отопительной системы, выдергивать штепсельную вилку из розетки за шнур, усилие должно быть приложено к корпусу вилки.

Запрещается под напряжением очищать от пыли и загрязнения электрооборудование.

Запрещается проверять работоспособность электрооборудования в непригодных для эксплуатации помещениях с токопроводящими полами, сырых, не позволяющих заземлить доступные металлические части.

## **Требования безопасности в аварийных ситуациях**

При обнаружении неисправности немедленно обесточить электрооборудование, оповестить администрацию. Продолжение работы возможно только после устранения неисправности.

При обнаружении оборвавшегося провода необходимо немедленно сообщить об этом администрации, принять меры по исключению контакта с ним людей. Прикосновение к проводу опасно для жизни.

На рабочем месте запрещается иметь огнеопасные вещества

В помещениях запрещается:

- а) зажигать огонь;
- б) включать электрооборудование, если в помещении пахнет газом;
- в) курить;
- г) сушить что-либо на отопительных приборах;
- д) закрывать вентиляционные отверстия в электроаппаратуре

Источниками воспламенения являются:

- а) искра при разряде статического электричества
- б) искры от электрооборудования
- в) искры от удара и трения
- г) открытое пламя

## **Требования безопасности по окончании работы**

После окончания работы необходимо обесточить все средства вычислительной техники и периферийное оборудование. В случае непрерывного производственного процесса необходимо оставить включенными только необходимое оборудование.

## **Производственная санитария**

Важнейшими элементами, обеспечивающими безопасность работы и высокую производительность труда являются освещенность, метеорологические условия и чистота воздуха в рабочих помещениях. Между зданиями, освещаемыми через оконные проемы в стенах, должны быть выдержаны установленные нормами санитарные разрывы, обеспечивающие необходимую освещенность и аэрацию рабочих помещений. Помещения, лишенные естественного освещения или имеющие недостаточно освещенности, в которых постоянно пребывают рабочие, помимо соответствующего искусственного освещения должны быть снабжены эритемными лампами для ультрафиолетового облучения. При отсутствии таких ламп должны быть устроены фотарии с установками для ультрафиолетового облучения, расположенные в служебно-бытовом здании или в отдельном помещении в производственном здании, причем отдельно для мужчин и женщин.

## **Требования к производственным помещениям.**

Пристройки к наружным стенам производственных зданий с естественным обменом воздуха (аэрацией) допускаются, если в этих стенах между пристройками и над ними можно устроить проемы, обеспечивающие

естественный воздухообмен, а также достаточное по нормам естественное освещение. Помещения и участки с избытками явного тепла  $>83,7 \text{ кДж/м}^3 \cdot \text{ч}$  ( $20 \text{ ккал/м}^3 \cdot \text{ч}$ ) [18] или со значительными вредностями следует, как правило, размещать у наружных стен зданий. Для таких производств лучше всего предусматривать одноэтажные здания с учетом необходимости удаления вредных выделений естественным путем или приточно-вытяжной вентиляцией. В многоэтажных зданиях их допустимо размещать лишь в верхних этажах, а если по технологическим условиям это неосуществимо, то следует предусмотреть эффективные мероприятия против проникновения вредных выделений в другие этажи.

Объем производственного помещения на каждого работающего не может быть менее  $15 \text{ м}^3$ , а площадь помещения, выгороженного стенами или глухими перегородками, менее  $4,5 \text{ м}^2$ . [3]

Для служебных помещений устанавливаются следующие нормы. Для рабочих конторских помещений не менее  $4..6 \text{ м}^2$  площади на одного работающего, а для рабочих помещений конструкторских бюро не менее  $6..8 \text{ м}^2$  на один чертежный стол. Для ИТР, работающих непосредственно в цехе, необходимо предусматривать конторские помещения на площади цеха в размере  $4..6 \text{ м}^2$  на одного человека. При определении площадей служебных и бытовых помещений следует учитывать не только основные штаты цеха, но также и количество практикантов и учеников, проходящих производственное обучение. Размеры площадей служебных и бытовых помещений следует рассчитывать исходя из количества работающих в первой смене, которая всегда наиболее многочисленна.

