

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
Некоммерческое Акционерное Общество «Казахский Национальный Исследовательский
Технический Университет имени К.И.Сатпаева»

Институт Автоматики и информационных технологий

Кафедра «Робототехники и технических средств автоматики»



SATBAYEV
UNIVERSITY

Асемханова Камила Сеилкызы

Разработка систем автоматического управления грузового мобильного робота

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
к дипломному проекту

Специальность 6В07111 – Робототехника и мехатроника

Алматы 2023

Некоммерческое Акционерное Общество «Казахский Национальный Исследовательский
Технический Университет имени К.И.Сатпаева»



SATBAYEV
UNIVERSITY

Институт Автоматики и информационных технологий

Кафедра «Робототехники и технических средств автоматики»

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой РТиТСА
кандидат технических наук
Ожикенов К. А.
«26» мая 2023 г.

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

Тема: «Разработка систем автоматического управления грузового мобильного
робота»

по специальности 6В07111 – Робототехника и мехатроника

Выполнил

Асемханова Камила Сеилкызы

Рецензент

Научный руководитель

Д.т.н., ассоциированный профессор

Магистр технических наук,

Джомартов А.А.

преподаватель

подпись

ФИО

Керимкулов Д.Б.

«26» май 2023 ж.

«26» май 2023 ж.

Алматы 2023

Некоммерческое Акционерное Общество «Казахский Национальный Исследовательский
Технический Университет имени К.И.Сатпаева»



SATBAYEV
UNIVERSITY

Институт Автоматики и информационных технологий

Кафедра «Робототехники и технических средств автоматики»

6B07111 – Робототехника и мехатроника

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой РТиТСА
кандидат технических наук
 Ожикенов К. А.
«26» мая 2022 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломного проекта

Обучающемуся Асемхановой Камиле Сеилкызы

Тема: Разработка систем автоматического управления грузового мобильного робота

Утверждена приказом Ректора Университета № 408 от «23» май 2023 г.

Срок сдачи законченной работы «21» декабря 2022 г.

Исходные данные к дипломному проекту: Arduino UNO

Перечень подлежащих разработке вопросов в дипломном проекте:

- а) анализ актуальности разработки автономных мобильных роботов
- б) создание конструкторской части мобильного грузового робота с автоматическим управлением
- в) разработка программы автоматического управления мобильного грузового робота в среде разработки Arduino IDE
- г) создание расчетов и вывода проекта

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

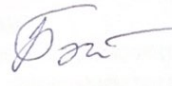
Представлены слайдов презентации работы

Рекомендуемая основная литература: из 21 наименований 21

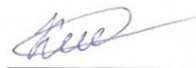
ГРАФИК
подготовки дипломного проекта

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Исследовательская часть	24.01.2023	Выполнено
Теоретическая часть	29.02.2023	Выполнено
Практическая часть	18.03.2023	Выполнено
Специальная часть	25.03.2023	Выполнено

Подписи
консультантов и нормоконтролера на законченный проект с указанием относящихся к ним разделов проекта

Наименования разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Нормоконтролер	Бигалиева Ж.С., магистр технических наук, старший преподаватель	25.05.23	
Основная часть	Керимкулов Д.Б., научный руководитель, магистр технических наук, преподаватель	23.05.23	
Рассчетная часть	Керимкулов Д.Б., научный руководитель, магистр технических наук, преподаватель	23.05.23	

Научный руководитель



Керимкулов Д.Б.

Задание принял к исполнению обучающийся



Асемханова К.С.

Дата

«25» мая 2023 г.

АНДАТПА

Бұл дипломдық жұмыс алты еркіндік дәрежесі бар манипуляторды және бөлмеде ұтқырлықты қамтамасыз ететін алты белсенді басқарылатын дөңгелегі бар Ровер негізінде құрылған мобильді платформаны қамтитын мобильді роботты автоматты басқаруды дамытуға арналған.

Модельдеу және эксперимент әдістері роботтың өткізгіштігі мен ұтқырлығы мәселелерін шешуге мүмкіндік беретін жартылай автоматты басқару жүйесін әзірлеу үшін пайдаланылды, бұл дизайнның кемшіліктері, компоненттерді жасау проблемалары және қолданылатын сенсорлардың қателіктері сияқты біркатар факторлардан туындайды. Сондай-ақ, роботтың қозғалуына, кедергілерден аулақ болуына және берілген тапсырмаларды дұрыс орындауға мүмкіндік беретін басқару жүйесін пайдалануды көздейтін жүк мобильді роботының жартылай автоматты басқаруын жасаңыз.

Бұл жоба жоғары дәлдік пен сенімділік талап етілетін әртүрлі жағдайларда жүктерді тасымалдауды автоматтандыру үшін пайдалануға болатын манипуляторы бар Ровер негізіндегі платформасы бар жүк роботының жартылай автоматты басқару дизайнын ұсынады. Бұл робот өнеркәсіпте, құрылыста, логистикада және басқа да көптеген салаларда робототехниканы тиімді пайдаланудың бір мысалы болып табылады.

АННОТАЦИЯ

Данная дипломная работа посвящена разработке автоматического управления грузового мобильного робота, который включает в себя манипулятор с шестью степенями свободы, и мобильную платформу созданную на основе ровера с шестью активно управляемыми колесами, которые обеспечивают мобильность в помещении.

Методы моделирования и эксперимента были использованы для разработки системы полуавтоматического управления, позволяющего решить проблемы проходимости и мобильности робота, которая вызвана рядом факторов, включая недостатки конструкции, проблемы с изготовлением компонентов и ошибки используемых датчиков. А также, создать полуавтоматическое управление грузовым мобильным роботом которое предполагает использование системы управления, позволяющей роботу перемещаться, избегать препятствий и корректно выполнять заданные задачи.

В данном проекте представлена конструкция полуавтоматического управления грузового робота с платформой на основе ровера с манипулятором которая может быть использован для автоматизации транспортировки грузов в различных условиях, где требуется высокая степень точности и надежности. Этот робот является одним из примеров эффективного использования робототехники в промышленности, строительстве, логистике и многие другие сферы, которые нуждаются внедрения автоматизации их производства.

ABSTRACT

This thesis is devoted to the development of automatic control of a cargo mobile robot which includes a manipulator with six degrees of freedom, and a mobile platform based on a rover with six actively steered wheels which provide indoor mobility.

Simulation and experimental methods were used to develop a semi-automated control system allowing to solve the problems of passability and mobility of the robot, which are caused by several factors, including design drawbacks, problems with manufacturing of components and errors of used sensors. Also, to create a semi-automated control of a cargo mobile robot which implies the use of a control system that allows the robot to move, avoid obstacles and correctly perform the given tasks.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	7
1 Исследовательская часть	9
1.1 Обзор литературы по существующим системам управления грузовыми мобильными роботами	9
1.2 Обзор аналогичных роботов на рынке	10
1.3 Изучение алгоритма управления грузовыми мобильными роботами	14
2 Конструкторская часть	18
2.1 Кинематическая схема грузового мобильного робота	18
2.2 Компьютерная 3Д модель грузового мобильного робота	19
2.3 Используемые комплектующие	25
2.4 Электрическая схема	32
3 Разработка программы управления исполнительных механизмов в среде разработки программы Arduino IDE	34
3.1 Выбор среды разработки программы Arduino IDE	34
4 Расчетная часть	35
4.1 Расчет прямой кинематики	35
4.2 Расчет энергопотребления грузового мобильного робота	38
4.3 Расчет часов надежности работоспособности проекта	38
4.4 Расчет границ опасных зон	40
4.5 Экономический расчет	42
Заключение	44
Список использованной литературы	45
Приложение А	
Приложение Б	
Приложение В	

ВВЕДЕНИЕ

Грузоподъемный мобильный робот с манипулятором - это тип мобильного робота, который способен перевозить груз и манипулировать им с помощью роботизированной руки или манипулятора. Эти роботы используются в широком спектре применений, включая производство, складирование и логистику. Манипулятор грузового мобильного робота обычно состоит из нескольких шарниров и конечного устройства, такого как захват. Шарниры позволяют манипулятору перемещаться в нескольких направлениях, в то время как концевой захват используется для захвата груза и манипулирования им.

