

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
Центр развития инновационной деятельности

МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

**Рекомендации по разработке системы захвата для манипулятора
катамарана Кадет-М**

Авторы:

Сидоренко Д.Д.
Булдаков П.Ю.
Майстро А.С.

Санкт-Петербург

2020

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ.....	3
ВВЕДЕНИЕ. ЗАДАЧА	5
1. СИСТЕМЫ ЗАХВАТА И ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ОБЪЕКТОВ	7
1.1. Общая информация.....	7
1.2. Тенденции развития.....	14
2. Манипулятор многоосевой для работы в агрессивных средах	17
2.1. Особенности нашей конструкции	17
3. Технические требования	24
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	25
ПРИЛОЖЕНИЕ А – Присоединительные размеры	27

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Агрессивная среда – природная или технологическая среда любого агрегатного состояния, способная вступать в химическое взаимодействие с окружающими ее материалами или конструкциями, приводя их в состояние, при котором они не могут в дальнейшем выполнять свое функциональное назначение.

Аморфный захват – это твердый захват, не имеющий кристаллической решетки.

Антропоморфный – схожий по форме и устройству с человеком или его телом.

Антропоморфный захват – это рабочий орган робота для захвата и удержания различных по конфигурации предметов, обладающий свойством (способностью) двигаться подобно руке человека.

Вакуумное захватное устройство – это захватное устройство, удерживающее объект посредством разрежения воздуха в замкнутой полости рабочего элемента – присоски.

Захватное устройство (ЗУ) – это рабочий орган манипулятора.

Контроллер манипулятора – это центр управления системой манипулятора.

Магнитный захват – захват, принцип действия которого заключается в удержании металлических деталей и конструкций на поверхности захвата за счет генерации магнитного поля.

Магнитное захватное устройство – это захватное устройство, удерживающее объект при действии магнитных сил, создаваемых постоянным магнитом или электромагнитом.

Манипулятор – это механизм для управления пространственным положением объектов.

Манипуляционный робот – это техническое устройство, снабженное манипуляторами и способное самостоятельно выполнять различные механические операции в своем рабочем пространстве.

Механическое захватное устройство – захватное устройство, в котором удерживание объекта осуществляется под действием реакции в точках (зонах) контакта с рабочими элементами, создаваемых двигателем или собственным весом объекта.

Мобильный робот – это робот, который может самостоятельно перемещаться в пространстве.

Паз – выемка в детали, ограниченная плоскостями или фасонными поверхностями.

Рабочий орган манипулятора – устройство, предназначенное для выполнения специального задания. В качестве рабочего органа может выступать захватное устройство.

Сервопривод (следающий привод) – привод с управлением через отрицательную обратную связь, позволяющую точно управлять параметрами движения.

Тангаж – это угол между продольной осью объекта и горизонта.

Крен – это угол поворота объекта вокруг его продольной оси.

Шаговый двигатель – это двигатель, ротор которого вращается не плавно, а шагами.

ВВЕДЕНИЕ. ЗАДАЧА

Развитие цивилизации привело к усилению загрязнения Мирового океана. Ситуация начала ухудшаться примерно с середины XX века, что было связано с увеличением выброса неразлагающегося пластика, который образует огромные по площади острова. На данный момент существует множество решений данной проблемы, одним из которых является использование манипулятора.

Стоит отметить, что это не единственная его задача. За многолетнюю историю человечество придумало множество различных задач по перемещению объектов разных форм и размеров с использованием многоосевых антропоморфных и роботизированных систем.

Цель

Целью данного методического пособия является начальная подготовка студентов и учащихся в области беспилотных и безэкипажных надводных судов, а также моделирование систем захвата, которые позволят перемещать твердые объекты с поверхности воды.

Задание

Разработать модель захватного устройства для работы в агрессивных средах (морская вода) для манипулятора катамарана Кадет-М.

В качестве объектов захвата могут выступать теннисные мячи, алюминиевые банки смятые и целые, пластиковые бутылки смятые и целые, водоросли, а также аккумуляторы диаметром 100 мм и высотой 200 мм. Для осуществления рабочего движения захватного устройства необходимо использовать сервопривод.

Задачи:

- освоение программных продуктов САПР;
- знакомство с конструкциями захватных устройств;
- разработка собственного захватного устройства;
- оформление работы в соответствии со стандартами ЕСКД.

Таблица 1 – Начисляемые баллы

№ п/п	Критерий	Количество баллов
1	Защита проекта	10 баллов. Оценивается качество презентации и умение обосновать принятые технические решения
2	Конструктивные решения	10 баллов. Оценивается целесообразность принятых конструктивных решений и соответствие конструкции принятым стандартам проектирования деталей машин и механизмов
3	Экономическая целесообразность	10 баллов. Оценивается экономическая составляющая выбранных материалов, компонентов и производственных процессов.
4	Оформление конструкторской документации	10 баллов. Оценивается соответствие предоставленной документации стандартам ЕСКД (чертежи, модели, пояснительная записка)
5	Надежность конструкции	10 баллов. Оценивается устойчивость конструкции к механическим воздействиям. Так же оценивается сопротивление захватного устройства агрессивным средам.

1. СИСТЕМЫ ЗАХВАТА И ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ОБЪЕКТОВ

1.1. Общая информация

Рабочие органы манипулятора непосредственно взаимодействуют с объектами внешней среды. Рабочие органы могут быть постоянными и съемными, в том числе с возможностью замены рабочего органа в автоматическом режиме во время выполнения технологической операции. Рабочий орган робота не включается в состав манипулятора и рассматривается отдельно, так как ключевой особенностью манипулятора является универсальность, что обеспечивается возможностью менять рабочие органы манипулятора и получать новый функционал. В качестве рабочего органа может выступать захватное устройство, сварочный аппарат, гайковерт, пистолет-распылитель, телекамера и т. д. Классификация захватных устройств по принципу действия представлена на рисунке 1 [1].

