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, разъемы, провода,

тех. задание, раздел 1)

Исполнители:

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

(подпись, дата) (раздел 1, список исп. ист.)

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

(подпись, дата) (звено 1, список исп. ист.)

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

(подпись, дата) (раздел 1, кинем. схема)

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

(подпись, дата) (сборочный чертеж)

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

(подпись, дата) (разделы 2, 3, заключение)

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

(подпись, дата) (звено 3, спецификация)

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

(подпись, дата) (звенья 2, 3, кинем. схема)

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

(подпись, дата) (чертеж дет. звена 2)

Нормоконтроль,

студент \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ И. С. Паньков

(подпись, дата) (звено 2, введение,

контроль разделов 1, 2, 3)

СОДЕРЖАНИЕ

[Техническое задание 5](#_Toc70624646)

[Введение 6](#_Toc70624647)

[1 Проектировочный расчет манипулятора 7](#_Toc70624648)

[1.1 Кинематический расчет манипулятора 7](#_Toc70624649)

[1.2 Статический и динамический расчеты манипулятора 8](#_Toc70624650)

[1.2.1 Энергокинематический расчет 8](#_Toc70624651)

[1.2.2 Выбор сервоприводов 12](#_Toc70624652)

[2 Конструкция звеньев манипулятора 13](#_Toc70624653)

[2.1 Опорно-поворотное устройство (ОПУ) 13](#_Toc70624654)

[2.1.1 Привод звена 13](#_Toc70624655)

[2.1.2 Конструкция шарнира звена 14](#_Toc70624656)

[2.1.3 Сборка звена 15](#_Toc70624657)

[2.2 Первое звено манипулятора 16](#_Toc70624658)

[2.2.1 Привод звена 16](#_Toc70624659)

[2.2.2 Конструкция шарнира звена 16](#_Toc70624660)

[2.2.3 Сборка звена 17](#_Toc70624661)

[2.3 Второе звено манипулятора 18](#_Toc70624662)

[2.3.1 Привод звена 18](#_Toc70624663)

[2.3.2 Конструкция шарнира звена 19](#_Toc70624664)

[2.3.3 Сборка звена 20](#_Toc70624665)

[2.4 Третье звено манипулятора 21](#_Toc70624666)

[2.4.1 Привод звена 21](#_Toc70624667)

[2.4.2 Конструкция шарнира звена 22](#_Toc70624668)

[2.4.3 Сборка звена 22](#_Toc70624669)

[3 Соединение с остальными частями робота 24](#_Toc70624670)

[3.1 Соединение с платформой 24](#_Toc70624671)

[3.2 Соединение с захватным устройством 24](#_Toc70624672)

[Заключение 25](#_Toc70624673)

[Список использованных источников 26](#_Toc70624674)

[Приложение А Кинематическая схема манипулятора 27](#_Toc70624675)

[Приложение Б Сборочный чертеж манипулятора 28](#_Toc70624676)

[Приложение В Спецификация на сборочный чертеж манипулятора 29](#_Toc70624677)

[Приложение Г Чертеж корпуса подшипникового узла второго звена 30](#_Toc70624678)

# ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

Разработка манипулятора для крепления к подвижной платформе и участия в соревновании «Кубок 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: .

# ВВЕДЕНИЕ

Для решения задачи взаимодействия с объектами окружающей среды на мобильный робот может быть установлен манипулятор. Манипулятор представляет из себя многозвенный механизм с несколькими степенями подвижности, как правило, с разомкнутой структурой. Это значит, что к последнему (выходному) звену манипулятора может быть присоединен какой-либо рабочий инструмент, например, захватное устройство.

В качестве кинематической схемы решено выбрать манипулятор с четырьмя вращательными степенями подвижности: тремя переносными и одной ориентирующей.

Три вращательные переносные степени подвижности обеспечивают манипулятору максимальную достижимую зону в виде сферической поверхности. В связи с этим манипулятор сможет вытягиваться на свою максимальную длину для любого положения.

Для обеспечения выполнения таких операций, как захват объектов, расположенных под некоторым углом, и их вращение манипулятору необходима, по крайней мере, одна ориентирующая степень подвижности. Она также является вращательной и обеспечивается за счёт расположение оси вращения выходного звена коаксиально продольной оси предыдущего звена.