Наряду с широким использованием промышленных роботов в последнее время исследования методов управления грузоподъемного мобильного робота с манипулятором захватом стали популярной темой инженерных исследований. Промышленная отрасль и приложения для перемещения продукции по складу получили особую выгоду с точки зрения эффективности и безопасности от внедрения автоматизированной роботизированной системы. В частности, они позволяют удовлетворять постоянно растущий рыночный спрос, обеспечивая значительное повышение производительности и, в то же время, улучшение условий труда. В ряде областей применения, таких как нефтяные промышленности, внедрение роботизированных решений стало стандартным подходом, гарантирующим высокую производительность и качество выполняемой работы.

Идея разработки, выбранной мной относится к области промышленного производства, в частности к транспортной промышленности и может быть использована для повышения точности и производительности выполнения задач.

На данный момент существует множество различных вариантов конструирования мобильных грузовых роботов с автономными манипуляторами для различных сфер применения промышленного производства. Очень популярно использование гидравлической, сервоприводной, редукторной систем, однако данные конструкции имеют недостатки, такие как резкий ход, приводящий к износу двигателей при осуществлении движений, недостаточная точность перемещения.

Недостатками таких конструкций являются сложность автономного управления, а также отсутствие плавности движений, что приводит к износу ходовой части робота.

Прототипом моей полезной модели является мобильный грузовой робот с подъемной частью, состоящий из стальной платформы, шести колес с индивидуальными двигателями, соединенных между собой последовательно с помощью драйверов, роботизированной рукой манипулятором, в верхней части камеры для распознавания объектов.

Недостатком данного устройства является сложность распознавания объектов, отсутствие плавности движения и недостаточная точность движений.

Задача полезной модели – разработка автоматического управления мобильного грузового робота, управляемого шестью моторами и драйвером двигателя, а также обеспечение плавного хода при осуществлении движения для предотвращения износа ходовой части робота.

Технический результат – совмещение дистанционного и автономного управления конструкции мобильного грузового робота, управляемого камерой распознавания объектов, а также обеспечение точного и плавного хода при движении.

Для достижения технического результата мобильного робота, управляемого камерой распознавания объектов, шестью двигателями используется подвижная платформа, роботизированная рука, шаровое соединение, согласно полезной модели, установлена камера, распознающая объекты и управляющая роботизированной рукой манипулятором, а также установлены шесть колес с индивидуальными двигателями. В данной работе представлена эффективность и уникальность оптимизации системы подвижности подвески шасси и самого шасси. Данная система учитывает все условия ограничения, а также снижает погрешность показателей эффективности и системы. Так же грузовой робот на основе платформы ровера был оснащен ручным манипулятором с 6 DOF, расширенной для длительного непрерывного перемещения. Обеспечивая грузоподъемность и маневренность, он способен перевозить грузы на любой территории.

Преимущества – используемый мобильный грузовой робот, оснащен шестью колёсами, каждое с индивидуальным двигателем. Это позволяет платформе оборот колёс без проскальзывания на 120 градусов. Он покрыт прочным внешним слоем, который защищает электронику, являющиеся мозгом и сердцем робота, от внешних угроз. Также робот оборудован роботизированной рукой манипулятором с шестью степенями свободы, способствующий подъема и переноса нужного объекта.

1 Исследовательская часть

1.1 Обзор литературы по существующим системам управления манипуляторами и мобильным роботам

Мобильный робот с манипулятором, также известный как мобильный манипулятор или роботизированная мобильная платформа, представляет собой тип робота, который сочетает в себе мобильность мобильного робота с возможностями манипулирования робота-манипулятора.

Эти роботы предназначены для перемещения в окружающей среде, используя колеса или другие системы передвижения, а также для манипулирования объектами с помощью роботизированной руки или манипулятора. Они могут быть использованы в различных областях применения, таких как производство, логистика и здравоохранение.

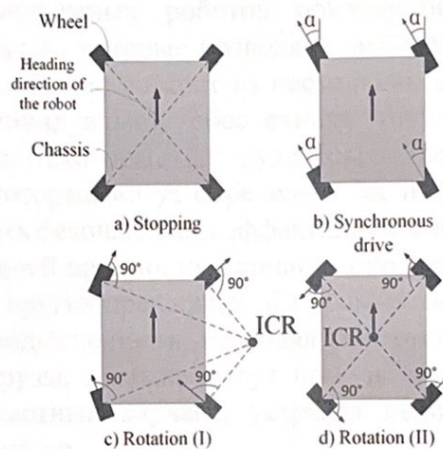


Рисунок 1.1.1 — Различные схемы движения мобильного робота манипулятора[2]

Мобильные роботы с манипуляторами часто используются в производственных и логистических приложениях для перемещения объектов на складах, фабриках и в других местах. Они также могут использоваться в медицинских учреждениях, например, для оказания помощи в выполнении задач по уходу за пациентами, таких как подъем и перемещение пациентов.

Сочетание мобильности и возможностей манипулирования позволяет этим роботам быть очень универсальными и адаптируемыми, поскольку они могут перемещаться в разные места и манипулировать объектами различными способами. Они также могут быть оснащены датчиками и камерами для навигации по окружающей среде, обнаружения препятствий и их обхода.

Подъемная рука робота - это тип роботизированного манипулятора, который специально разработан для подъема и перемещения тяжелых предметов. Эти роботизированные манипуляторы используются в различных

отраслях промышленности, таких как производственные предприятия, склады и транспортные верфи.

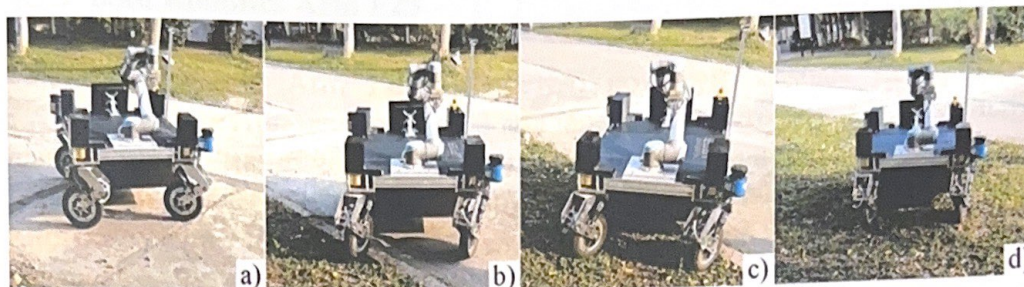


Рисунок 2.1.2 — Мобильный манипулятор сохраняет маневренность как на бетонной поверхности с мелким гравием, так и на траве с неровной поверхностью[2]

Манипуляторы подъемных роботов обычно оснащены мощными двигателями и гидравликой, которые позволяют им с легкостью поднимать тяжелые грузы. Рычаги обычно состоят из нескольких шарниров, которыми можно управлять индивидуально, обеспечивая точные перемещения и позиционирование груза. Некоторые манипуляторы подъемных роботов также оснащены датчиками, которые могут определять вес и положение груза, что может помочь обеспечить безопасную и эффективную работу.

В дополнение к своей прочности и точности подъемные манипуляторы робота обладают рядом других преимуществ в промышленных условиях. Они могут повысить производительность, позволяя работникам быстрее и легче перемещать тяжелые грузы, а также могут помочь снизить риск травм на рабочем месте и несчастных случаев, устраняя необходимость подъема тяжелых предметов вручную.

Мобильная манипуляторная система обычно объединена мобильной платформой, одним или несколькими манипуляторами, подсистемами оснастки и подсистемами датчиков. По сравнению с традиционными стационарными и предварительно запрограммированными манипуляторами мобильные манипуляторы могут изменять положение основания, обеспечивая высокую гибкость логистических услуг и умелое манипулирование как в структурированных, так и в неструктурированных средах. Поэтому автономные мобильные манипуляторы широко используются в различных сценариях, включая отрасли промышленности [1], жилые квартиры [2], и фруктовые сады [5].

Автономные мобильные манипуляторы применялись в промышленности и обычно имели большую мобильную платформу с высокой мобильностью и грузоподъемностью для транспортировки грузов быстро.