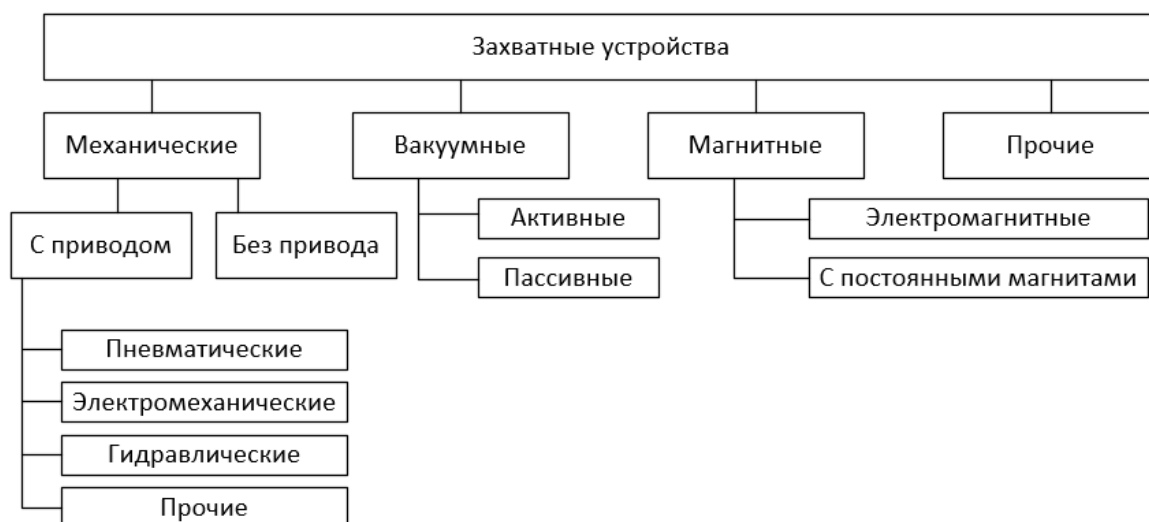


Рисунок 1 – Классификация захватных устройств

Для тривиальных задач захвата и удержания заранее известных объектов в большинстве случаев применяют механические захватные устройства, пример которого представлен на рисунке 2.

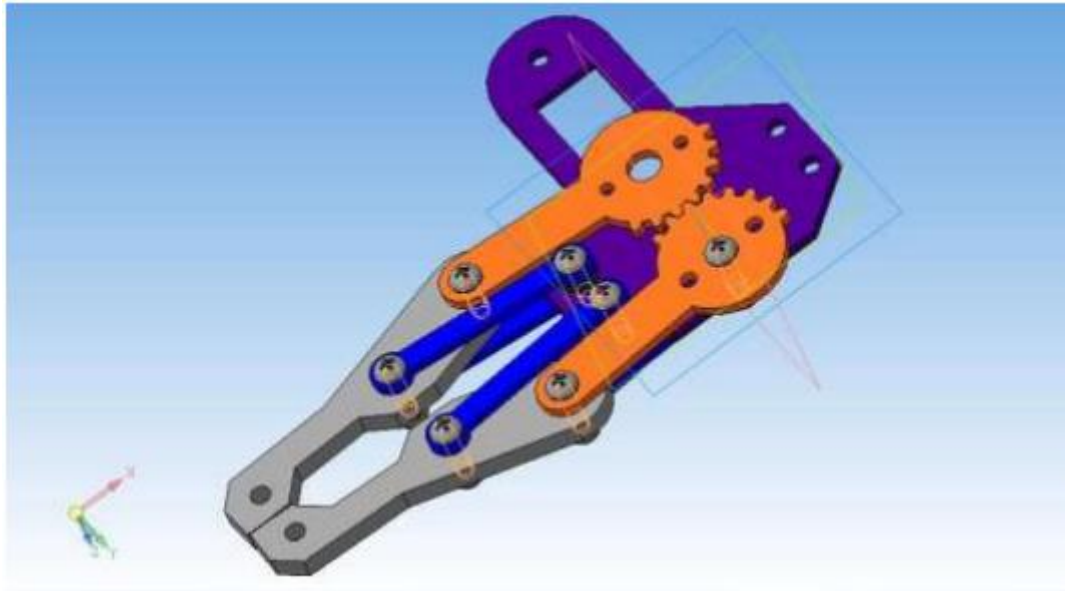


Рисунок 2 – Механическое захватное устройство

Схваты без привода представляют из себя крюки и штыри различных конфигураций. Данные захватные устройства применяются с объектами, обладающими пазами и петлями для захвата и удержания [2].

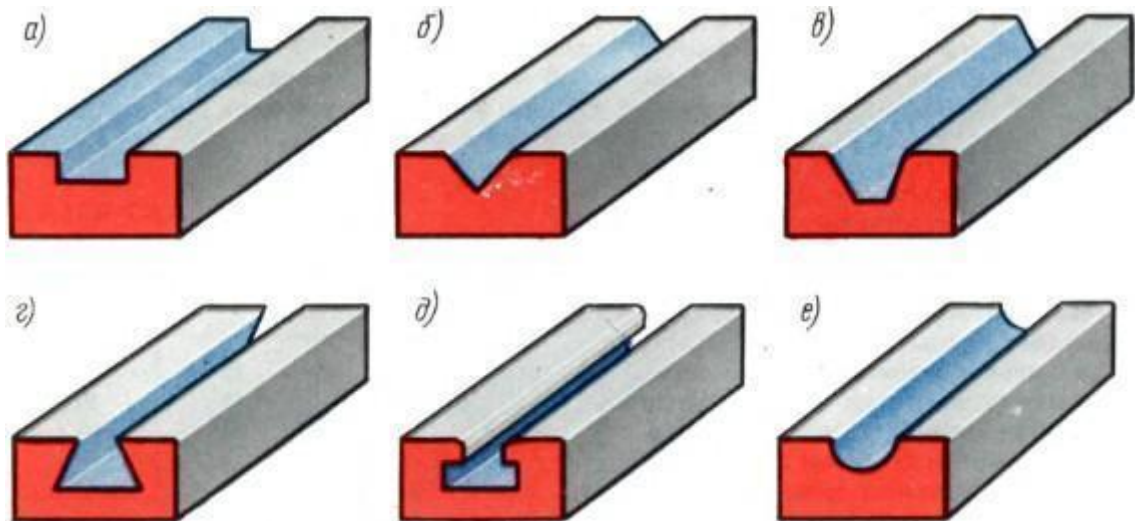


Рисунок 3 – Типы пазов по форме

Пазы любого профиля могут быть сквозными (рис. 3, а), открытыми или с выходом (рис. 3, б) и закрытыми (рис. 3, в).

Такие захваты применяются только в промышленности и массовом производстве, при их использовании необходимо предусматривать крепежные элементы на деталях.

Пневматические хватные устройства чаще используют в пищевой промышленности, так как в большинстве случаев их конструкция не требует наличия смазки. По этой же причине на чистых и стерильных производствах, таких как пищевое, лекарственное и им подобные, используются вакуумные захваты.