Для обеспечения вращения звеньев друг относительно друга необходимо использование приводов. Наиболее часто используемым в манипуляторах видом привода является электропривод. В качестве электроприводов использованы сервопривода за счёт их компактности, наличия обратной связи по положению (а значит, точности отработки задающего воздействия) и малого количества цепей, с которыми их нужно соединять: напряжение питания, ШИМ-сигнал и земля.

# Проектировочный расчет манипулятора

## Кинематический расчет манипулятора

В соответствии с техническим заданием создана кинематическая схема манипулятора (см. рисунок 1.1).



Рисунок . — Кинематическая схема манипулятора

Параметры кинематической схемы в матричном представлении Денавита — Хартенберга приведены в таблице 1.1.

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 расчеты 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 [1].

### 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 1.2 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 1.2 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 оптимальной для системы управления является трапецеидальная циклограмма с 20 % времени на разгон и 20 % времени на торможение [2]. Циклограмма работы привода представлена на рисунке 1.3.



Рисунок 1.3 — 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 1.3), 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 1.2.

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 1.3 указаны сервоприводы, выбранные в соответствии с требуемыми моментами и мощностями шарниров.

Таблица 1.3 — Сервоприводы

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Шарнир | Сервопривод | Характеристики | |
| Мощность, Вт | Момент, |
| 1 | JMT TD-8135MG | 3,4 | 3,27 |
| 2 | Fan Model FS-38W | 12,7 | 3,80 |
| 3 | TD-8320MG | 3,0 | 1,72 |
| 4 | MG-90S | 0,7 | 0,22 |

# Конструкция звеньев манипулятора

Корпуса шарниров будут изготовлены из ABS, валы и втулки будут изготовлены из сплава алюминия 1060.

Присоединительный и подшипниковый узлы изготавливаются из ABS, труба, соединяющая два узла, изготавливается из PC/ABS. Соединение узлов и трубы осуществляется при помощи цанговых зажимов, изготовленных из ABS.

Провода управления шарнирами и схватом проложены во внутренних полостях труб. Так как в местах переходов от одного звена к другому невозможно проложить внутри провода безопасно для них самих, то было решено сделать внешние разъёмы для проводов в присоединительном и подшипниковом узлах звеньев и соединить их при помощи внешней петли с запасом по длине, чтобы не ограничивать возможное вращение. Петля будет защищена гибкой защитной оплеткой из полиэстера.

## Опорно-поворотное устройство (ОПУ)

### Привод звена

В сборку ОПУ входит сервопривод JMT TD-8135MG, который обеспечивает вращение. Сервопривод крепится к центрирующей детали при помощи четырех винтов М4×14 ГОСТ 11738 – 84. Крепление центрирующей детали к фланцу ОПУ осуществляется при помощи четырех винтов М3×25 ГОСТ 11738 – 84, центрирование производится по краю фланца при помощи выступающей части детали [3].

Характеристики сервопривода JMT TD-8135MG [4] представлены в таблице 1.4.

Таблица 1.4 — Характеристики сервопривода JMT TD-8135MG

|  |  |
| --- | --- |
| Характеристика | Значение |
| Диапазон рабочих температур | От –25°C до  70°C |
| Водонепроницаемость | нет |
| Размер | 40,0×20,5×40,5 мм |
| Вес | 56 г ± 5% |
| Предельный угол | 360° |
| Диапазон рабочих напряжений | 4,8 – 7,2 В |
| Скорость поворота | 0,32 – 0,22 с/60° |
| Рабочий ток | 140 – 200 мА |
| Крутящий момент | 3,27 – 3,52 |
| Метод управления | ШИМ |

### Конструкция шарнира звена

На рисунке 2.1 представлена конструкция шарнира опорно-поворотного устройства.