Дипломная работа выполнялась на кафедре «АРМ» Национального исследовательского Томского политехнического университета.

Общая площадь рабочего помещения составляет  $80 \text{ м}^2$  (длина  $A=10 \text{ м}$ , ширина  $B=8 \text{ м}$ ), объем составляет  $400 \text{ м}^3$  (высота  $C=5 \text{ м}$ ). В кабинете работает 10

человека, на каждого работающего приходится в среднем 8 м<sup>2</sup> общей площади и 32 м<sup>3</sup> объема.

По [4] санитарные нормы составляют 6,5 м<sup>2</sup> и 20 м<sup>3</sup> объема на одного человека. Исходя из приведенных выше данных, можно сказать, что количество рабочих мест соответствует размерам помещения по санитарным нормам.

### **Микроклимат**

Показателями, характеризующими микроклимат в производственном помещении, являются: температура воздуха, температура поверхностей, относительная влажность воздуха, скорость движения воздуха, интенсивность теплового облучения.

При несоблюдении гигиенических норм микроклимата снижается работоспособность человека, возрастает опасность возникновения травм и ряда заболеваний, в том числе и профессиональных.

Температура воздуха оказывает большое влияние на самочувствие человека и производительность труда. Высокая температура в производственных помещениях вызывает быструю утомляемость работающего, перегрев организма и большое потоотделение, что ведет к снижению внимания, вялости и может оказаться причиной несчастного случая. Низкая температура может вызвать местное и общее охлаждение организма и стать причиной ряда профессиональных заболеваний. [3]

Температура воздуха рабочей зоны в холодный период года составляет:

$t = 17...19^{\circ}\text{C}$ ,  $W = 40\%$ ,  $V = 0,3\text{ м/с}$ . В теплый период года оптимальная температура воздуха на рабочих местах:  $t = 20...23^{\circ}\text{C}$ ,  $W = 60\%$ ,  $V = 0,3\text{ м/с}$ , что соответствует требованиям. [3]

Влажность воздуха оказывает значительное влияние на терморегуляцию организма. Повышенная влажность (более 85 %) затрудняет терморегуляцию из-

за снижения испарения пота, а слишком низкая влажность (менее 20 %) вызывает пересыхание слизистых оболочек дыхательных путей.

Скорость движения воздуха на рабочих местах производственных помещений имеет важное значение для создания благоприятных условий труда. Организм человека начинает ощущать воздушные потоки при скорости около 0,15 м/с. Если эти потоки имеют температуру менее 36°C, организм человека ощущает освежающее действие, а при температуре свыше 40°C они действуют угнетающе.

Скорость движения воздуха оказывает также влияние на распределение вредных веществ в помещении.

Под влиянием теплового облучения, которое оказывают инфракрасные лучи, в организме происходят биохимические сдвиги, уменьшается кислородная насыщенность крови, понижается венозное давление, замедляется кровоток и, как следствие, наступает нарушение деятельности сердечнососудистой и нервной системы.

Тепловые излучения коротковолнового диапазона глубоко проникают в ткани и разогревают их вызывая быструю утомляемость, понижение внимания, усиленное потовыделение, а при длительном облучении — тепловой удар, длинноволновые лучи поглощаются в основном в эпидермисе кожи. Они могут вызвать ожог кожи и глаз. Наиболее тяжелым поражением является катаракта глаза.

На данном рабочем месте тепловое излучение отсутствует, в связи с видом работ.

Для уменьшения травматизма на рабочем месте, уменьшения утомляемости органов зрения и организма в целом, большое значение имеет освещаемость участка. Проектом предусматривается естественное и искусственное общее и местное освещение отвечающее требованию СНиП 23-

05-95. Разряд зрительных работ – VI, коэффициент естественного освещения  $KEO = 1 \%$ , освещенность  $E_{\text{норм}} = 200$  лк.