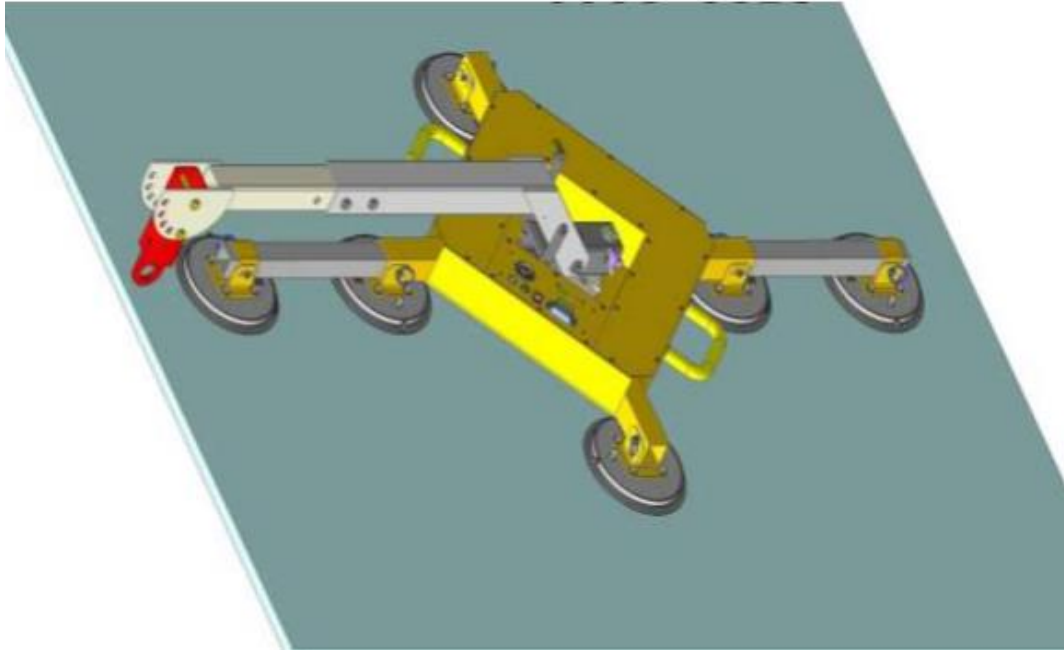


Рисунок 4 – Вакуумное хватное устройство

Вакуумные хватные устройства представляют собой присоски, способные взаимодействовать с гладкими поверхностями, такими как стекло и пластик. Существуют нестандартные решения вакуумных хватов. Хватное устройство Festo DNEF за счет своей конструкции способно работать с объектами различных форм и размеров.



Рисунок 5 – Захватное устройство Festo DNEF

Для использования пневматических и вакуумных захватов на борту робота необходимо размещать компрессор, с помощью которого создается повышенное или пониженное давление.

Магнитные захваты применяются в тяжелой промышленности для работы со слитками металлов большой массы, либо для работы с металлической стружкой на мусороперерабатывающих предприятиях.

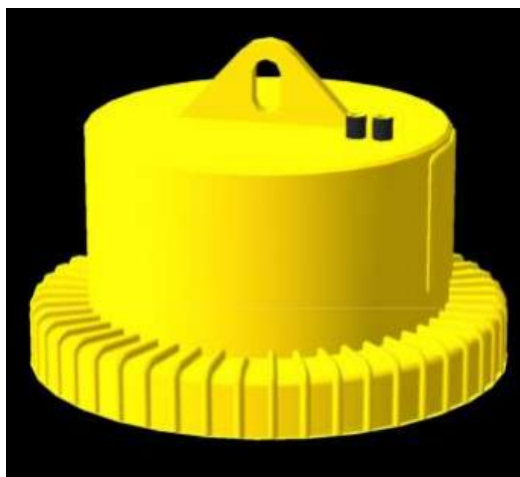


Рисунок 6 – Магнитное захватное устройство

В дальнейшем речь пойдет только про электромеханические ЗУ. В робототехнике они наиболее распространены благодаря своей простоте конструкции и доступности привода. Чаще всего в конструкции данных захватов присутствуют две хватательные поверхности, обеспечивающие захват и удержание объектов. В связи с этим системы захватов подразделяют на задачи:

1) Захват двухсторонний для плоских предметов [3].

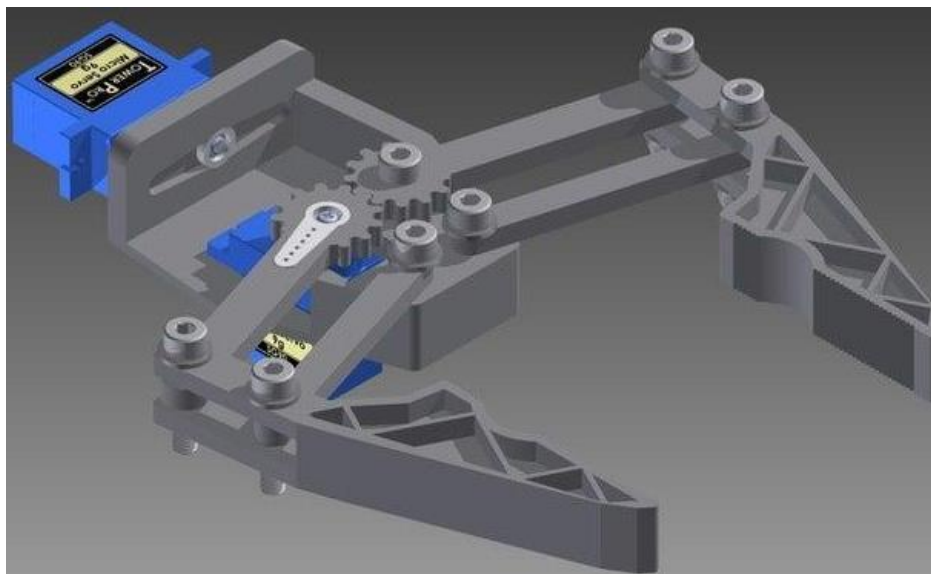


Рисунок 7 – Захват двухсторонний для плоских предметов

2) Захват двухсторонний для круглых предметов [4].



Рисунок 8 – Захват двухсторонний для круглых предметов

3) Захват трехсторонний с гибкими захватами для лучшего удержания.