1.2 Обзор аналогов на рынке

1.2.1 6dof Robotics Arm F25

OWI-535 Robotic Arm Edge является, пожалуй, самым недорогим продуктом на рынке. При цене около 60 долларов США, это очень доступный роботизированный манипулятор ориентирован на новичков в области манипуляторов. Робот не программируется, а управляется с помощью проводного пульта дистанционного управления, при желании можно самостоятельно установить программируемый



Рисунок 1.2.1 – Манипулятор «OWI-535 Robotic Arm Edge»

Особенности манипулятора: Жесткая алюминиевая конструкция с шестью степенями свободы. Грузоподъемность конструкции составляет 0,7 кг, когда манипулятор вытянут в горизонтальном положении. Общий вес манипулятора составляет 5 кг. Высота вертикально вытянутого манипулятора составляет 780 мм. Все суставы способны сгибаться под углом 180 градусов. "Пальцы" манипулятора движутся по путям, параллельным друг другу. На них установлен датчик давления. "Пальцы" способны раздвигаться до 100 мм. Манипулятор потребляет 20 Вт (пиковые 50 Вт) электроэнергии (10-16 В). Для управления используются двигатели постоянного тока с ПИД-регуляторами. Управление через USB-порт с использованием выделенного протокола. Обратная связь с управляющим устройством (ПК). Скорость движения составляет 3 секунды для самого длинного пути. Интегрированная электроника. Движения и операции манипулятора программируются с помощью API.

1.2.2. Diy robotic arm kit

Танк с роботизированной рукой интересен, проворен и достаточно силен. Им можно управлять с помощью ИК-пульта дистанционного управления. Вы можете использовать ИК-пульт дистанционного управления, чтобы поворачивать робота во всех направлениях и брать бутылку воды объемом 200 мл.

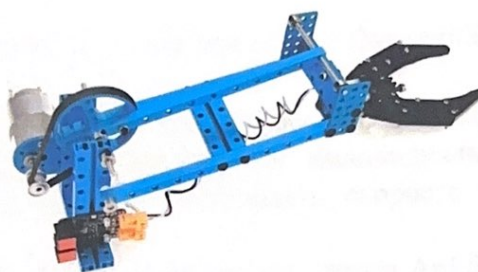


Рисунок – 1.2.2 Diy robotic arm kit

1.2.3 Манипулятор с использованием DynamixShield

Автором проекта был реализован манипулятор с 2 степенями свободы, закрепленном на колесной базе (рисунок 1.3).

Этот проект состоит из 6 сервоприводов AX-12A фирмы Robotis (рисунок 1.2), которые работают при напряжении 12В. К характеристикам AX-12A сервоприводов относятся достаточно высокий крутящий момент (15.3 кг*см), вес в 55г, скорость вращения 0,17с/60°. Также они имеют возможность отслеживать свою скорость, температуру, положение вала, нагрузку и напряжение.

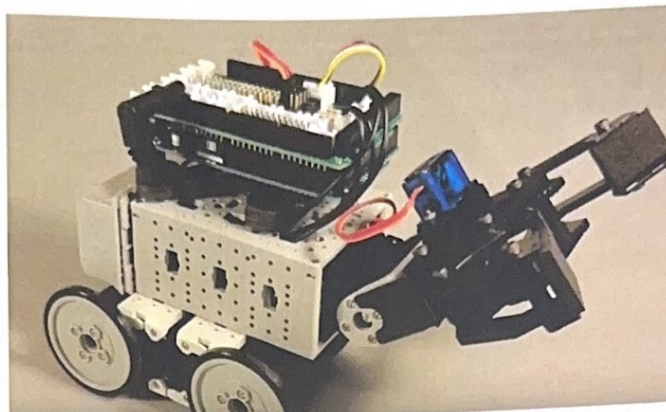


Рисунок 1.2.3 - Манипулятор с DynamixShield

Алгоритм управления, используемый для поддержания положения вала на AX-12 привода может регулироваться индивидуально для каждого сервопривода, что позволяет контролировать скорость и силу реакции двигателя.

В качестве контроллера использовалась плата Arduino Mega 2560, но можно также использовать Due или Zero. Для удобства подключения и управления сервоприводами использовался DynamixShield (рисунок 1.3), который также имеет Grove и RobotGeek разъемы для подключения различных датчиков и исполнительных механизмов, таких как датчики GPS, RFID- сканеры и ЖК-дисплеи. Эта плата расширения может подключить 32 сервопривода посредством трех сдвиговых регистров.

Управление ведется с специального джойстика ArbotiX Commander v2.0 Kit (рисунок 1.4), который связывается с микроконтроллером через Xbee трансиверы - коммуникационные модули. Данные модули прошиваются через терминалы (PuTTY и т.д.) и тем самым им присваивают определенный ID, а также PAN ID, который позволяет логически отделить узлы одной сети от другой. После этого микроконтроллер Arduino будет считывать данные с монитора порта, также как с подключенным USB [3].

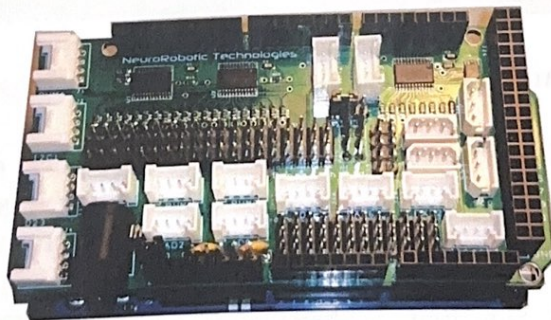


Рисунок 1.2.3.2 – DynamixShield

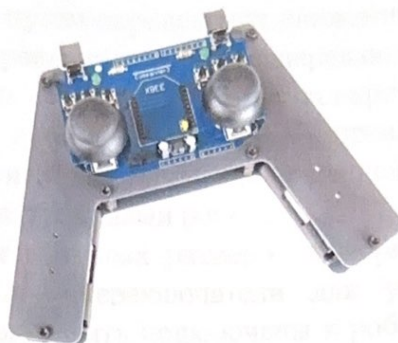


Рисунок 1.2.3.3 – джойстик ArbotiX Commander v2.0 Kit

1.3 Изучение алгоритма управления грузовыми мобильными роботами

Элементы управления грузовым манипулятором могут варьироваться в зависимости от конкретного типа используемого манипулятора, но вот некоторые общие элементы управления, которые обычно используются:

Джойстики: Большинство грузовых манипуляторов управляются с помощью джойстиков, которые управляют движением руки манипулятора. Как правило, один джойстик управляет движением руки вверх и вниз, в то время как другой управляет перемещением из стороны в сторону.



Рисунок 1.3.1 – Джойстик для управления роботом

Джойстик - это распространенное устройство ввода, используемое для управления роботами, в частности, для телеоперации, которая представляет собой процесс управления роботом из удаленного места. Джойстики обычно используются для управления движением мобильных роботов, например, используемых в промышленных приложениях или для исследования в удаленных или опасных средах.

Джойстики работают путем определения движения ручки джойстика в одном или нескольких направлениях, а затем передают эту информацию в систему управления робота. В зависимости от конкретного применения и робота, джойстик может использоваться для управления скоростью и направлением движения, ориентацией роботизированной руки или концевой эффектора, а также другими функциями робота.

Джойстики могут быть разных размеров и форм и могут включать дополнительные кнопки или переключатели для управления другими функциями робота. Они могут быть подключены к роботу через проводное или беспроводное соединение и могут использовать различные протоколы связи в зависимости от конкретного робота и используемой системы управления.

В целом, использование джойстика для управления роботом может быть интуитивно понятным и эффективным способом взаимодействия с роботом и выполнения широкого спектра задач.

Переключатели: Манипуляторы часто имеют переключатели, которые управляют вращением рычага или открытием и закрытием захвата.

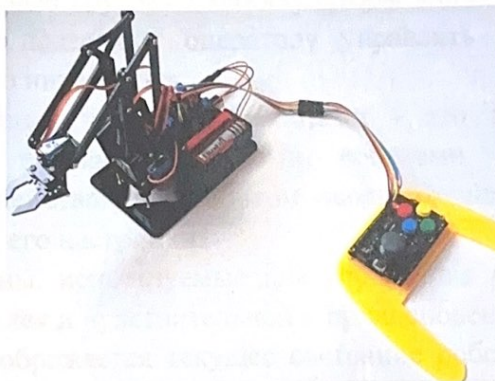


Рисунок 1.3.2 – Переключатели для управления манипулятором

Переключатели управления роботами - это тип устройства ввода, используемый для управления функциями и движениями робота. Эти переключатели, как правило, спроектированы так, чтобы ими было легко управлять, и ими могут пользоваться как опытные, так и начинающие операторы роботов.