Оборудование подключается к сети напряжением 380В, что требует строгого соблюдения правил электробезопасности. Электрический ток, проходя через тело человека, оказывает термическое, электролитическое и биологическое воздействие на различные системы организма. Существует два основных вида действия электрического тока на организм человека: электрические травмы (ожоги, металлизация кожи, механические повреждения организма) и электрические удары.

При гигиеническом нормировании устанавливается предельно допустимые напряжения прикосновения и токи, протекающие через тело человека (рука - рука, рука - нога) при нормальном (неаварийном) режиме работы электроустановок производственного и бытового назначения постоянного и переменного тока частотой 50 и 400 Гц.

## **7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы был проведен литературно-патентный обзор механизмов с параллельной кинематикой.

На основе результатов полученных при анализе патентов была спроектирована кинематическая схема устройства. В соответствии со схемой было спроектирован 5D-механизм. Проведен анализ кинематики и динамики.. 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. Кузнецов Ю.Н. и др. - Компоновки станков с механизмами параллельной структуры 2008
2. Рыбак Л.А., Ержуков В.В., Чичварин А.В. Эффективные методы решения задач кинематики и динамики робота-станка параллельной структуры – 2011
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. SAenz A.J., Collado V., Gimenez M., San Sebastian I. New Automation Solutions in Aeronautics Through Parallel Kinematic System. Chemnitz 2002. p. 563-578.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. Справочник технолога-машиностроителя: В 2-х т. Том 2/Под ред. Косиловой А.Г. и Мещерякова Р.К. – М.: Машиностроение, 1985 г. - 656 с., ил.
10. Ансеров М.А. Приспособления для металлорежущих станков расчеты и конструкции 3-е изд., стереотипное. – Л.: Машиностроение, 1966 г. - 652 с., ил.
11. Горбачевич А.Ф., Шкред В.А. Курсовое проектирование по технологии машиностроения: Учебное пособие для ВУЗов машиностроительных специальностей – Минск: Высшая школа, 1983 г. - 256 с.
12. Потапов В.А. Возможен ли успех станков новой концепции? СТИН 1996 №3 с.40-45
13. 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  | Стреминский Артем Сергеевич |         |      |

Консультант кафедры АРМ

| Должность | ФИО           | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|-----------|---------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент    | Крауиньш Д.П. | к.т.н.                    |         |      |

Консультант – лингвист кафедры ИЯИК

| Должность | ФИО          | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|-----------|--------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент    | Диденко А.В. | к.ф.н.                    |         |      |

## **Review of literature**

Kuznetsov (2008) argues that the developing high-performance devices with high accuracy in positioning, operation speed, loads, and other technical specifications is usually bound with the creation of new schemes and layouts. Parallel kinematics can be one of possible solutions that can offer: a reliable construction, high efficiency due to flexibility and combination of technologies, flexibility of setting up and so on.

Kuznetsov (2008) wrote that parallel kinematics mechanisms can be made with the use of hinged rods of constant or variable length. In the first case the movement curve is determined by the angular and linear position of rods. In the second case, required movements are achieved due to consistent rods length change.

As Kuznetsov stated ‘the following mechanisms utilize changeable rod length: so-called hexapod (with six rods), tripod (three rods); while devices with constant rod length are hexaglide (six rods), triglide (three rods), and their modifications’ (2008:5).

Rybak (2011) points out that six-rod mechanism, hexapods and hexaglides, are widely known, they have 6 degrees of freedom. Their popularity can be explained with a whole range of advantages. Unlike multi-coordinate serial systems where errors are summing, errors in hexapods and hexaglides can be compensated the way the secure accuracy of fractions of a micron. The rigid connection of rod ends avoid backlashes and secure increased rigidity and bearing capacity of a complete assembly. High measurement accuracy of relative relocations of the terminal node allows hexapods and hexaglides to be used in high precision machines, robotics and in medicine.