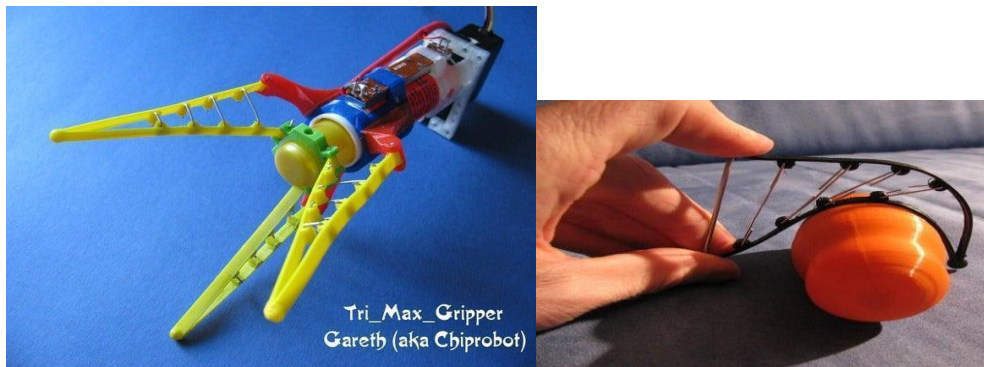


Рисунок 9 – Захват трехсторонний с гибкими захватами для лучшего удержания

4) Захват четверной для круглых объектов [5].



Рисунок 10 – Захват четверной для круглых объектов

5) Захват четверной для круглых объектов с полным закрыванием [6].

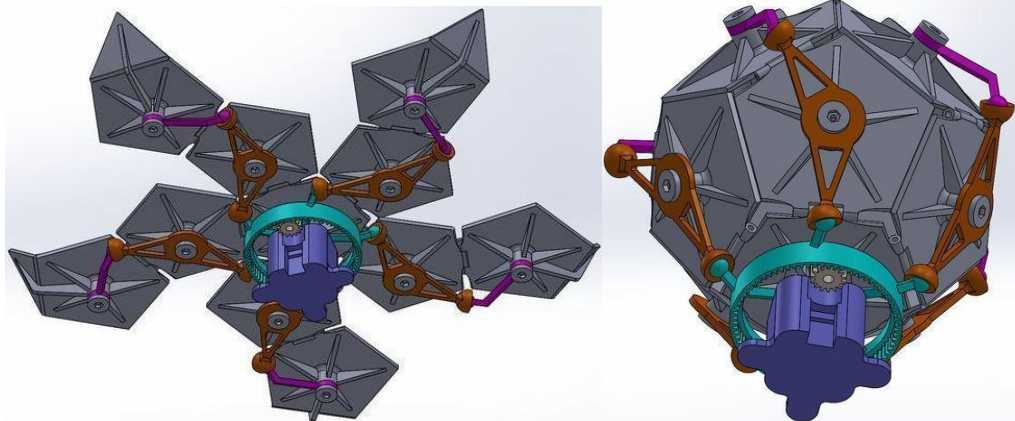


Рисунок 11 – Захват четверной для круглых объектов с полным закрыванием

1.2. Тенденции развития

Современные хватные устройства часто оснащают дополнительными датчиками для отслеживания касания поверхностей ЗУ с объектом. Также существуют модели, оснащенные датчиками давления, что позволяет не только детектировать соприкосновение с объектом, но и контролировать силу сжатия ЗУ. Применение ЗУ с датчиками давления позволяет роботам работать с хрупкими объектами.

Применение современных синтетических материалов позволяет создавать бионические захваты, расширяющие область взаимодействия роботов с объектами среды. Примером бионического захвата может служить Festo BionicSoftHand [7]. Данный захват копирует принцип работы человеческой руки и способен совершать огромное количество операций.

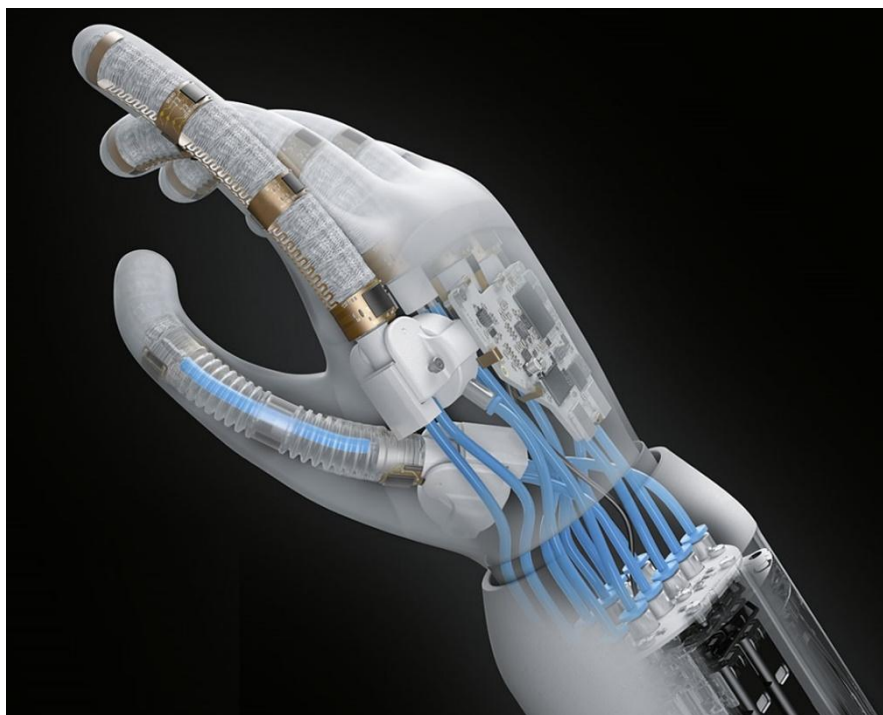


Рисунок 12 – Festo BionicSoftHand

Принцип работы данного ЗУ основан на разной жесткости пальцев с внутренней и внешней сторон. При подаче в пальцы повышенного давления они изгибаются. Конструкция пальцев показана на рисунке 13 [8].