Существуют различные типы переключателей управления роботами, в зависимости от конкретного применения и сложности робототехнической системы. Некоторые распространенные типы переключателей управления роботами включают в себя:

Переключатели включения/выключения: Это простые выключатели, которые включают или выключают питание робота.

Выключатели аварийного останова: Это критически важные устройства безопасности, которые немедленно останавливают робота в случае чрезвычайной ситуации.

Селекторные переключатели: Эти переключатели позволяют оператору выбирать различные режимы работы робота, например, ручной или автоматический.

Тумблеры: Эти переключатели могут использоваться для активации или деактивации определенных функций робота, например, включения или выключения роботизированной руки.

Кнопочные переключатели: Эти переключатели обычно используются для кратковременных операций, таких как запуск или остановка процесса или перемещение робота в определенном направлении.

Конкретные переключатели управления, используемые в робототехнической системе, зависят от конструкции и функциональности робота, а также от требований конкретного приложения. В целом, для обеспечения безопасной и эффективной работы робота важно выбирать надежные, долговечные и простые в управлении переключатели. Сенсорные экраны: Некоторые новые грузовые манипуляторы могут иметь сенсорные интерфейсы, которые позволяют оператору управлять манипулятором с помощью графического интерфейса.

Сенсорные экраны управления роботами - это интерфейс между операторами-людьми и промышленными роботами. Они позволяют пользователям взаимодействовать с роботом, вводя команды, отслеживая его состояние и регулируя его настройки.

Сенсорные экраны, используемые для управления роботами, обычно состоят из экрана дисплея и чувствительной к прикосновениям панели ввода. На экране дисплея отображается текущее состояние робота, например, его положение, скорость и режим работы. Сенсорная панель ввода позволяет пользователю вводить команды или настраивать параметры, касаясь экрана пальцем или стилусом.

Некоторые из преимуществ использования сенсорных экранов для управления роботами включают в себя:

Улучшенный пользовательский интерфейс: Сенсорные экраны обеспечивают удобный интерфейс, в котором легко ориентироваться и понимать.

Повышение производительности: Сенсорные экраны позволяют пользователям быстро и эффективно вводить команды, что повышает производительность и снижает количество ошибок.

Персонализация: Сенсорные экраны могут быть настроены в соответствии с конкретными потребностями пользователя и робота.

Дистанционное управление: Сенсорные экраны могут использоваться для дистанционного управления роботами, что может быть полезно в опасных или труднодоступных средах.

В целом, сенсорные экраны являются важным компонентом систем управления роботами, обеспечивая интуитивно понятный и эффективный способ взаимодействия пользователей с промышленными роботами.

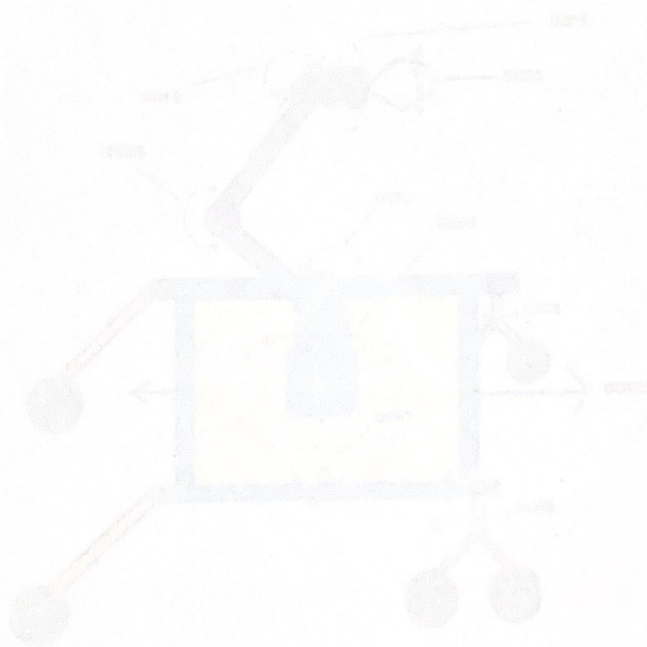


Рисунок 2.1.1 - Схема промышленной роботизированной системы

Рисунок 2.1.2 - Обеспечение подвижности платформы для робота

2 Конструкторская часть

2.1 Кинематическая схема грузового мобильного робота

На рисунке изображена кинематическая схема разрабатываемого грузового мобильного робота с 6 степенями свободы манипулятора, и с 4 степенями свободы платформы. Таким образом, кинематическая цепь представляет собой группу звеньев или соединений между собой, расположенных таким образом, что позволяет им перемещаться относительно друг друга.

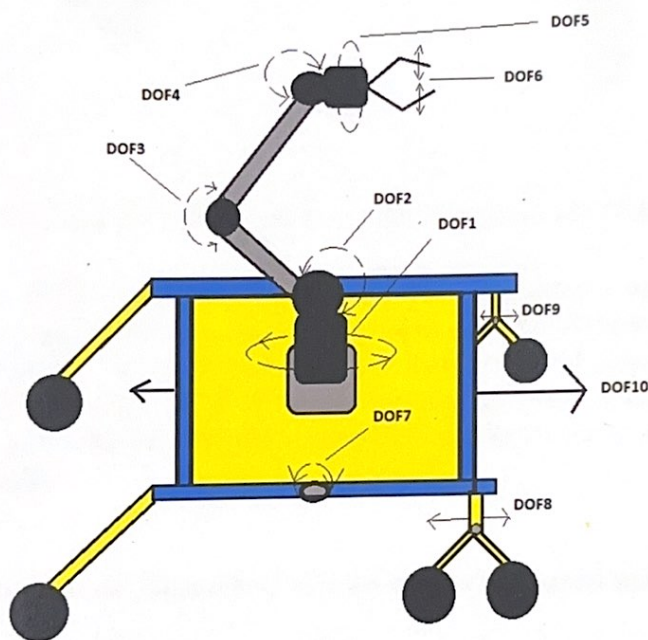


Рисунок 2.1.1 - Схема кинематической цепи

DOF7-8-9-10 обеспечивают мобильное движения платформы грузового робота.

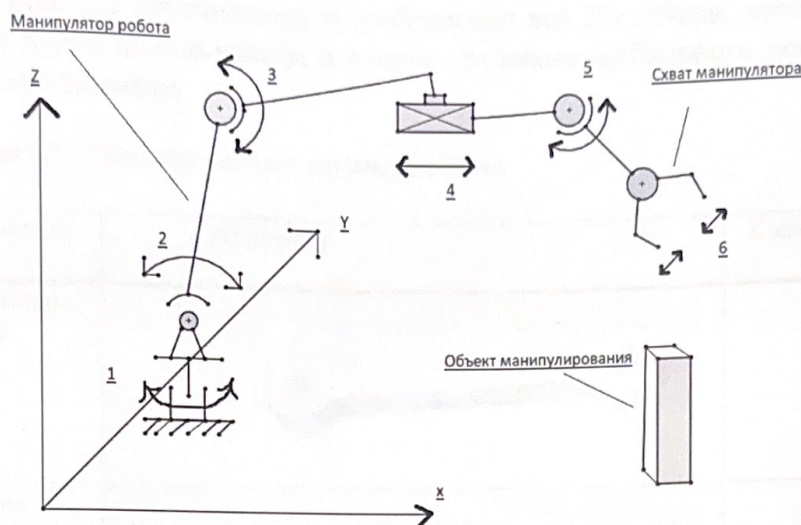


Рисунок 2.1.2 Кинематическая схема подъемного механизма

С помощью DOF 1 манипулятор способен совершать вращательные движения всей кинематической цепи относительно основания. Во время запуска DOF 2, DOF 3 ИЛИ DOF 4 робот выполняет вертикальные движения, т.е. сгибание и разгибание. DOF 5 обеспечивает вращательные движения захватывающего устройства. DOF6 способно осуществлять сжатие и разжатие клешней.

2.2 Компьютерная 3Д модель грузового мобильного робота

Создание 3Д модели грузового мобильного робота было создано в среде программного комплекса САПР Solidworks.

