Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Институт машиностроения, материалов и транспорта

Высшая школа автоматизации и робототехники

**КУРСОВОЙ ПРОЕКТ**

**Разработка мобильного робота. Манипулятор**

по дисциплине «Конструирование модулей мехатронных  
устройств в робототехнике»

Выполнили

студенты гр. 3331506/70401 Самарин А.  С.

Паньков И.  С.

Ляпцев И.  А.

Жернаков А.  А.

Козлов Д.  А.

Коновалов В.  А.

Кочурин Р.П.

Шкабара Я.  А.

Якименко Г.  К.

Сомов А.С.

Руководитель

начальник отдела «Конструирование Прямицын И. Б.

робототехнических систем»

«\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_ 2021 г.

Санкт-Петербург

2021

**СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ**

Руководитель курс. проекта,

нач. отдела «Конструирование

робототехнических систем» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ И. Б. Прямицын

(подпись, дата)

Отв. исполнитель,

студент \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ А.  С. Самарин

(подпись, дата) (звено 0)

Исполнители:

студент \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ И.  А. Ляпцев

(подпись, дата) (отчет)

студент \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ А. А. Жернаков

(подпись, дата) (звено 1)

студент \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Д.  А. Козлов

(подпись, дата) (отчет)

студент \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ В.  А. Коновалов

(подпись, дата) (чертежи)

студент \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Р. П. Кочурин

(подпись, дата) (чертежи)

студент \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Я. А. Шкабара

(подпись, дата) (звено 3)

студент \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Г. К. Якименко

(подпись, дата) (звенья 2, 3)

студент \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ А.С. Сомов

(подпись, дата) (чертежи)

Нормоконтроль \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ И. С. Паньков

(подпись, дата) (звено 2)

СОДЕРЖАНИЕ

[1 Техническое задание 4](#_Toc70083812)

[2 Проведение основных расчетов манипулятора 5](#_Toc70083813)

[2.1 Кинематический расчет манипулятора 5](#_Toc70083814)

[2.2 Статический и динамический расчет манипулятора 6](#_Toc70083815)

[2.2.1 Энергокинематический расчет 6](#_Toc70083816)

[2.2.2 Выбор сервоприводов 10](#_Toc70083817)

[3 Конструкции шарниров 11](#_Toc70083818)

[3.1 Конструкция опорно-поворотного устройства (ОПУ) 11](#_Toc70083819)

[3.2 Конструкция первого шарнира 12](#_Toc70083820)

[3.3 Конструкция второго шарнира 13](#_Toc70083821)

[3.4 Конструкция третьего шарнира 15](#_Toc70083822)

[4 Соединение с остальными частями робота 17](#_Toc70083823)

[4.1 Соединение с платформой 17](#_Toc70083824)

[4.2 Соединение с захватным устройством 17](#_Toc70083825)

[ЗАКЛЮЧЕНИЕ 18](#_Toc70083826)

[СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ 19](#_Toc70083827)

# Техническое задание

Разработка манипулятора для крепления к подвижной платформе и участия в кубке РТК.

Основные требования, предъявляемые к манипулятору:

* количество звеньев: 4;
* масса манипулятора без схвата: не более 1,5 кг;
* возможность крепления схвата;
* полезная нагрузка: 0,5 кг;
* длина в вытянутом состоянии: 400 мм;
* средняя скорость вращения звеньев: .

# Проведение основных расчетов манипулятора

## Кинематический расчет манипулятора

В соответствии с техническим заданием создана кинематическая схема манипулятора (см. рисунок 2.1).



Рисунок . — Кинематическая схема манипулятора

Параметры кинематической схемы в матричном представлении Денавита — Хартенберга приведены в таблице 2.1.

Таблица . — Параметры Денавита — Хартенберга

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Звено |  |  |  |  |
| Звено 1 | 0 |  |  |  |
| Звено 2 |  | 0 |  |  |
| Звено 3 | 0 |  |  |  |
| Звено 4 | 0 | 0 | 0 |  |
| Схват | 0 | 0 |  | 0 |

## Статический и динамический расчет манипулятора

Исходными данными для анализа манипулятора являются выбранная кинематическая схема и заданная грузоподъёмность, равная 0,3 кг. Целью проведения расчёта является определение требований к моменту и мощности шарниров манипулятора, и как следствие, к мощности двигателя и моменту редуктора и двигателя для обоснования выбора конкретных компонентов.