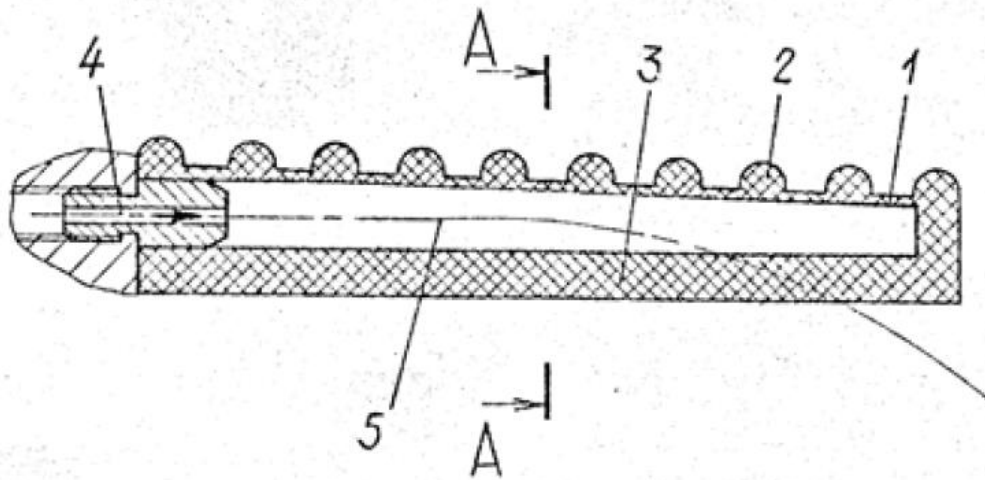


Рисунок 13 – Конструкция пальца ЗУ

На рисунке цифрами обозначены:

1 – тонкостенная часть; 2 – гофры; 3 – толстостенная часть; 4 – подвод воздуха; 5 – деформация оси пальца при подаче сжатого воздуха.

Благодаря отсутствию в конструкции пальцев жестких механических звеньев данный тип захватов можно применять при работе с человеком, так как при чрезмерном воздействии пальцы сгибаются и не причиняют вред человеку.

Еще один общий вид пятипалого захватного устройства, разработанного по проекту Накано, показан на рисунке 14 [9]. Все пальцы этого антропоморфного захвата управляются своим независимым приводом.

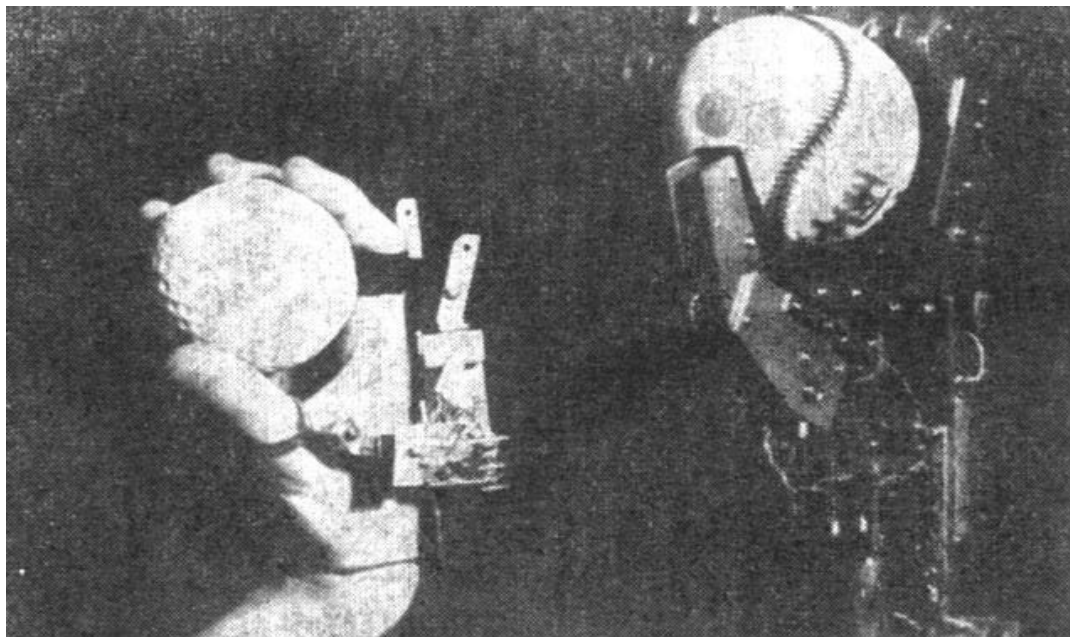


Рисунок 14 – Рука человека и пятипалый захват

Конечно, функциональные возможности протеза, в том числе и сила захвата предмета, имеют первостепенное значение. Данный антропоморфный захват обладает возможностью перемещать пальцы навстречу друг другу, сгибать и распрямлять ладошку, а также брать нужный предмет, сжав пальцы, и опускать его, раскрыв пальцы.

В современном мире при разработке различных захватов распространенным вариантом является попытка репликации человеческой руки. Однако в 2010 году был разработан аморфный захват, который смог подстроиться под объект, который он хотел подобрать. Он является наиболее универсальным [10].

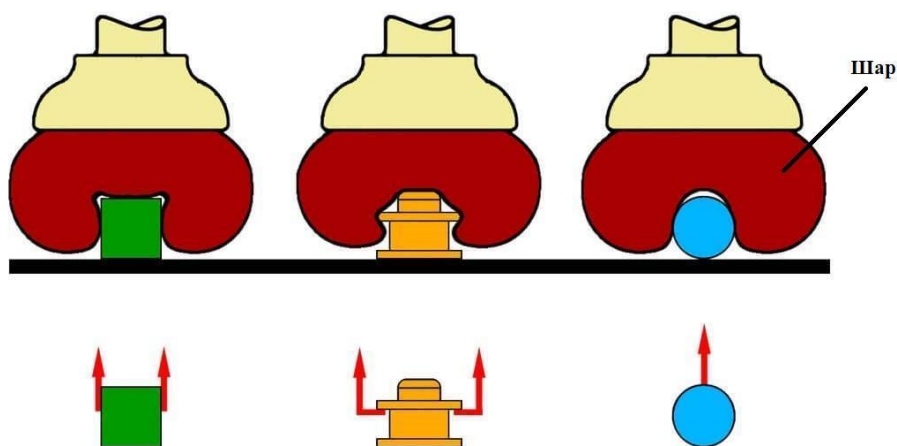


Рисунок 15 – Аморфный захват

Этот захват работает из-за процесса, который называется «зажимание». Шар, наполненный гранулированным материалом, находится под низким давлением, из-за чего легко поддается деформации. Прижимая шар к объекту, он будет обволакивать объект, принимая его форму. Но когда воздух высасывается из шара, материал сжимается и захватывает объект.