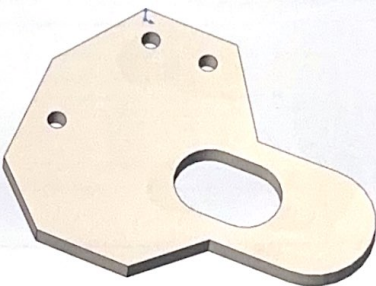
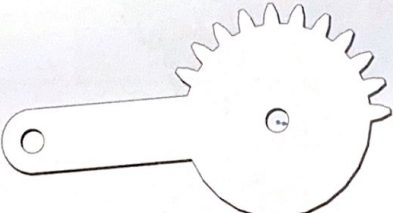
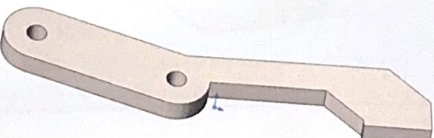
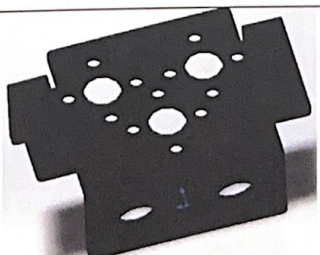
Solidworks позволяет пользователям создавать 3D-модели с использованием различных инструментов и техник, включая создание эскизов, выдавливание, вращение, вытяжку, подметание и скругление. Программное обеспечение также включает в себя ряд функций для моделирования и анализа конструкций, таких как анализ напряжений, анализ движения и тепловой анализ.

Solidworks широко используется в таких отраслях, как автомобилестроение, аэрокосмическая промышленность, промышленное оборудование и товары народного потребления. Он известен своим удобным интерфейсом и интуитивно понятным рабочим процессом, что делает его популярным среди инженеров, дизайнеров и производителей [17].

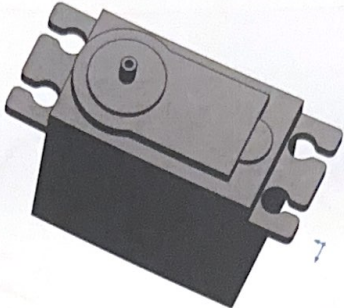
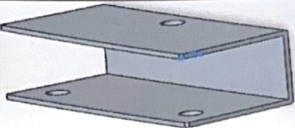
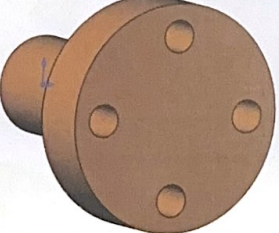
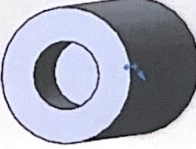
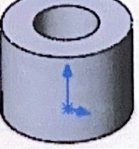
При создании 3Д модели грузового мобильного робота, для начала нужно создать модель каждой детали, и после окончания приступить к сборке.

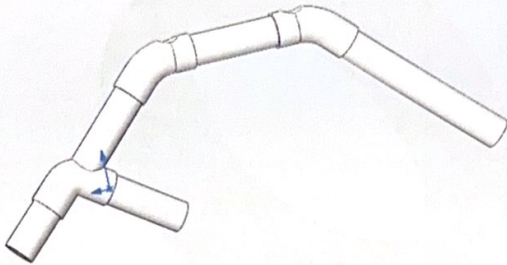
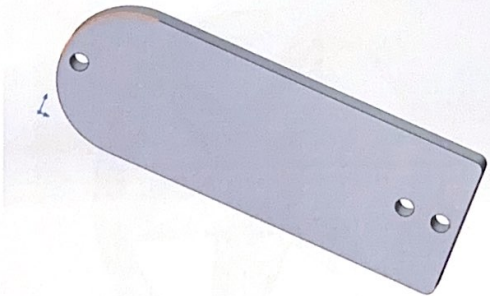
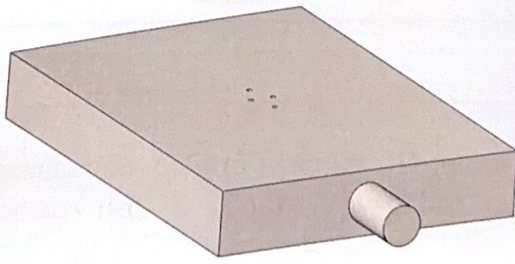
В таблице 2.2 перечислены и изображены все 3D детали, которые в дальнейшем будут использованы в сборке грузового мобильного робота с подъемным механизмом.

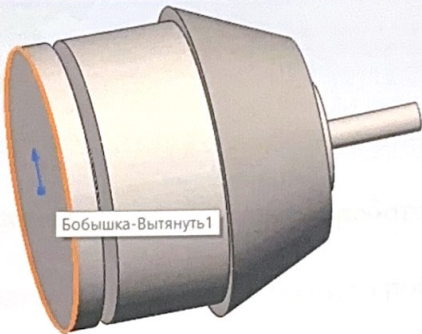
Таблица 2.2 – Описание деталей грузового робота

№	Наименование	3D модель	Количество
1	стабилизатор клешней		4
2	основание захватывающего устройства		1
3	полустерня, осуществляющая механическое движение захватывающего устройства		2
4	Клешня робота		2
5	кронштейн для сервопривода MG996R		5

Продолжение таблицы 2.2

6	сервопривод MG996R		6
7	U-луч образный кронштейн		2
8	U образный кронштейн		3
9	валовый крепеж		5
1 0	втулка (бобышка) для крепления сервопривода к основанию захватывающе го устройства		4
1 1	L-образный кронштейн с 2 отверстиями		1
1 2	втулка (бобышка) для крепления стабилизатора к основания		2

	захватывающе го устройства		
1 3	Подвижная часть платформы		2
1 4	Локоть манипулятора		2
15	Подвижная часть нижней части платформы		4
1 6	Основа платформы		1

1 7	Шина колес		6
1 8	Двигатель		6
1 9	Диски колес		6
	Итого		6 4

После моделирования составляющих робота нужных 3D деталей, а их количество равно 64, можно приступить к сборке грузового робота с манипулятором.

На рисунке 2.2.1 представлена exploded view 3D модели робота с разнесенными в стороны деталями.