Для определения искомых характеристик необходимо выполнить следующие действия:

* разработать предварительную статическую модель (массы, центры масс), в которой электромеханические компоненты, и, следовательно, массы отдельных звеньев заданы с избыточным запасом;
* выбрать конфигурацию максимального нагружения для каждого из шарниров манипулятора;
* определить статическую и динамическую нагрузку на шарниры в выбранной конфигурации.

Под конфигурацией манипулятора понимается вектор углов поворота его шарниров, а конфигурация максимального нагружения выбирается так, чтобы нагрузка на конкретный шарнир была максимально возможной, что для манипулятора рассматриваемой структуры допустимо выполнить без расчёта, на основе простого геометрического анализа.

### Энергокинематический расчет

Максимальная нагрузка будет при вытянутых звеньях (так как плечо приложения силы будет наибольшим), поэтому будем рассматривать момент, когда манипулятор вытянут на максимальную длину. В данном положении все центры масс звеньев, а также схвата и груза, находятся на одной прямой.

На рисунке 2.2 представлены все силы и моменты, действующие на манипулятор во время поворота двигателя в плечевом шарнире, где:

* Масса 1 звена **
* Масса 2 звена **
* Масса 3 звена **
* Масса груза 
* Масса схвата 
* Расстояние от поворотной оси до центра масс 2 звена 
* Расстояние от поворотной оси до центра масс 3 звена 
* Расстояние от поворотной оси до центра масс схвата 
* Расстояние от поворотной оси до центра масс груза 
*  — угловое ускорение плечевого шарнира;
*  — момент инерции 2 звена;
*  — момент инерции 3 звена;
* ** — момент инерции схвата (от англ. Grip — схват);
* ** — момент инерции груза (от англ. Load — нагрузка);
* **— момент, противодействующий опрокидыванию (от англ. Overturn — опрокидывание);
* *—* момент сил инерции механизма.



Рисунок . — Манипулятор с изображением приложенных сил и моментов

В соответствии с рисунком 2.2 момент, противодействующий опрокидыванию, и момент сил инерции механизма равны:





Из-за пренебрежимо малого плеча моментом инерции первого звена можно пренебречь.

Используя , найдем момент, противодействующий опрокидыванию:



Моменты инерции 2 и 3 звеньев и схвата относительно 2 шарнира найдем по теореме Штейнера, а момент инерции груза — как момент инерции материальной точки:









где  *—* моменты инерции 2 и 3 звеньев и схвата относительно их центров масс, взятые из массовых характеристик моделей SolidWorks, .

Найдем суммарный момент инерции относительно 1-го шарнира:



Теперь необходимо задаться законом движения. Для данного привода наиболее оптимальной для системы управления является трапецеидальная циклограмма с 20 % времени на разгон и 20 % времени на торможение. Циклограмма работы привода представлен на рисунке 2.3.



Рисунок 2.3 — Циклограмма работы 2 привода

Согласно техническому заданию, средняя скорость вращения звеньев в радианах равна:



Возьмем угол поворота шарнира



Тогда время движения шарнира равно



Найдем время разгона и торможения:



Определим установившуюся скорость движения при трапецеидальной циклограмме (соотв. графику  на рисунке 2.3), приравняв площади под графиками  и :



Угловое ускорение, соответствующее трапецеидальной циклограмме, равно



Динамический момент в данной расчетной модели равен моменту сил инерции



Необходимый общий крутящий момент



Необходимая полезная мощность на выходе мотор-редуктора



Аналогичным образом рассчитаем пиковые момент и мощность остальных шарниров. Результаты расчетов представлены в сводной таблице 2.2.

Таблица .2 — Требуемые моменты и мощности шарниров

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Шарнир | Требования | |
| Мощность, Вт | Момент, |
| 1 | 1,64 | 3,01 |
| 2 | 1,88 | 3,45 |
| 3 | 0,84 | 1,54 |

### Выбор сервоприводов

В таблице 2.3 указаны сервоприводы, выбранные в соответствии с требуемыми моментами и мощностями шарниров.