2. Манипулятор многоосевой для работы в агрессивных средах

2.1. Особенности нашей конструкции

Управление и телеметрия процесса движения манипулятором с пульта управления происходит по следующей схеме:

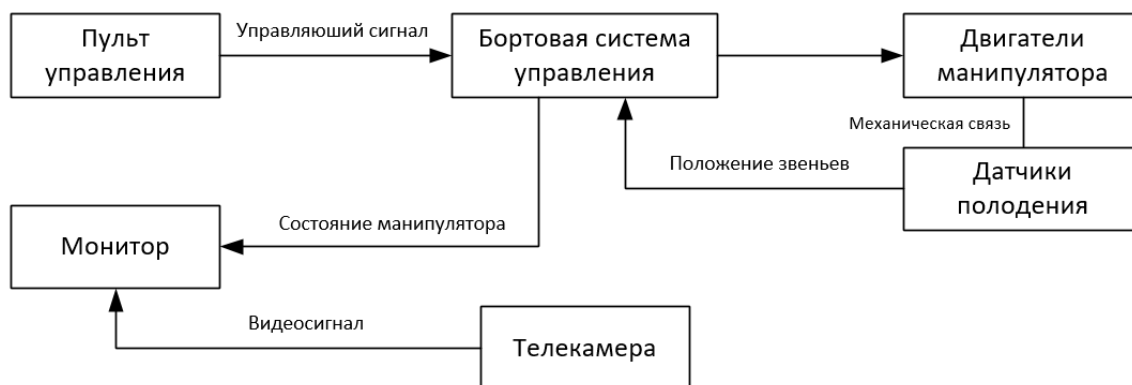


Рисунок 16 – Структура системы управления манипулятором

Оператор с помощью рукояток на пульте отправляет управляющие сигналы на микроконтроллер, который с помощью алгоритма управления принимает решения об изменении углов осей шаговых двигателей и сервоприводов. Оператор имеет обратную связь с манипулятором посредством визуального контроля с помощью бортовой камеры, также оператору передаются сообщения об ошибках в управлении и невозможности достижения заданного управления.

Программное обеспечение манипулятора предусматривает 2 режима управления:

- 1) По обобщенным координатам;
- 2) По декартовым координатам.

При управлении по декартовым координатам оператор имеет возможность изменять декартовые координаты рабочего инструмента манипулятора, углы

крена и тангажа кисти, а также управлять одноосевым ЗУ. На рисунке 17 показано, в каких направлениях может перемещаться захватное устройство.

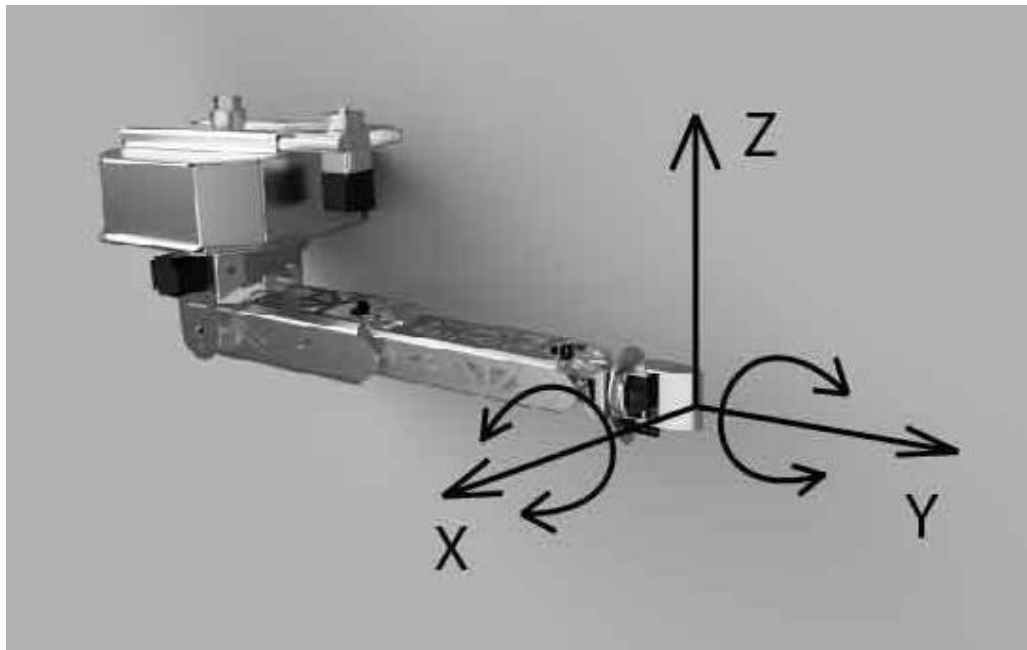


Рисунок 17 – Структура системы управления манипулятором

Поворот вокруг оси x соответствует углу тангажа (*pitch*), вращение вокруг оси y соответствует углу рысканья (*yaw*). Перемещение вдоль декартовых осей соответствует эквивалентным осям на пульте управления.



Рисунок 18 – Структура системы управления манипулятором

Манипуляционный робот представляет собой последовательно соединенные звенья, которые могут перемещаться друг относительно друга либо вращательно, либо поступательно независимо друг от друга. Соединение звеньев между собой называется *кинематической парой*. У манипуляторов они бывают вращательные и поступательные. Для перемещения объектов в пространстве манипулятору необходимо минимум 3 степени подвижности, которые

называются переносными. Также манипуляторы обладают ориентирующими степенями подвижности, которые служат для ориентации ЗУ в пространстве.

Показанный на рисунке 19 манипулятор [10] с угловой системой координат производит только угловые перемещения, т. е. все его звенья представляют собой шарниры, поэтому часто такие манипуляторы называют шарнирными.