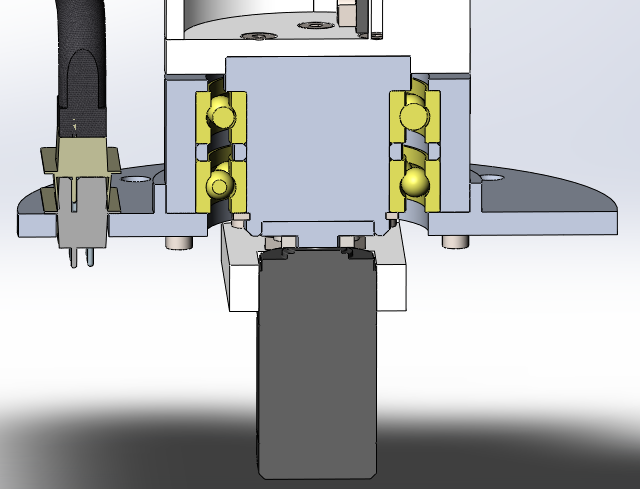


Рисунок . — Конструкция шарнира ОПУ

В конструкцию первого шарнира 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 внешние силы помимо вращающего момента. Подшипниковая чаша крепится к корпусу ОПУ при помощи шести винтов с потайной головкой М3×10 ГОСТ 17475 – 80, происходит поджатие подшипников.

В местах соединения «подшипниковая чаша — корпус», «фланец сервопривода — вал подшипникового узла» и «вал подшипникового узла — первое звено» предусмотрены центрирующие выступы (углубления). Фланец сервопривода крепится к валу подшипникового узла при помощи четырех винтов М3×8 ГОСТ 11738 – 84. Вал подшипникового узла крепится к корпусу первого шарнира при помощи четырех винтов с потайной головкой М3×12 ГОСТ 17475 – 80.

На рисунке 2.1 также видны разъемы для внешней петли, чтобы перекидывать провода управления сервоприводами и схватом с опорно-поворотного устройства в первое звено.

### Сборка звена

Сборка опорно-поворотного устройства осуществляется в следующем порядке:

1. К валу подшипникового узла крепится фланец сервопривода. Центрирование происходит при помощи углубления в вале.
2. На вал запрессовываются по порядку подшипник, втулки для внутреннего и внешнего колец подшипников, подшипник. Устанавливается наружное стопорное кольцо. Происходит фиксация внутренних колец подшипников стопорным кольцом с одной стороны, и буртом вала — с другой.
3. Данная конструкция вставляется в подшипниковую чашу.
4. Подшипниковая чаша присоединяется к корпусу ОПУ. Происходит поджатие внешних колец подшипников буртом чаши с одной стороны, и разницей диаметров отверстий подшипниковой чаши и корпуса ОПУ — с другой.
5. Сервопривод крепится к центрирующей детали.
6. Центрирующая деталь с сервоприводом крепится к корпусу ОПУ. Центрирование происходит при помощи выступа на центрирующей детали.
7. К валу подшипникового узла можно присоединять следующее звено. Центрирование будет происходить при помощи углубления в корпусе следующего звена.

## Первое звено манипулятора

### Привод звена

В сборку второго шарнира входит сервопривод Fan Model FS-38W, который обеспечивает вращение и крепится к корпусу при помощи четырех винтов М3×8 ГОСТ 11738 – 84.

Характеристики сервопривода Fan Model FS-38W [5] представлены в таблице 1.5.

Таблица 1.5 — Характеристики сервопривода Fan Model FS-38W

|  |  |
| --- | --- |
| Характеристика | Значение |
| Диапазон рабочих температур | –20℃ – 60℃ |
| Водонепроницаемость | да |
| Размер | 40×20×42 мм |
| Вес | 85 г |
| Предельный угол | 180° ± 10° |
| Диапазон рабочих напряжений | 4,8 – 7,4 В |
| Скорость поворота | 0,10 – 0,09 с/60° |
| Рабочий ток | < 500 мА |
| Крутящий момент | 3,80 – 4,00 |
| Метод управления | ШИМ |

### Конструкция шарнира звена

На рисунке 2.2 представлена конструкции первого звена.

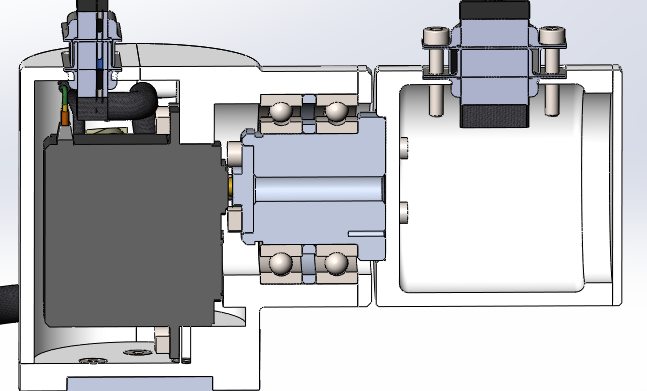


Рисунок . — Конструкция шарнира первого звена

В конструкцию шарнира первого звена 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 внешние силы помимо вращающего момента. Подшипники поджимаются при помощи крышки, которая крепится к корпусу шарнира при помощи винтов с потайной головкой М2×8 ГОСТ 17475 – 80 [6].