Таблица 2.3 — Сервоприводы

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Шарнир | Сервопривод | Характеристики | |
| Мощность, Вт | Момент, |
| 1 | Fan Model FS-38W | 38 | 3,80 |
| 2 | Fan Model FS-38W | 38 | 3,80 |
| 3 | TD-8320MG | 9 | 1,72 |

# Конструкции шарниров

Корпуса шарниров будут изготовлены из ABS. Также валы и втулки будут изготовлены из ABS.

Звенья изготавливаются из PC/ABS. Звенья имеют цилиндрическую форму, полые внутри. Проводка проложена во внутренних полостях. В местах шарниров провода выступают наружу в виде петли, защищённой гибкой пластмассовой оболочкой.

## Конструкция опорно-поворотного устройства (ОПУ)

В сборку ОПУ входит сервопривод Fan Model FS-38W, который обеспечивает вращение. Сервопривод крепится к центрирующей детали при помощи болтов М4х14 ГОСТ 11738-84. Крепление центрирующей детали к фланцу ОПУ осуществляется при помощи четырех болтов М3х25 ГОСТ 11738-84, центрирование производится по краю фланца при помощи выступающей части детали.

Характеристики сервопривода, то есть то, насколько может поварачиватся например, мб что-нибудь ещё.

На рисунке 3.1 представлена конструкция опорно-поворотного устройства в аксонометрии.

В конструкцию ОПУ входит подшипниковый узел, состоящий из двух подшипников 1000905 2RS ГОСТ 8338-75, размещенный в подшипниковой чаше, данная конструкция используется для того, чтобы переносить на подшипники и, следовательно, на корпус радиальные силы, а также вращающие не по оси вращения моменты. Подшипниковая чаша крепится к корпусу ОПУ при помощи шести болтов с потайной головкой М3х10 ГОСТ 17475-80. В местах соединения «подшипниковая чаша - корпус», «фланец сервопривода - вал подшипникового узла» и «вал подшипникового узла – первый шарнир» предусмотрены центрирующие выступы. Фланец сервопривода крепится к валу подшипникового узла при помощи четырех болтов М3х8 ГОСТ 11738-84. Вал подшипникового узла крепится к корпусу первого шарнира при помощи четырех болтов М3х12 ГОСТ 17475-80.

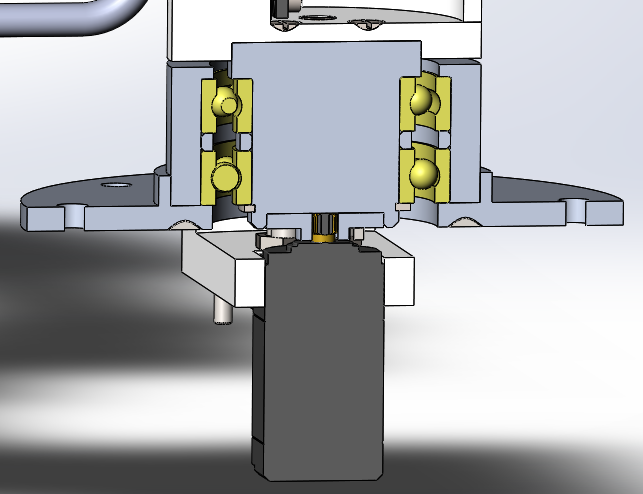


Рисунок 3.1 – ОПУ в разрезе

## Конструкция первого шарнира

В сборку первого шарнира входит сервопривод Fan Model FS-38W, который обеспечивает вращение и крепится к корпусу при помощи четырех болтов М3х8 ГОСТ 11738-84.

Характеристики сервопривода, то есть то, насколько может поварачиватся например, мб что-нибудь ещё.

На рисунке 3.2 представлена конструкция первого шарнира в аксонометрии.

В конструкцию первого шарнира также входит подшипниковый узел, состоящий из двух подшипников 1000905 2RS ГОСТ 8338-75, и размещенный в корпусе, выполненном по подобию подшипниковой чаши, данная конструкция используется для того, чтобы переносить на подшипники и, следовательно, на корпус радиальные силы, а также вращающие не по оси вращения моменты. Подшипники запираются при помощи крышки, которая крепится к корпусу первого звена при помощи болтов с потайной головкой   
М2х8 ГОСТ 17475-80. В местах соединения «фланец сервопривода - вал подшипникового узла» и «вал подшипникового узла - второе звено» предусмотренны специальные центрирующие выступы. Крепление фланца к валу подшипникового узла происходит при помощи четырех болтов   
М3х8 ГОСТ 11738-84. Крепление вала подшипникового узла ко второму звену происходит при помощи четырех болтов М3х8 ГОСТ 11738-84.