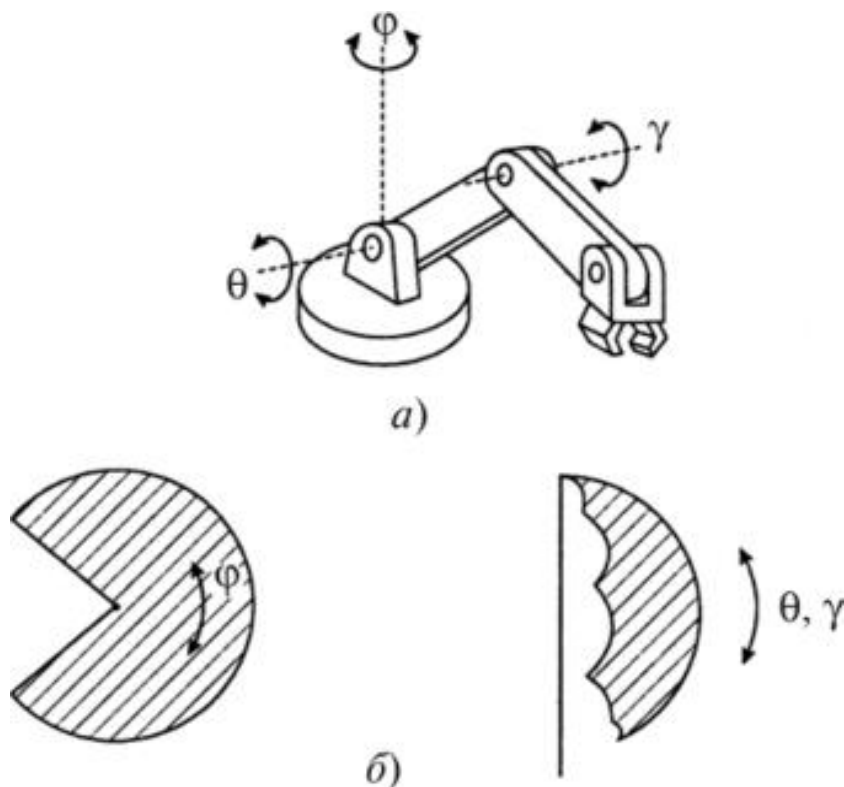


Рисунок 19 – Манипулятор с угловой системой координат (а) и его рабочая зона (б)

Управление манипулятором происходит путем задания угловых координат или соответствующих им скоростей. Такой метод управления называется шарнирным. Данный метод неудобен для человека, так как предполагает отдельное управление каждым сочленением, тогда как в большинстве случаев необходимо управлять схватом манипулятора. Это порождает две задачи кинематики – прямую (ПЗК) и обратную (ОЗК). Прямая задача кинематики служит для нахождения координат ЗУ в декартовом пространстве, при заданных угловых координатах манипулятора. С помощью обратной задачи кинематики можно найти такие угловые координаты манипулятора, при которых захватное

устройство будет находиться в заданных декартовых координатах. Управление положением схвата в декартовом пространстве возможно только после решения ОЗК. Также во время работы манипулятор может столкнуться с корпусом катамарана, что приводит к необходимости детектировать и предотвращать столкновения. Блок-схема алгоритма управления бортовой системы при использовании декартового управления приведена на рисунке 20.

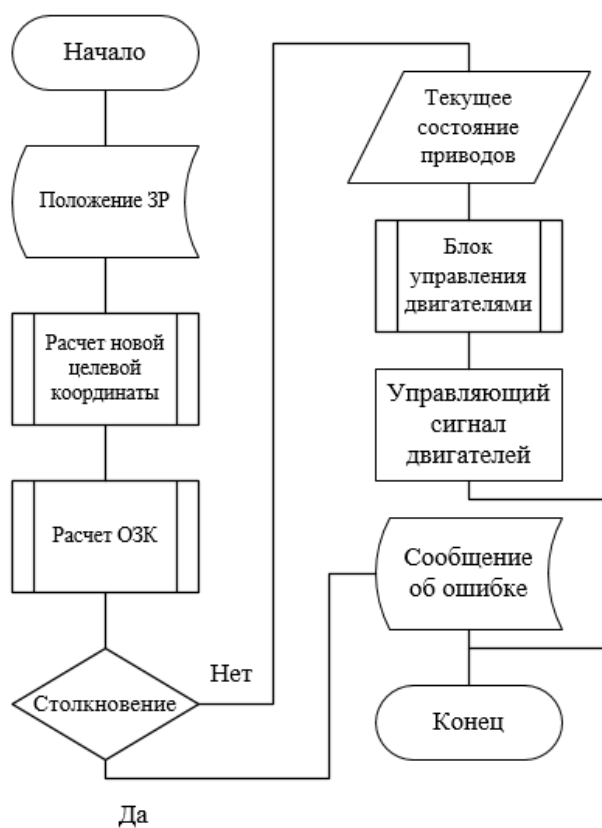


Рисунок 20 – Блок-схема управления бортовой системы

В блоке расчета новой целевой координаты происходит перевод скоростей в текущее положение целевой точки. В блоке проверки на столкновение происходит проверка не только на столкновение манипулятора с катамараном, но и проверка на самопересечение, а также проверка достижения целевой координаты.

Для понимания конструкционных особенностей манипулятора ниже на рисунке 21 приведена кинематическая схема манипулятора и ее описание [11].

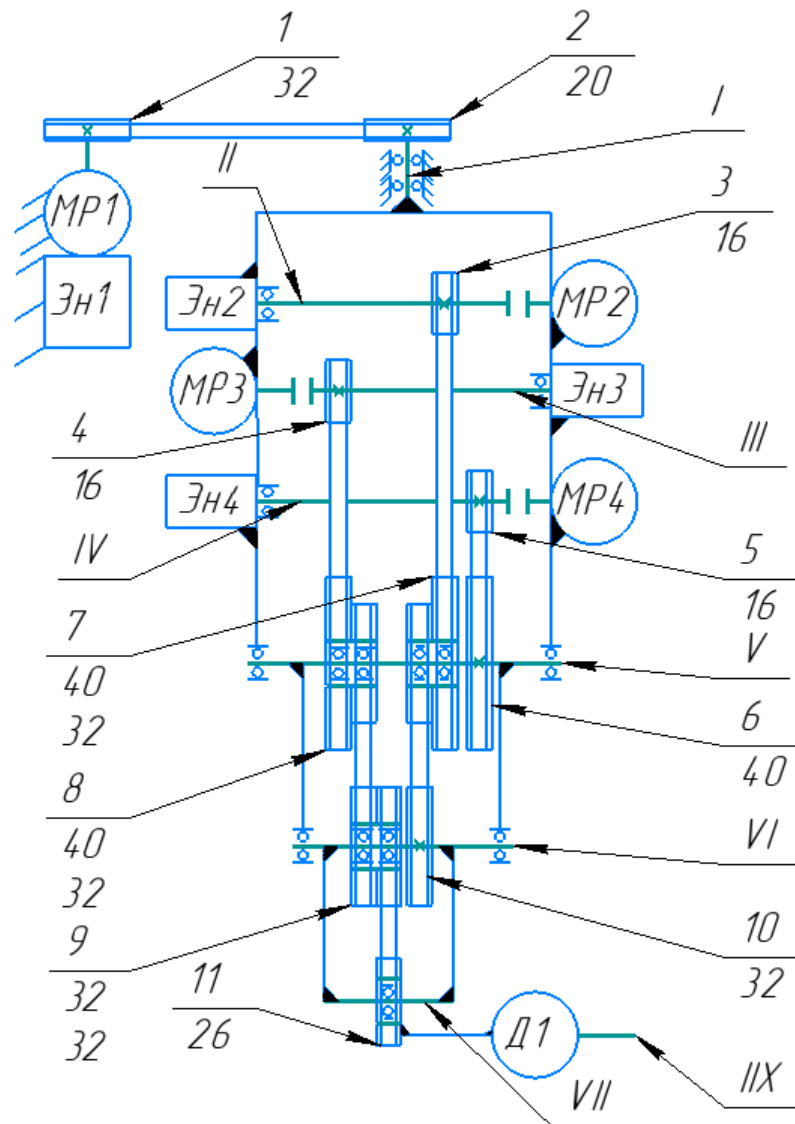


Рисунок 21 – Кинематическая схема манипулятора

На валу мотор-редуктора 1 (MP1) установлен шкив 1. С обратной стороны установлен инкрементальный энкодер. MP1 приводит в движение ось колонны манипулятора. К корпусу колонны присоединены мотор-редуктора 2, 3 и 4.