Depending on purpose can be designed a structure, a scheme of allocation of driver units and determine a size of the whole mechanism. The selected this way configuration defines an operational size of the developed assembly. Advantage of a new structure is practical usage of mechatronic assemblies combining precision mechanics, electronics and electric parts. Executive and drive elements of linear and rotational mechanisms combined by construction allow to avoid the usage of intermediate mechanical converters and gears, to increase precision and speed, and to decrease loss.

The innovative idea of parallel kinematic mechanisms is determined with advantages in comparison to traditional solutions as follows:

- lower weight of moving elements
- simplified construction due to repeatability of standard assemblies

- general decrease of a total weight of a mechanism
- rods run only for tension-compression without external load
- high rigidity of a complete assembly

Also, there are some limitations for using mechanisms with parallel kinematics as follows:

- any movement of a complete assembly requires synchronous operations of all rods and drivers

- low ability of rods to accept and damp loads does not allow mechanisms with parallel kinematics to operate in situations with large variable forces and the moments arisen

- the system of hinged rods limits angular slopes of a complete assembly

- there are disadvantages in the ratio of the operational size to the size of the machinery which makes it harder to access a processed item

According to Kuznetsov the first mechanism of parallel structure was offered by James Gwinnett in 1931, Fig.1. He offered to mount a sort of hydraulic mechanism under the floor of a cinema hall that could move chairs in accordance with what was happening on the screen. But the invention was not realized' (2008:16).

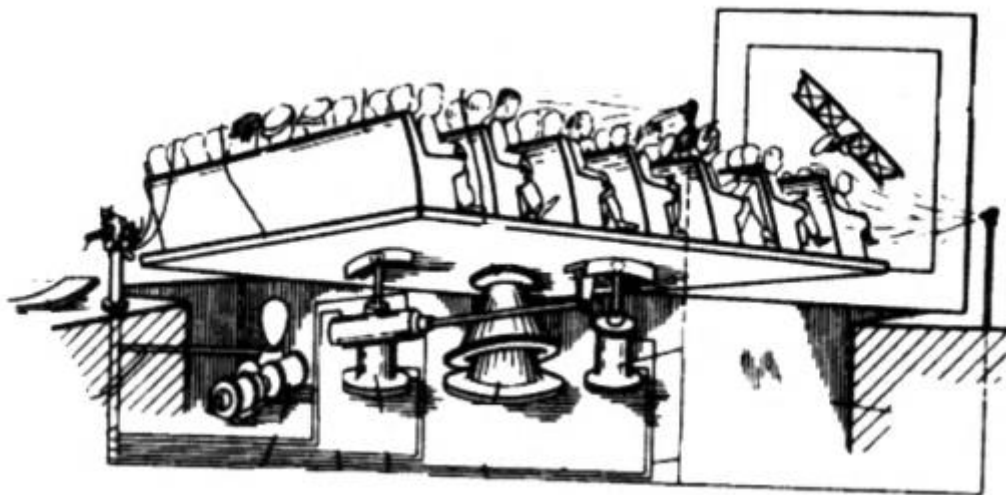


Figure 1. Entertainment Device of James Gwinnett

‘The first industrial application of parallel structure mechanisms was a machine for testing mechanical properties of tire material, created by Gough in United Kingdom back in 1950, Fig.2. Actually, it was a large sensor capable to measure force and moment of a tested wheel in all possible directions’ (2008:17).