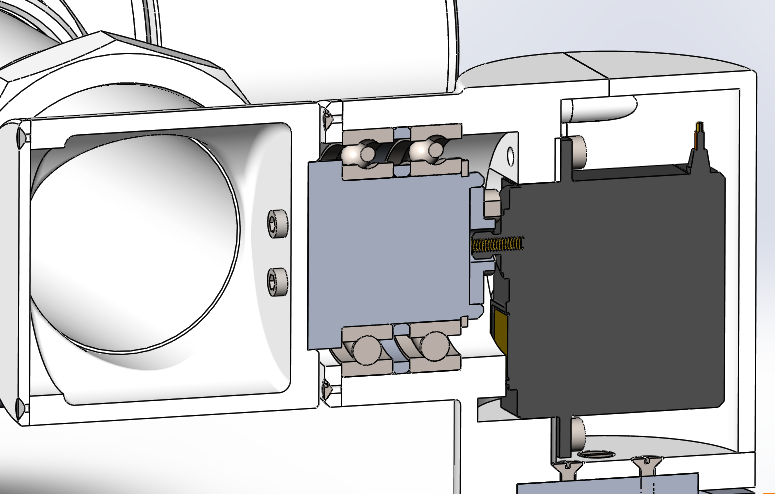


Рисунок 3.2 – Первый шарнир в разрезе

## Конструкция второго шарнира

На рисунке 3.3 представлена конструкция второго шарнира в аксонометрии.

В конструкцию второго шарнира входит сервопривод   
Fan Model FS-38W, который обеспечивает вращение вращение и крепится к корпусу при помощи четырех болтов М3х8 ГОСТ 11738-84. В конструкции второго звена предусмотрена деталь, которая будет удерживать сервопривод от вращения, и прикреплена к корпусу теми же болтами, что и крышка справа на рисунке 3.3. В шарнире используется подшипниковый узел, состоящий из двух подшипников 1000905 2RS ГОСТ 8338-75, и размещенный в корпусе, выполненном по подобию подшипниковой чаши, данная конструкция используется для того, чтобы переносить на подшипники и, следовательно, на корпус радиальные силы, а также вращающие не по оси вращения моменты. Подшипники запираются при помощи крышки, которая крепится к корпусу второго звена при помощи болтов с потайной головкой М2х8 ГОСТ 17475-80. В местах соединения «фланец сервопривода - вал подшипникового узла» и «вал подшипникового узла - третье звено» предусмотрены специальные центрирующие выступы. Крепление фланца к валу подшипникового узла происходит при помощи четырех болтов М3х8 ГОСТ 11738-84. Крепление вала подшипникового узла ко второму звену происходит при помощи четырех болтов М3х8 ГОСТ 11738-84.

На рисунке 3.3 также видны выводы для проводов управления сервоприводами и схватом, которые служат для перекидки проводов из второго звена в третье по внешней петле.

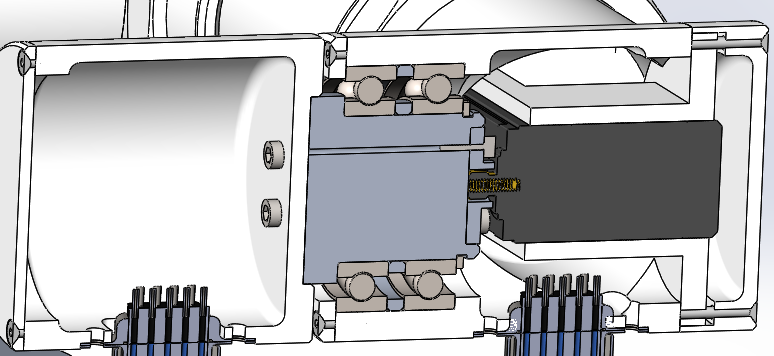


Рисунок 3.3 – Второй шарнир в разрезе

## Конструкция третьего шарнира

В сборку третий шарнира входит сервопривод TD-8320MG, который обеспечивает вращение. Крепление сервопривода к корпусу осуществляется при помощи четырех болтов БОЛТ.