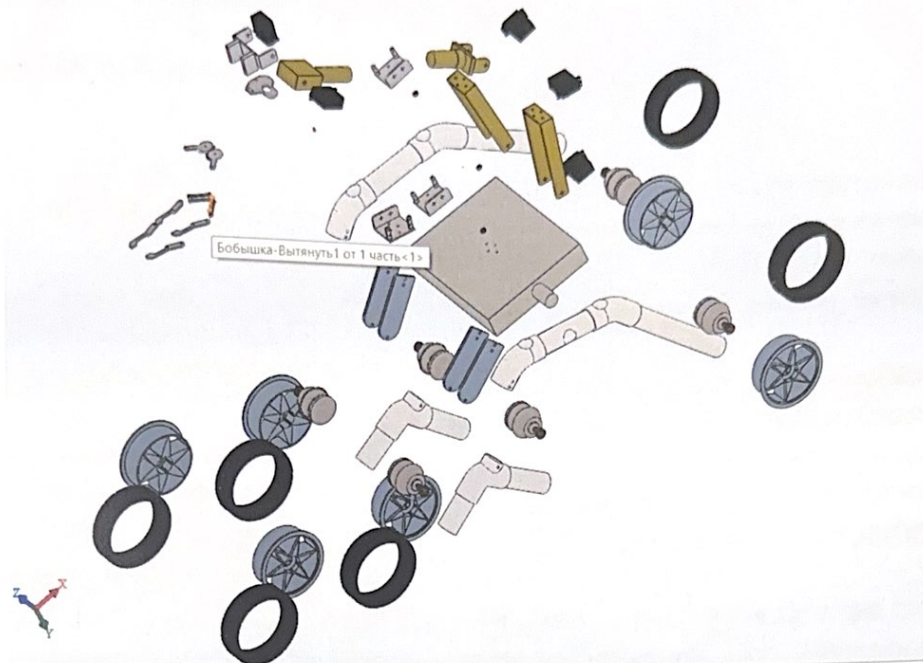


Рисунок 2.2.1 – exploded view 3D модели робота

На рисунке 2.2.2 представлена сборка грузового робота

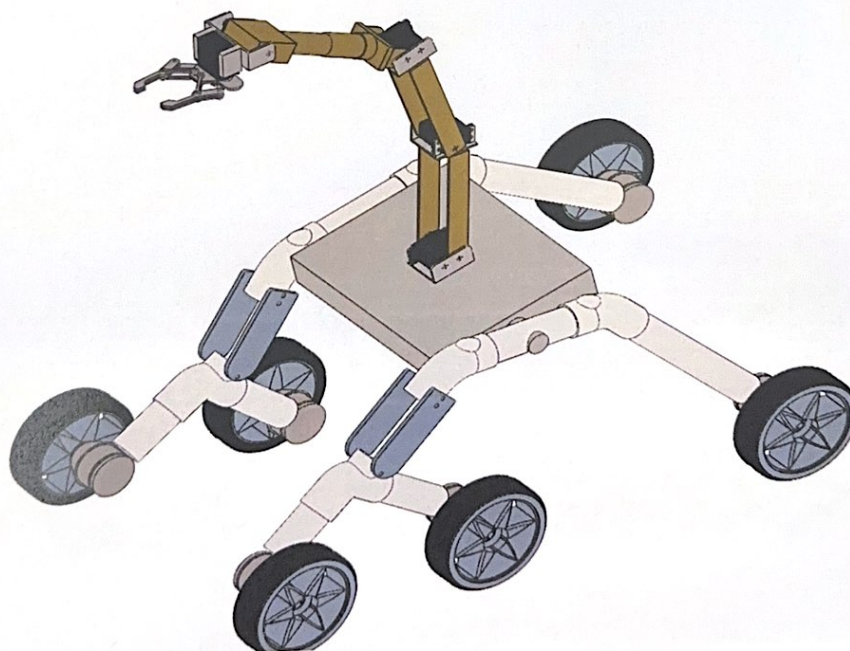


Рисунок 2.2.2 – Сборка грузового робота

2.3 Используемые комплектующие

2.3.1 Микроконтроллерная плата Arduino Uno

Arduino Uno - это плата микроконтроллера на базе микроконтроллера ATmega328P. Он имеет 14 контактов цифрового ввода-вывода (из которых 6 могут использоваться в качестве ШИМ-выходов), 6 аналоговых входов, кварцевый кристалл с частотой 16 МГц, USB-соединение, разъем питания, разъем ICSP и кнопку сброса.

Плата Arduino Uno является популярным выбором для многих проектов DIY и может быть использована для создания самых разнообразных проектов, таких как роботы, датчики, светодиодные дисплеи и многое другое. Плата программируется с помощью интегрированной среды разработки Arduino (IDE), которая представляет собой бесплатное программное обеспечение, которое можно загрузить с веб-сайта Arduino.

Arduino Uno - это простая в использовании и доступная по цене плата микроконтроллера, что делает ее отличным выбором как для начинающих, так и для продвинутых пользователей. Его универсальность и совместимость с широким спектром датчиков и модулей делают его популярным выбором среди любителей, студентов и профессионалов в области электроники и программирования[18].

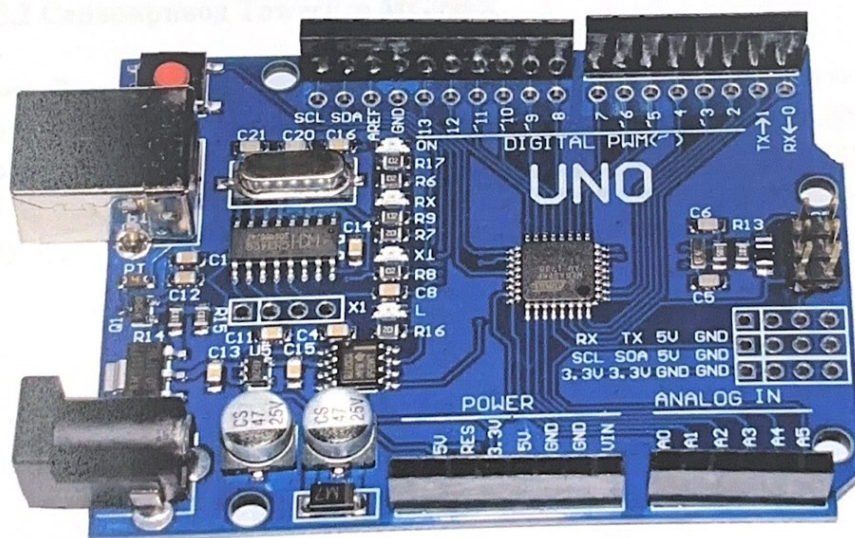


Рисунок 2.3.1 – микроконтроллер Arduino Uno

Вот основные характеристики платы микроконтроллера Arduino Uno:

Микроконтроллер: ATmega328P

Рабочее напряжение: 5 В

Входное напряжение (рекомендуемое): 7-12В

Входное напряжение (пределы): 6-20 В

Цифровые контакты ввода-вывода: 14 (из которых 6 обеспечивают ШИМ-выход)

Контакты аналогового входа: 6

Постоянный ток на вывод ввода-вывода: 20 мА

Постоянный ток для вывода 3,3 В: 50 мА

Флэш-память: 32 КБ (Atmega328), из которых 0,5 КБ используется загрузчиком

SRAM: 2 КБ (ATmega328P)

EEPROM: 1 КБ (ATmega328P)

Тактовая частота: 16 МГц

На плате также есть USB-разъем для программирования и питания, разъем питания, разъем ICSP и кнопка сброса. Он поддерживает протоколы последовательной связи, SPI и I2C и может быть запрограммирован с помощью интегрированной среды разработки Arduino (IDE) через USB или кабель FTDI. Плата совместима с широким спектром датчиков и модулей, что делает ее универсальным выбором для самостоятельных проектов и создания прототипов.

2.3.2 Сервопривод TowerPro MG996R

TowerPro MG996R - это серводвигатель с высоким крутящим моментом, предназначенный для использования в робототехнике и других системах управления двигателями. Это популярный выбор как среди любителей, так и среди профессионалов, благодаря своему относительно высокому крутящему моменту, точности и надежности.

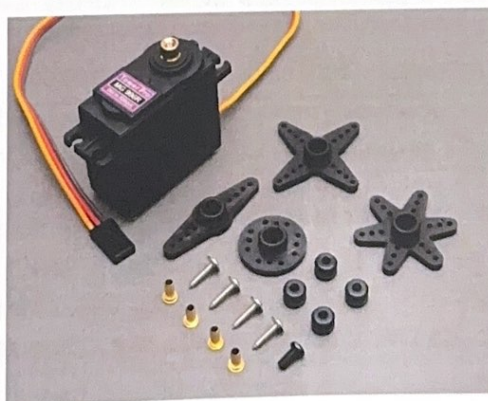


Рисунок 2.3.2 – Сервопривод TowerPro MG996R

Вот некоторые из ключевых характеристик серводвигателя TowerPro MG996R:

Рабочее напряжение: 4,8 В - 7,2 В

Крутящий момент при остановке: 9,4 кг/см при 4,8 В; 11 кг/см при 6 В; 13 кг/см при 7,2 В

Рабочая скорость: 0,17 сек/60° при 4,8 В; 0,14 сек /60° при 6 В; 0,12 сек/60° при 7,2 В

Тип шестерни: Металлическая

Тип двигателя: Без сердечника

Тип разъема: JR-тип

Рабочая температура: от -20°C до +60°C

Вес: 55 г

TowerPro MG996R - это цифровой серводвигатель, что означает, что он использует микроконтроллер и механизм обратной связи для управления своим положением и скоростью. Он имеет диапазон перемещения на 180 градусов и способен непрерывно вращаться в обоих направлениях. Металлическая зубчатая передача и двигатель без сердечника обеспечивают высокий уровень долговечности и точности.

Серводвигателем можно управлять с помощью сигналов широтно-импульсной модуляции (ШИМ) от микроконтроллера или другого устройства управления. Обычно для этого требуется напряжение питания от 4,8 В до 7,2 В, а максимальный ток под нагрузкой составляет около 2,5 А

2.3.3 Литий-полимерный аккумулятор LION POWER 4S 14,8 В 5200 мАч 30с Т Plug/XT60 Plug

Литий-полимерный аккумулятор — LION POWER - это тип литий-ионного аккумулятора, который использует полимерную электролитическую матрицу вместо жидкого электролита. Это делает аккумулятор более тонким и легким, чем обычный литий-ионный аккумулятор, а также повышает его безопасность.