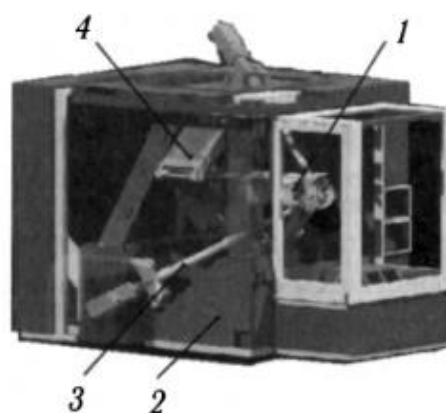
Figure 2. Universal tire test machine of Gough

At the present time the market of mechanisms with parallel kinematics can offer vast variety of layout designs. This variety is defined by differences in the use of various types of drives and leads to this or that kinematic circuit implementing a required law of a motion of an output part.

The multi-purpose machine “Ulyses” (название модели) of Fatronic (Spain) is shown in Figure 3, a. The machine provides movement of an output part through three Cartesian coordinates.



a



b

Figure 3. Ulyses Machine: a — general view, b — kinematic scheme.

Saenz wrote ‘the output part (1) with the spindle installed is bound to the bed of the machine (2) by four kinematic chains (Fig. 3, b). Three of them contain drives (3). These kinematics circuits are telescopic rods with ball screw gears. The kinematics circuit (4) does not contain active drives and is quite a complex mechanism. The circuit (4) secures movement capability along the vertical plane by two coordinates’ (2002: 563).

To increase rigidity of the construction each link when binding to another link has two connecting with another link there are two spaced supports. Movement along the z axis is executed across sliding guides.

A positive moment here is quite big operational size across all axis and high speed of the output part. A negative moment is that there are only 3 degrees of freedom of the output part and heavy weight of the whole construction.

There is also a device described in the patent of RF No. 2395380, its schematic diagram is presented in Figure 4.

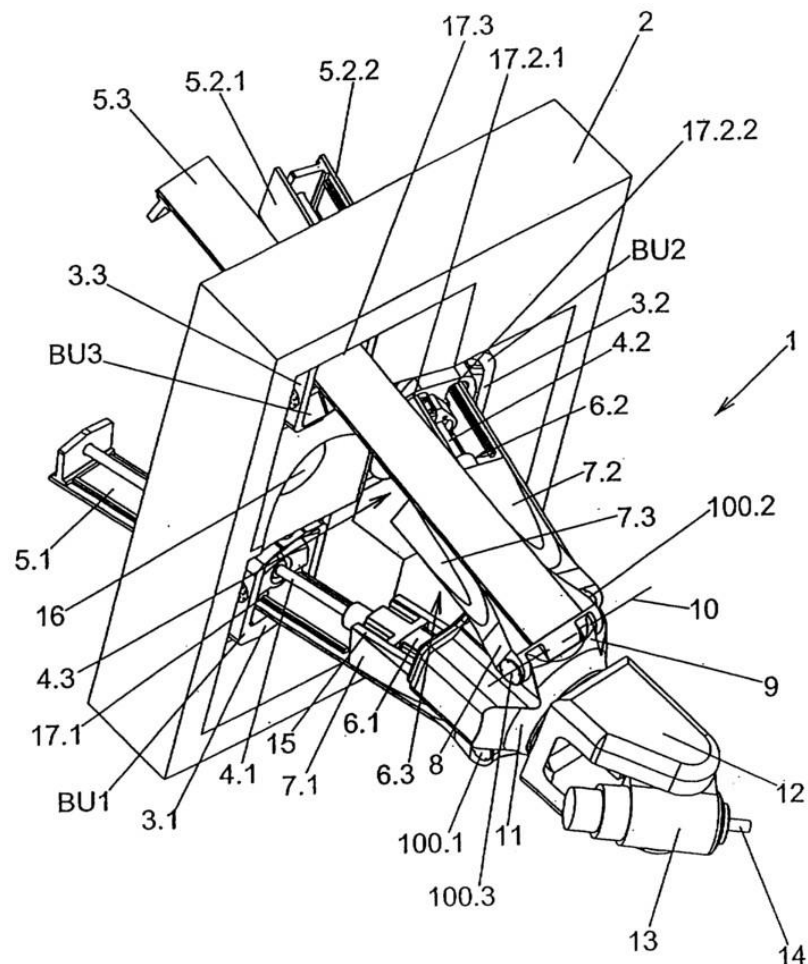


Figure 4. Schematic diagram of a robot with three manipulators

‘The invention belongs to machine class, to robots, in particular, for industrial operations. The parallel kinematic mechanism (1) includes installation accessories (4.1, 4.2, 4.3) with individual capability to expand and shrink, bound