В местах соединения «фланец сервопривода — вал подшипникового узла» и «вал подшипникового узла — второе звено» предусмотрены специальные центрирующие выступы (углубления). Крепление фланца к валу подшипникового узла происходит при помощи четырех винтов М3×8 ГОСТ 11738 – 84. Крепление вала подшипникового узла ко второму звену происходит при помощи четырех винтов М3×8 ГОСТ 11738 – 84.

На рисунке 2.2 также видны разъемы для внешней петли, чтобы перекидывать провода управления сервоприводами и схватом из первого звена во второе.

### Сборка звена

Сборка первого звена осуществляется в следующем порядке:

1. Корпус подшипникового узла крепится на вале подшипникового узла опорно-поворотного устройства.
2. К валу подшипникового узла крепится фланец сервопривода. Центрирование осуществляется при помощи углубления в вале.
3. На вал запрессовываются в следующем порядке подшипник, втулки для внутреннего и внешнего колец подшипников, подшипник. Устанавливается наружное стопорное кольцо. Происходит фиксация внутренних колец подшипников стопорным кольцом с одной стороны, и буртом вала — с другой.
4. Данная конструкция устанавливается в соответствующее отверстие корпуса первого звена.
5. Подшипниковая чаша запирается при помощи крышки. Происходит поджатие крышкой внешних колец подшипников с одной стороны и буртом — с другой.
6. К корпусу крепится сервопривод.
7. Устанавливается крышка подшипникового узла.
8. К валу подшипникового узла можно присоединять следующее звено. Центрирование будет происходить при помощи углубления в корпусе присоединительного узла следующего звена.

## Второе звено манипулятора

### Привод звена

В конструкцию шарнирного узла входит сервопривод TD-8320MG, который обеспечивает вращение, и крепится к корпусу при помощи четырех винтов М3×8 ГОСТ 11738 – 84.

Характеристики сервопривода TD-8320MG [7] представлены в таблице 1.6.

Таблица 1.6 — Характеристики сервопривода TD-8320MG

|  |  |
| --- | --- |
| Характеристика | Значение |
| Диапазон рабочих температур | –20°C – 60°C |
| Водонепроницаемость | да |
| Размер | 40,6×20,4×39,0 мм |
| Вес | 60 г ± 5% |
| Предельный угол | 360° |
| Диапазон рабочих напряжений | 4,8 – 6,6 В |
| Скорость поворота | 0,19 – 0,17 с/60° |
| Рабочий ток | < 500 мА |
| Крутящий момент | 1,72 – 2,05 |
| Метод управления | ШИМ |

### Конструкция шарнира звена

На рисунке 2.3 представлена конструкция шарнира второго звена.

В конструкции второго звена предусмотрена фиксирующая конструкция, которая будет удерживать сервопривод от вращения, и прикреплена к корпусу теми же болтами, что и крышка справа на рисунке 2.3.