LION POWER аккумуляторы обладают высокой энергетической плотностью и обеспечивают длительное время работы на одной зарядке. Они также имеют быструю скорость зарядки и высокую степень сохранения заряда при хранении.

Литий-полимерный аккумулятор LION POWER 4S 14,8 В 5200 мАч - это аккумуляторный блок, который состоит из четырех элементов (4S), обеспечивающих номинальное напряжение 14,8 В. Его емкость составляет 5200 мАч, что означает, что аккумулятор может поставлять 5200 миллиампер-час энергии при полной зарядке.

Такой аккумулятор может использоваться в широком спектре устройств, таких как роботы-пылесосы, беспилотные летательные аппараты

(дроны), электронные сигареты, электроинструменты, портативные аудиосистемы и другие устройства.

Скорость зарядки для данного аккумулятора будет зависеть от используемого зарядного устройства, но обычно он может заряжаться за 2-3 часа. Также стоит учитывать, что этот аккумулятор может быть заряжен и разряжен примерно 500 раз, прежде чем его производительность начнет снижаться.

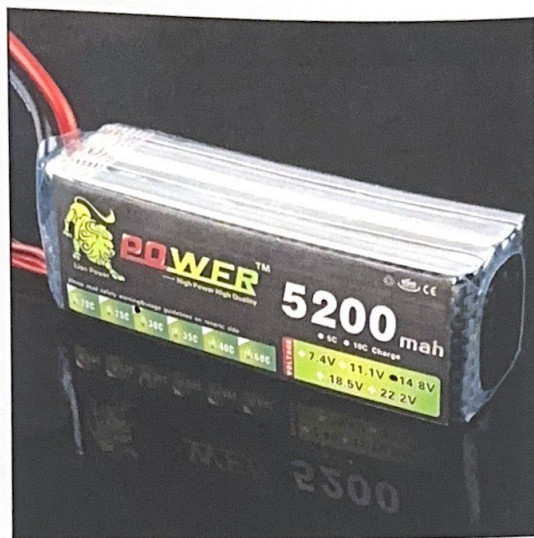


Рисунок 2.3.3 – LION POWER 4S 14,8 в 5200 мАч

Эти аккумуляторы широко применяются в электронике, такой как мобильные устройства, ноутбуки, планшеты, а также в автомобильной промышленности и других отраслях, где требуется компактный и легкий источник питания.

Ниже приведены некоторые основные характеристики литий-полимерного аккумулятора LION POWER 4S 14,8 В 5200 мАч:

Номинальное напряжение: 14,8 В

Емкость: 5200 мАч

Энергетическая плотность: примерно 145 Втч/кг

Скорость зарядки: обычно от 2 до 3 часов

Циклы зарядки/разрядки: около 500 циклов

Температурный диапазон: от -20 до +60 градусов Цельсия

Размеры: примерно 70 мм x 35 мм x 37 мм

Вес: примерно 240 грамм

Также стоит отметить, что литий-полимерные аккумуляторы LION POWER обладают высоким уровнем безопасности благодаря использованию полимерной электролитической матрицы, которая не выделяет газы и не поддерживает горение при перегреве или коротком замыкании.

2.3.4 DC-DC понижающий преобразователь 9А, 300W, 5-40V

DC-DC step-down converter 9A, 300W, 5-40V - это электронное устройство, которое используется для преобразования постоянного напряжения (DC) на входе в меньшее постоянное напряжение на выходе. В данном случае, он способен преобразовывать напряжение в диапазоне от 5 до 40 В до меньшего напряжения.

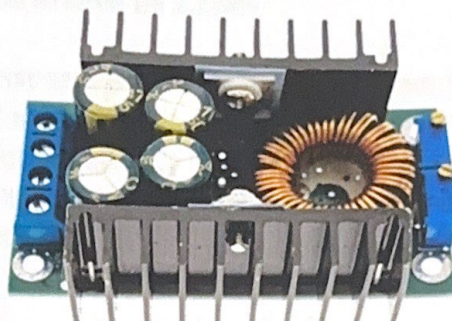


Рисунок 2.3.4 – DC-DC понижающий преобразователь 9А, 300W, 5-40V

Некоторые основные характеристики данного DC-DC преобразователя:

Максимальный ток на выходе: 9А

Максимальная мощность: 300W

Диапазон входного напряжения: от 5 до 40 В

Выходное напряжение: настраиваемое (ниже, чем входное напряжение)

КПД (Коэффициент полезного действия): примерно 95%

Защита от короткого замыкания: есть

Защита от перегрузки: есть

Размеры: примерно 60 мм x 53 мм x 22 мм

Вес: примерно 80 грамм

DC-DC преобразователи широко используются в различных областях, таких как автомобильная и промышленная электроника, медицинская техника, аудио- и видеоаппаратура, телекоммуникации и многое другое.

Они популярны благодаря способности обеспечивать эффективное преобразование напряжения, меньшим форм-факторам и более высокой плотности мощности по сравнению с традиционными линейными регуляторами. Преобразователи постоянного тока также могут обеспечивать изоляцию между входным и выходным напряжением, что может быть полезно в определенных областях применения.

Понижающий преобразователь постоянного тока 9А, 300 Вт, 5-40 В может использоваться в различных приложениях, таких как светодиодное освещение, управление двигателем, зарядка аккумулятора и многое другое. Важно отметить, что при выборе преобразователя постоянного тока крайне

важно убедиться, что преобразователь способен обеспечивать достаточную выходную мощность для удовлетворения требований нагрузки и что входное напряжение находится в указанном диапазоне. Кроме того, при выборе преобразователя постоянного тока для конкретного применения важно учитывать такие факторы, как эффективность, регулирование напряжения и функции защиты.

2.3.5 Драйвер двигателей на L298N

L298N - это популярная двухмостовая микросхема драйвера двигателя, которая может использоваться для управления двигателями постоянного тока и шаговыми двигателями. Он обычно используется в проектах робототехники и автоматизации для приведения двигателей в действие в обоих направлениях и регулирования их скорости.

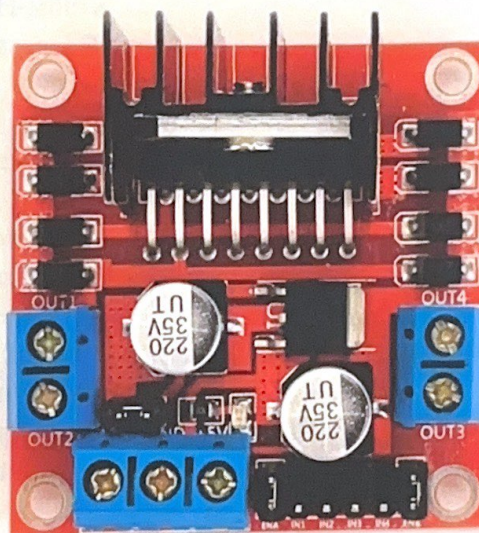


Рисунок 2.3.5 – драйвер двигателей на L298N

Чтобы использовать L298N в качестве драйвера двигателя, его обычно подключают к микроконтроллеру или другой схеме управления. L298N оснащен двумя H-образными мостами, которые могут независимо управлять двумя двигателями. Каждый H-образный мост может подавать на двигатель ток до 2А при диапазоне напряжений от 5 В до 35 В.

L298N имеет в общей сложности 16 контактов, которые разделены на четыре группы: источник питания, выходы двигателя, управляющие входы и датчики. Вот краткое описание каждого pin-кода:

VCC1: Вывод источника питания для логической схемы, обычно подключаемый к +5 В

VCC2: Вывод источника питания двигателя, обычно подключаемый к источнику напряжения двигателя

GND: вывод заземления для схемы и двигателя

4-7. Выходы двигателя: Четыре контакта (OUT1, OUT2, OUT3, OUT4), используемые для подключения двигателя

8-9. Контакты включения: Два контакта (ENA, ENB), используемые для включения/отключения соответствующего H-моста

10-13. Управляющие входы: Четыре контакта (IN1, IN2, IN3, IN4), используемые для управления направлением вращения двигателя.