with the installation head (11) with the first link (8, 9, 10), and with the bed (2) with a cardan joint (3.1, 3.2, 3.3). The installation head (11) is placed the way it can move within the operational zone for adjustment of installation accessories (4.1, 4.2, 4.3). The reinforcing beams (5.1, 5.2, 5.2.1, 5.2.2) are bound with the installation head (11) with a corresponding rotary support (100.1, 100.2) of the beam with a single degree of freedom and capability to slide in the transverse direction in the support (17.1, 17.2, 17.2.1, 17.2.2) of the beam in the basement (2) at extension or shortening of one or more installation accessories (4.1, 4.2, 4.3). Each beam support (17.1, 17.2, 17.2.1, 17.2.2) is bound with the basement (2) with a cardan joint (BU1, BU2) of the support. The support (17.2, 17.2.1, 17.2.2) of the reinforcing beam (5.2, 5.2.1, 5.2.2) is located the way it can rotate around the axis located along the reinforcing beam (5.2, 5.2.1, 5.2.2)' (Patent of RF No. 2395380: 4).

A positive moment is increase of the rigidity and precision of the mechanism with simultaneous simplicity of its construction. A negative moment is a short range of movement of the installation accessories, but in our case it is compensated with six support rods.

A device described in the patent of RF No. 2400351, its general view is presented in figure 5.

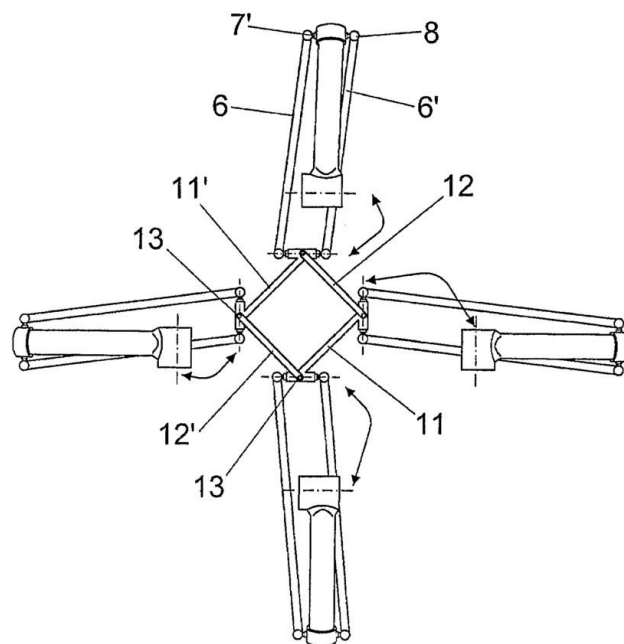


Figure 5. Schematic diagram of a robot with four degrees of freedom.

As is shown in figure 5, the robot contains four kinematic chains, each of them is bound by one of their ends with rotating joint to drives attached to the support basement while the other ends of the chains are bound with movable with operational instruments installed (Patent of RF No. 2400351: 6).

A positive moment is also a large operational space of vertical axis and increased rigidity thanks to the paired rods. A negative moment is the described prototype has only 4 degrees of freedom of the output part because of cylindrical hinged supports.

Known a machine with parallel structure and variable rod lengths (telescopic rods) Hexa Mikromat 6X. It is presented in Figure 6. The spindle of that machine has limits in rotations angles of 30 degrees, feed speed at 30 m/min and acceleration of 1g. The rods with drives are located symmetrically to the spindle axis in the upper part of the bed. This kind of layout secures more convenient access to the operational area of the machine. The machine is installed on special vibroisolating saddle (Neugebauer (2002)).