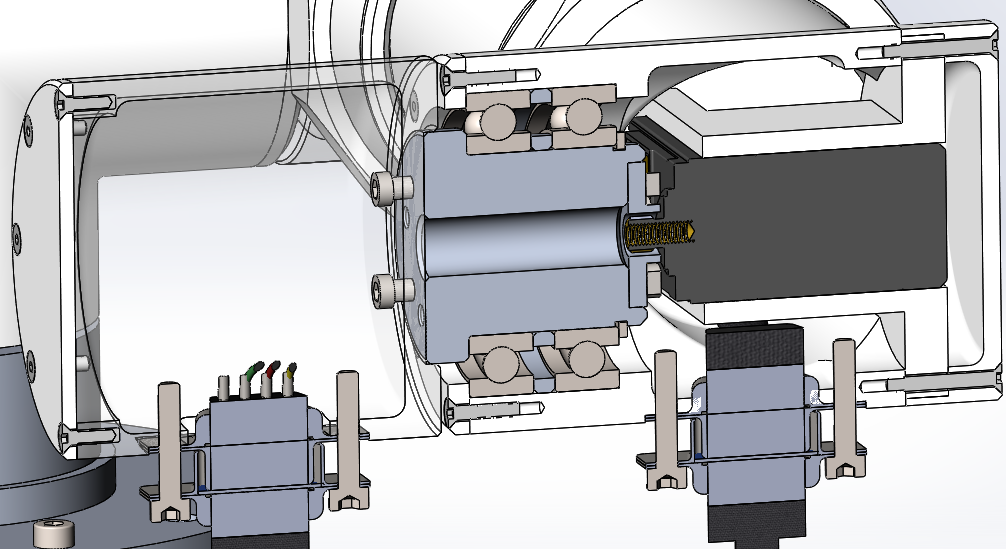


Рисунок . — Конструкция шарнира второго звена

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 внешние силы помимо вращающего момента. Подшипники поджимаются при помощи крышки, которая крепится к корпусу шарнира при помощи винтов с потайной головкой М2×8 ГОСТ 17475 – 80.

В местах соединения «фланец сервопривода — вал подшипникового узла» и «вал подшипникового узла — третье звено» предусмотрены специальные центрирующие выступы (углубления). Крепление фланца к валу подшипникового узла происходит при помощи четырех винтов М3×8 ГОСТ 11738 – 84. Крепление вала подшипникового узла ко второму звену происходит при помощи четырех винтов М3×8 ГОСТ 11738 – 84.

На рисунке 2.3 также видны разъемы для внешней петли, чтобы перекидывать провода управления сервоприводами и схватом из второго звена в третье.

### Сборка звена

Сборка второго звена осуществляется в следующем порядке:

1. К валу подшипникового узла второго звена крепится фланец сервопривода. Центрирование осуществляется при помощи углубления в вале.
2. На вал в следующем порядке запрессовываются подшипник, втулки для внутреннего и внешнего колец подшипников, подшипник. Устанавливается наружное стопорное кольцо. Происходит фиксация внутренних колец подшипников стопорным кольцом с одной стороны, и буртом вала — с другой.
3. Данная конструкция устанавливается в соответствующее отверстие корпуса.
4. Подшипниковая чаша запирается при помощи крышки. Происходит поджатие крышкой внешних колец подшипников с одной стороны, и буртом — с другой.
5. К корпусу крепится сервопривод с фиксирующим каркасом.
6. Устанавливается крышка подшипникового узла.
7. С помощью цангового соединения происходит крепление трубы к корпусу присоединительного узлу второго звена.
8. Корпус подшипникового узла крепится к трубе второго звена с помощью цангового соединения, предварительно спозиционировав необходимый угол фиксации.
9. К валу подшипникового узла первого звена крепится корпус присоединительного узла второго звена.
10. Устанавливается крышка присоединительного узла.
11. К валу подшипникового узла можно присоединять следующее звено. Центрирование будет происходить при помощи углубления в корпусе присоединительного узла следующего звена.

## Третье звено манипулятора

### Привод звена

В сборку шарнира третьего звена входит сервопривод MG-90S, который обеспечивает вращение. Крепление сервопривода к корпусу осуществляется при помощи двух винтов М1.6×10 DIN 921 с гайками М1.6 ГОСТ 5927 – 70.

Характеристики сервопривода MG-90S [8] представлены в таблице 1.7.

Таблица 1.7 — Характеристики сервопривода MG-90S

|  |  |
| --- | --- |
| Характеристика | Значение |
| Диапазон рабочих температур | –30°C – 60°C |
| Водонепроницаемость | Нет |
| Размер | 23,0×12,2×29,0 мм |
| Вес | 13,4 г ± 5% |
| Предельный угол | 180° |
| Диапазон рабочих напряжений | 4,8 – 6,0 В |
| Скорость поворота | 0,11 – 0,10 с/60° |
| Крутящий момент | 0,18 – 0,25 |
| Метод управления | ШИМ |

### Конструкция шарнира звена

На рисунке 2.4 представлена конструкция шарнира третьего звена.