MP4 через неразъемную муфту со шпоночным пазом передает вращение на вал IV. На валу IV жестко закреплены шкив 5 и подвижная головка инкрементального энкодера. Корпус энкодера в свою очередь жестко соединен с корпусом колонны. Также вал IV соединен с корпусом колонны через шариковый опорный подшипник. Вращение со шкива 5 передается на шкив 6, который жестко закреплен на валу V с помощью шпоночного соединения. Вал V

жестко соединен с корпусом плеча. Вышеописанная кинематическая цепь приводит в движение плечо манипулятора.

Конструкция вала II, соединенного с МР2, аналогична валу VI. Вращательное движение со шкива 3 передается на шкив ступичный 7, который закреплен на валу V через пару шариковых опорных подшипников. Далее вращательное движение со ступичного шкива 7 передается на шкив 10, который жестко соединен с валом VI с помощью шпоночного соединения. Вал VI жестко соединен с корпусом предплечья. Вышеописанная кинематическая цепь приводит в движение предплечье манипулятора. Особенность поворота шарнира предплечья состоит в том, что обобщенные координаты поворота предплечья зависят не только от координат МР2, но и от обобщенных координат плеча.

Вал III по своей конструкции схож с валами II и IV. Вал III соединен с МР3 с одной стороны и с головкой ЭнЗ с другой. На валу III жестко закреплен шкив 4, который через ременную передачу передает вращение на шкив ступичный 8. Ступичный шкив 8 закреплен на валу V с помощью пары шариковых опорных подшипников, как и ступичный шкив 7. Вращение со ступичного шкива 8 передается на шкив ступичный 9, который закреплен на валу VI с помощью пары шариковых опорных подшипников. Далее вращение со ступичного шкива 9 передается на шкив 11, который закреплен на валу VII с помощью пары шариковых опорных подшипников. Также шкив 11 жестко закреплен с корпусом кисти. На корпусе кисти закреплен двигатель Д1, который отвечает за крен кисти. Выходной вал двигателя 1 – ПХ является выходным валом механизма. МР3 служит для изменения тангажа кисти, но из-за особенностей ременной конструкции манипулятора обобщенные координаты тангажа кисти зависят не только от координат МР3, но и от обобщенных координат плеча и предплечья.

Согласованное изменением координат МР1, МР2, МР3 обеспечивают изменение декартовых координат рабочего инструмента, а изменение координат МР4 и Д1 изменение ориентации устройства.

3. Технические требования

В данном разделе приведены основные технические требования для разрабатываемого устройства.

Требования к конструкции ЗУ:

- использование сервопривода ROV Underwater Servo 15kg.cm;
- ЗУ должно иметь степень защиты IP68;
- захваченные предметы не должны смещаться относительно ЗУ в процессе эксплуатации;
- необходимо предусмотреть изготовление ЗУ на современном цифровом производстве;
- предусмотреть проводку кабеля сервопривода к коннектору на фланце манипулятор;
- ЗУ должно крепиться на фланец манипулятора;
- ЗУ не должно закрывать обзор камеры более чем на 50 процентов;
- избегать пар сухого трения скольжения в рабочих режимах.

Чертеж присоединительных размеров фланца манипулятора с обозначением камеры и коннектора приведен в приложении А.

Модель сервопривода находится в справочных материалах.

Требования к документации:

- вся документация выполняется в соответствии с ГОСТами по ЕСКД;
- документация проекта должна включать необходимые для производства чертежи, модели и спецификацию;
- необходимый формат чертежей и спецификации PDF;
- необходимый формат моделей STEP;
- пояснительная записка должна содержать обоснование принятых конструктивных и экономических решений;
- пояснительная записка должна содержать перечень технологических операций и станков, необходимых для производства ЗУ.

Требование к презентации проекта:

- максимальное время презентации 8 минут, при превышении времени доклад будет остановлен;
- презентация проекта должна содержать основные тезисы пояснительной записки;
- включение рејдеров и анимации в презентацию приветствуется;

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Захватные устройства промышленных роботов [Электронный ресурс]. –

Режим доступа:

https://studref.com/659147/tehnika/zahvatnye_ustroystva_promyshlennyh_robotov

2. Фрезерование уступов и пазов [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

http://www.tepka.ru/frezernoe_delo/17.html

3. Robot Gripper 9g Micro Servo [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

<https://www.thingiverse.com/thing:715525>

4. Mantis Gripper Servo [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

<https://www.thingiverse.com/thing:1480408>

5. Robotic Gripper Claw [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

<https://www.thingiverse.com/thing:2973313>

6. Dodecahedral Gripper [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

<https://www.thingiverse.com/thing:3375148>

7. BionicSoftHand [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

<https://www.festo.com/group/en/cms/13508.htm>

8. Юревич Е. И. Основы робототехники. Учеб. пособие / Е. И. Юревич. – Электрон. текстовые дан. (1 файл: 16,7 Мб). – Загл. с титул. экрана. – Электрон. версия печатной публикации. 1985 г. – Свободный доступ из сети Интернет (чтение, печать, копирование). – Adobe Acrobat Reader 4.0. Режим доступа:

<http://elib.spbstu.ru/dl/325.pdf>

9. Захватные устройства роботов [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

<http://roboticslib.ru/books/item/f00/s00/z0000016/st022.shtml>

10. Мягкий захват для манипулятора или робота [Электронный ресурс]. –

Режим доступа:

<https://robotos.in/proekty-ustrojstva/myagkij-zakhvat-dlya-manipulyatora-ili-robota>

11. Сидоренко Д. Д. Разработка Системы управления для пятиосевого манипулятора с ременными передачами на шарниры. – СПб, 2020.

ПРИЛОЖЕНИЕ А – Присоединительные размеры