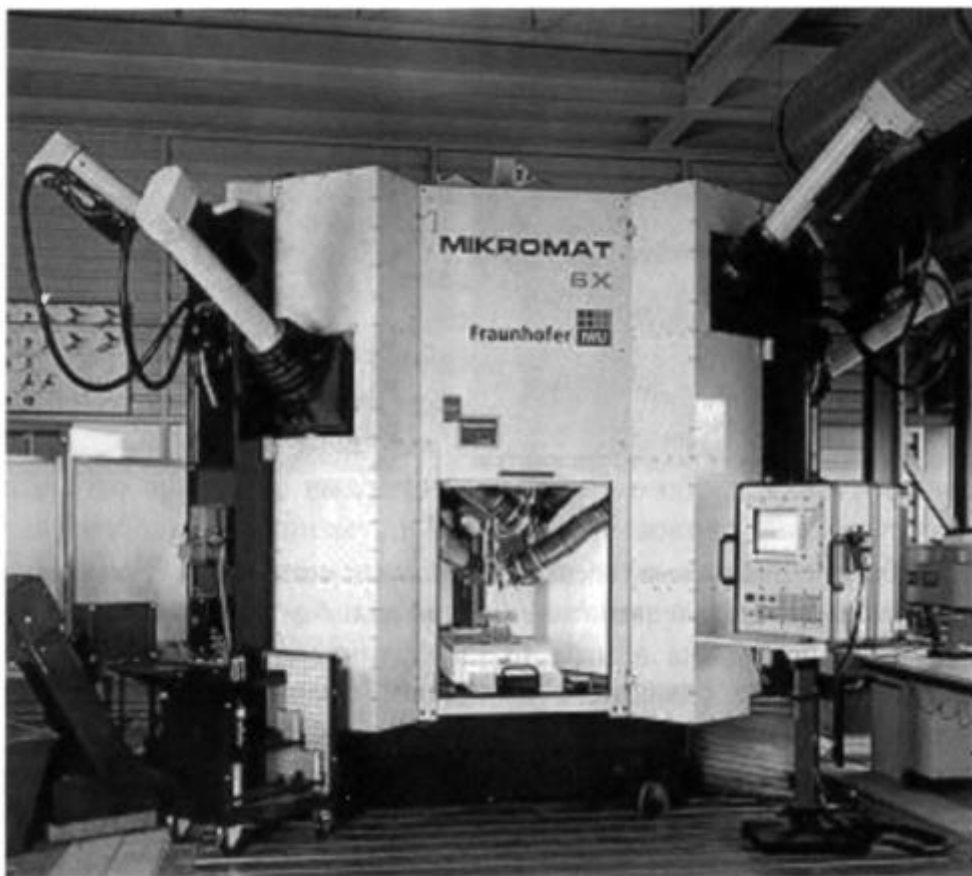


Figure 6. Hexa Mikromat 6X.

A positive moment is a wide angle of a turn of rotary angle of the spindle. A negative moment is low speed of the output part.

There is machine, model Variax manufactured by Giddings&Lewis firm. That machine features a bed constructed on the triangulation principle and it has appearance of an octahedron. It provides high strength of rods and rigidity of the machine in general (Potapov (1996)).

Another machine, HEXEL has hinges are arranged on a single base and are covered with spherical caps. The base is located in the upper part of the bed.

This kind of layout secures more convenient access to the operational area of the machine (Gimenez (2012)).

Well known a technology module, manufactured by LAPIK, JSC, as a coordinate measuring machine. The construction utilizes electric direct current motors and friction drive. There is a feedback system by position installed. For the purpose is used a laser interferometer. The system can compensate measurement errors, taking into consideration temperature, humidity, and atmospheric pressure changes. As a result the precision of positioning of operational assemblies by axis location can reach 0.8 micrometers (Bushuev (2001)).