В конструкцию четвертого шарнира 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 внешние силы помимо вращающего момента. Подшипники запираются при помощи крышки, которая крепится к корпусу шарнира при помощи винтов с потайной головкой М2×8 ГОСТ 17475 – 80, и которая центрируется с корпусом с помощью выступа на крышке.

В местах соединения «фланец сервопривода — вал подшипникового узла» предусмотренный специальный центрирующий выступ (углубление) [9]. Соединение фланца с валом подшипникового узла осуществляется при помощи четырех болтов с неполной резьбой М2×16×10 ГОСТ 7805 – 70.

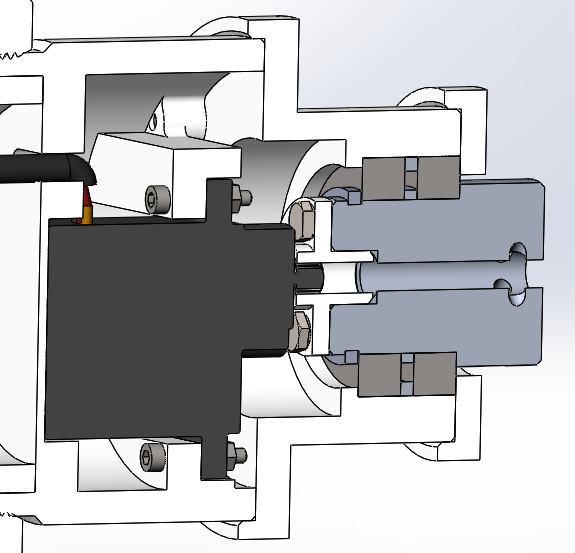


Рисунок . — Конструкция шарнира третьего звена

### Сборка звена

Сборка подшипникового узла третьего звена осуществляется в следующем порядке:

1. Происходит установка сервопривода в корпус подшипникового узла.
2. К валу подшипникового узла крепится фланец сервопривода. Центрирование осуществляется при помощи выступа на фланце и углубления в вале.
3. На вал в следующем порядке запрессовываются подшипник, втулки для внутреннего и внешнего колец подшипников, подшипник. Устанавливается наружное стопорное кольцо. Происходит фиксация внутренних колец подшипников стопорным кольцом с одной стороны, и буртом на вале — с другой.
4. Данная конструкция вставляется в подшипниковую чашу.
5. Подшипниковая чаша запирается при помощи крышки. Центрирование происходит при помощи выступа на крышке. Происходит поджатие крышкой внешних колец подшипников с одной стороны, и буртом — с другой.
6. Подшипниковая чаша присоединяется к корпусу узла. Центрирование происходит при помощи выступа на чаше.
7. С помощью цангового соединения соединяются корпус присоединительного узла и труба третьего звена.
8. С помощью цангового соединения соединяются труба и подшипниковый узел, предварительно спозиционировав необходимый угол.
9. К валу подшипникового узла второго звена присоединяется корпус присоединительного узла третьего звена.
10. Производится установка крышки присоединительного узла.
11. К валу подшипникового узла можно присоединять схват. Центрирование будет происходить по внешнему диаметру вала.

# Соединение с остальными частями робота

## Соединение с платформой

На рисунке 3.1 представлено соединение «платформа — манипулятор». Присоединение осуществляется при помощи четырех болтовых соединений, подходящих для просверленных отверстий диаметром 8 мм.

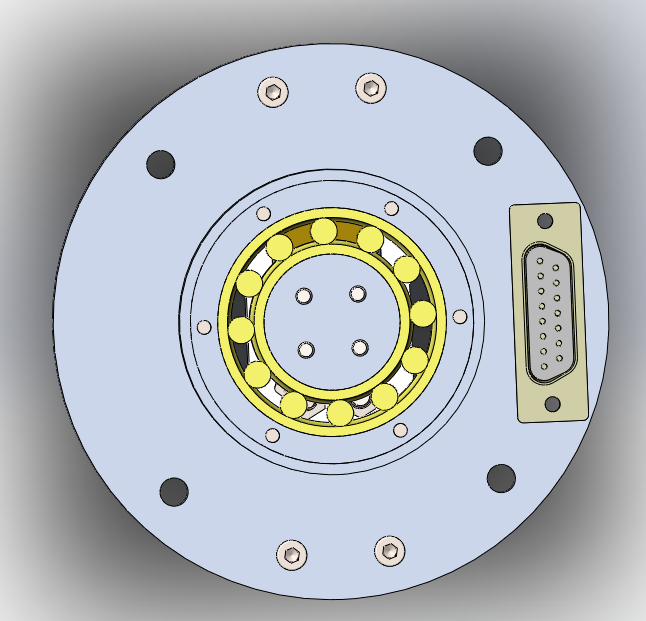


Рисунок . — Соединение «платформа — манипулятор»