Характеристики сервопривода, то есть то, насколько может поварачиватся например, мб что-нибудь ещё.

На рисунке 3.4 представлена конструкция третьего шарнира в аксонометрии.

В конструкцию третьего шарнира также входит подшипниковый узел, состоящий из двух подшипников 1000803 2RS ГОСТ 8338-75, и размещенный в корпусе, выполненном по подобию подшипниковой чаши, данная конструкция используется для того, чтобы переносить на подшипники и, следовательно, на корпус радиальные силы, а также вращающие не по оси вращения моменты. Подшипники запираются при помощи крышки, которая крепится к корпусу первого звена при помощи болтов с потайной головкой БОЛТ, и которая центрируется с корпусом шарнира с помощью выступа на крышке. В местах соединения «фланец сервопривода - вал подшипникового узла» предусмотренный специальный центрирующий выступ. Соединение фланца с валом подшипникового узла осуществляется при помощи четырех болтов БОЛТ.

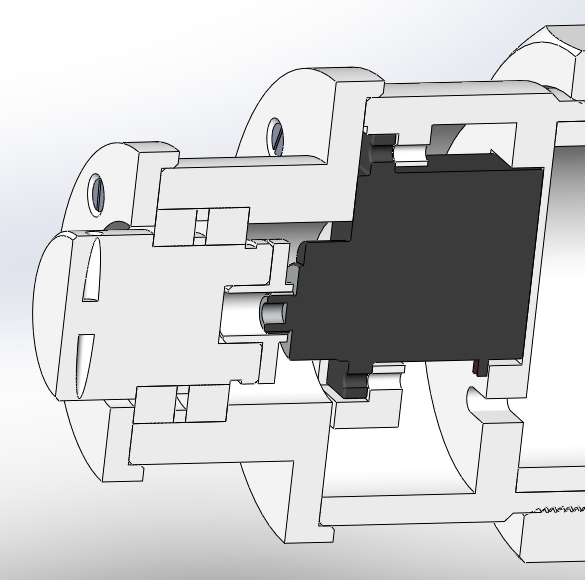


Рисунок 3.4 – Третий шарнир в разрезе

# Соединение с остальными частями робота

## Соединение с платформой

На рисунке 4.1 представлено соединение платформа-манипулятор. Присоединение осуществляется в ответное отверстие платформы. Закрепление частей осуществляется при помощи шести болтов БОЛТ.

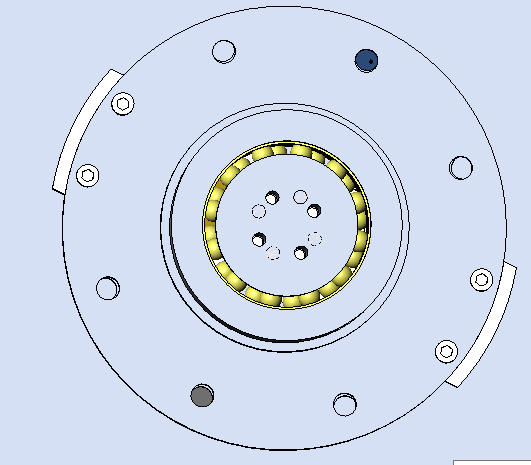


Рисунок 4.1 – Соединение платформа-манипулятор

## Соединение с захватным устройством

На рисунке 4.2 представлено соединение манипулятор-схват. Присоединение осуществляется на вал ответной части схвата. Закрепление частей осуществляется при помощи четырех болтов БОЛТ.



Рисунок 4.2 – Соединение манипулятор-схват

# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целью работы являлось сконструировать три шарнира манипулятора. В ходе выполнения работы была разработана электрическая и кинематическая схема манипулятора. Был проведён статический и динамический расчёт для определения максимальной мощности и момента для каждого шарнира. На основе полученных данных произведён подбор сервоприводов. Также было продумано крепление манипулятора к опорно-поворотному и захватному устройству.

Окончательным результатом проделанной работы является модель манипулятора в SolidWorks.

# СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