There is also a machine with the parallel structure and constant rod lengths called PARALIX, it is presented in Figure 7. As Kuznetsov stated ‘the rods of the PARALIX machine are constant length ones (2) (Figure 7, b) and they are bound with the output part (1) with spherical hinges. Each rod is bound with a slide block (3) with a cardan joint. The slide blocks (3) are moving across the guides (4) that are installed on the bed (6). There is an operational table mounted there (5). The construction is made with a horizontal layout of the parallel structure of the mechanism’ (2008: 36).

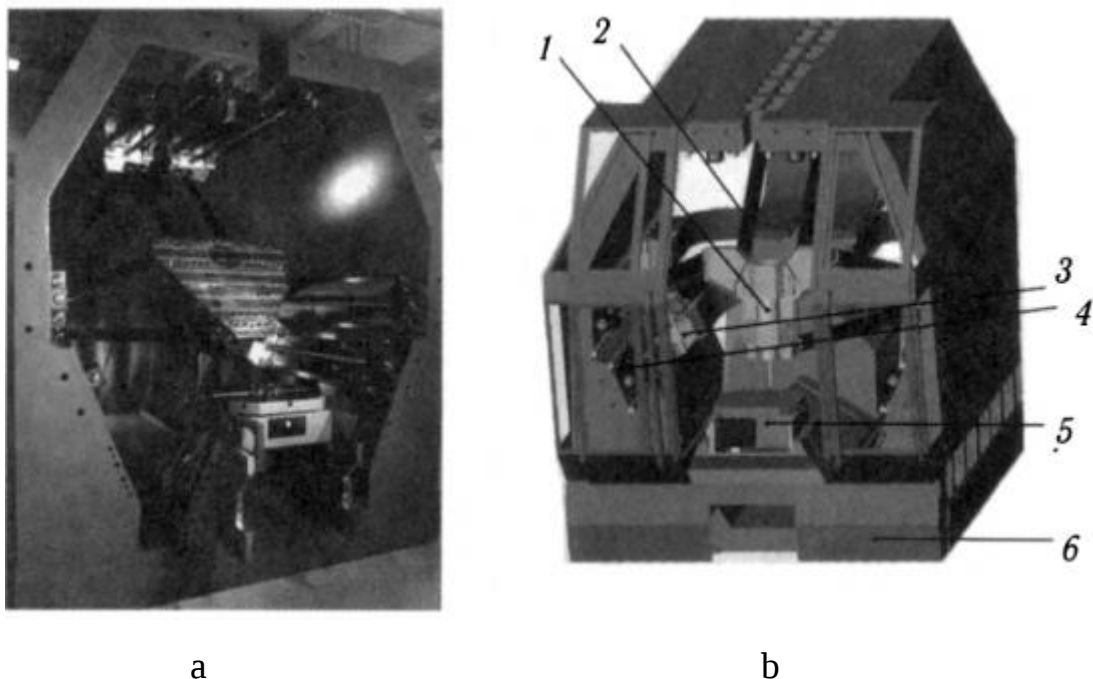


Figure 7. The PARALIX machine: a — general view, b — kinematic scheme.

A positive moment is the construction simplicity as the ball screws are not in relative motion with the rods. A negative moment is that prototype has a cardan joint which limits the motion of the output part by vertical axis.

The constructions of stands described in this paper are main types of constructions are industrial designs used today. Our review can help us to determine specifications needed for a new development. The output part should have at least 5 degrees of freedom. An operational space has to be more convenient for maintenance. The drive unit has to be placed symmetrically for error compensations. The rods must be of constant length. The bed must be rigid. The output part must have the wider limiting angle of rotation.

Analysis of constructions and features of existing prototypes can help us to conclude there has to be a new scheme developed for 5D mechanisms with parallel kinematics and place drives symmetrically in the area.