## Соединение с захватным устройством

На рисунке 3.2 представлено соединение «манипулятор — схват». Присоединение осуществляется на вал ответной части схвата. Закрепление частей осуществляется при помощи четырех винтов, для этого на вале предусмотрены отверстия диаметром 2 мм.



Рисунок . — Соединение «манипулятор — схват»

# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения работы разработан четырехзвенный манипулятор мобильного робота с возможностью установки захватного устройства.

В ходе выполнения работы разработана кинематическая схема манипулятора. В кинематической схеме использованы четыре вращательные степени подвижности, три из которых являются позиционирующими, одна крайняя — ориентирующая. Вследствие чего поставлена задача разработки четырех шарниров.

В шарнирах решено использовать подшипниковые узлы. Это позволяет разгрузить сервопривод от неосновных сил нагрузки, перенеся их на корпуса шарнирных узлов, а в следствие на опорно-поворотное устройство. Для каждого из звеньев манипулятора предоставлены подробные описания конструкции шарнирных узлов и последовательность действий при сборке звеньев.

В работе проведён статический и динамический расчёт для определения максимальной мощности и момента для каждого шарнира. На основе полученных данных произведён подбор сервоприводов. Решение использовать сервоприводы позволило облегчить задачу расчетов необходимых мощностей и крутящих моментов тем, что нет необходимости выбирать двигатели и подходящие к ним редукторы, также в сервоприводах предусмотрена обратная связь по положению, что позволяет не использовать энкодер как отдельный модуль.

Согласованным с другими командами решением присоединения манипулятора к платформе является центрирование с помощью отверстия в месте присоединения и выступающей частью манипулятора, фиксация — при помощи четырех болтовых соединений. Центрирование захватного устройства осуществляется при помощи внутреннего диаметра фланца и внешнему диаметру вала шарнира манипулятора, фиксация — при помощи четырех винтов.

Для модели манипулятора составлен сборочный чертеж всего манипулятора и для второго звена чертеж корпуса подшипникового узла.

Окончательным результатом проделанной работы является модель манипулятора в SolidWorks.

# СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Теория механизмов и машин: Учеб. пособие для студентов высш. учеб. заведений / М.З. Коловский, А.Н. Евграфов, Ю.А. Семенов, А.В. Слоущ. 3-е изд., испр. — М.: Изд. центр «Академия», 2008. — 560 с.
2. Коловский М.З., Слоущ А.В. Основы динамики промышленных роботов. — М.: Наука, 1988. — 240 с.
3. Курсовое проектирование деталей машин / Сост.: С.А. Чернавский, К.Н. Белов, И.М. Чернин и др. — М.: Машиностроение, 1988. — 416 с.
4. TD-8135MG [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.amazon.com/Wishiot-TD-8135MG-Digital-Waterproof-500μs-2500μs/dp/B08JCVLSCK#customerReviews> (дата обращения: 05.03.2021).
5. FS-38W [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.amazon.com/FS-38W-Waterproof-Torque-Coreless-Digital/dp/B085F1DT49> (дата обращения: 05.03.2021).
6. Иванов М. Н. Детали машин. М.: Высшая школа, 2005. 408 с.: ил.
7. TD-8320MG [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://chipster.ru/catalog/robotech/servo_motors/5347.html>. (дата обращения: 05.03.2021).
8. MG90S [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://components101.com/motors/mg90s-metal-gear-servo-motor> (дата обращения: 05.03.2021).
9. Ашейчик А.А. Детали машин и основы конструирования. Справочные материалы по проектированию: учеб. пособие. — СПб: изд-во Политехн. Ун-та, 2014. — 111 с.

# Приложение А Кинематическая схема манипулятора

# Приложение Б Сборочный чертеж манипулятора

# Приложение В Спецификация на сборочный чертеж манипулятора

# Приложение Г Чертеж корпуса подшипникового узла второго звена