Значение A: Аналоговое напряжение, пропорциональное току двигателя в соответствующем H-мосту.

Значение B: Аналоговое напряжение, пропорциональное току двигателя на другом H-мосту

VREF: Опорный вывод напряжения, используемый для установки максимального тока в H-мосте

Чтобы использовать L298N в качестве привода двигателя, двигатель обычно подключается к выходам двигателя (OUT1, OUT2 для одного H-моста, OUT3, OUT4 для другого H-моста), а направление и скорость двигателя регулируются с помощью управляющих входов (IN1, IN2 для одного H-моста).-мост, IN3, IN4 для другого H-моста). Контакты включения (ENA, ENB) используются для включения/выключения соответствующего H-моста, а контакты датчика (Sense A, Sense B) могут использоваться для измерения тока двигателя.

Вот технические характеристики драйвера двигателя L298N:

Рабочее напряжение: от 5 В до 35 В

Максимальный выходной ток: 2А на канал

Максимальный пиковый ток: 3А на канал

Логическое напряжение: 5 В

Количество каналов: 2

Выходное сопротивление: 0,1 Ом

Диапазон выходного напряжения: от 0 В до (VCC - 2 В)

Защита от теплового отключения

Защита от перекрестной проводимости

Размеры: 43 мм x 43 мм x 27 мм

Важно отметить, что диапазон максимального выходного тока и напряжения L298N может варьироваться в зависимости от напряжения источника питания и схемы. Защита от перегрева и перекрестной проводимости является важной функцией безопасности, которая помогает предотвратить повреждение микросхемы в случае перегрузки или короткого замыкания.

L298N - это широко используемая и универсальная микросхема управления двигателем, которая может использоваться для привода различных типов двигателей, включая двигатели постоянного тока и шаговые двигатели. Его простой интерфейс управления и прочная конструкция делают его популярным выбором для проектов в области робототехники и автоматизации. Однако важно учитывать ограничения и потенциальные источники ошибок при использовании этой микросхемы в конкретном приложении.

2.4 Электрическая схема

На рисунке 2.4 представлена электрическая схема подключения используемых компонентов.

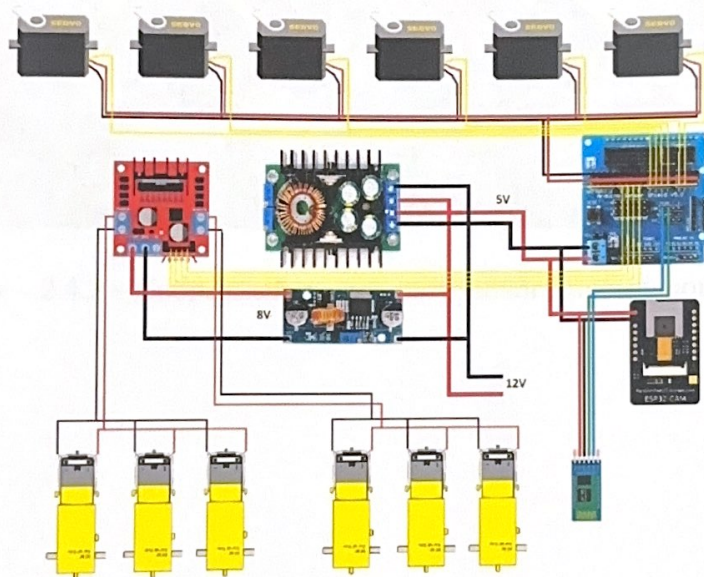


Рисунок 2.4.1 – Электрическая схема

На схеме показано то, что все комплектующие управляются с помощью микроконтроллерной платы Arduino Uno, к которой подключены шесть сервоприводов, 6 двигателей управляемые с помощью драйвера двигателей L298N. Каждый сервопривод питается от 5В, электродвигатели от 8В, камера от 5В приходящие от аккумулятора через DC-DC преобразователи. Желтым цветом указаны сигнальные провода подключения. 12В идет от аккумулятора.

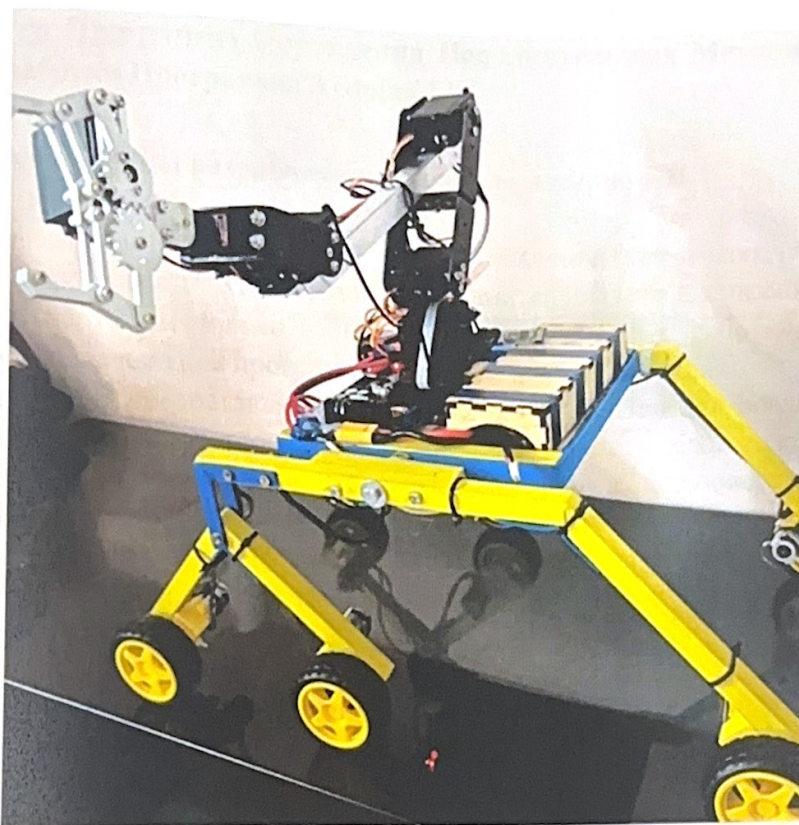


Рисунок – 2.4.2 – Собранный прототип грузового мобильного робота

3 Разработка Программы Управления Исполнительных Механизмов В Среде Разработки Программы Arduino Ide

3.1 Выбор среды разработки программы Arduino IDE

Основной частью дипломной работы заключается в создании и написании программы управления исполнительных механизмов. Ее написание было осуществлено в интегрированной среде разработки (IDE), которая предназначена для программирования платформы Arduino.

Arduino IDE предоставляет множество инструментов для создания и загрузки кода на платформу Arduino. Она включает в себя текстовый редактор, который обеспечивает подсветку синтаксиса, автозавершение и другие удобные функции для написания кода на языке C / C++.

Arduino IDE также предоставляет библиотеки для работы с различными компонентами, такими как датчики, актуаторы, дисплеи и т.д. Она имеет простой интерфейс для загрузки скетчей (программ для Arduino) на платформу.

Кроме того, Arduino IDE поддерживает множество платформ Arduino, а также некоторые другие платформы, такие как ESP8266 и ESP32 которая была использована в моей разработки проекта.

```
sketch_may09a$  
//4 схват  
//3 поворот схвата  
//2 подъем схвата  
//5 подъем звена  
//7 подъем звена  
//6 главный  
  
#include <Servo.h>  
  
int pos = 70;  
int pos1 = 0;  
int pos3 = 0;  
int pos2 = 0;  
int pos4 = 90;  
Servo myservo1;  
Servo myservo2;  
Servo myservo3;  
Servo myservo4;  
Servo myservo5;  
Servo myservo6;  
  
void setup() {  
  Serial.begin (9600);  
  myservo1.attach (6);  
  myservo2.attach (7);  
  myservo3.attach (5);  
  myservo4.attach (2);  
  myservo5.attach (3);  
  myservo6.attach (4);  
  //
```

Рисунок 3.1 – Листинг программы

4 Расчетная часть

4.1 Расчет прямой кинематики манипулятора робота

Прямая задача кинематики

Использование метода Денавита-Хартенберга позволяет сократить число координат, определяющих положение и ориентацию твердого тела в пространстве, с шести до четырех [20].

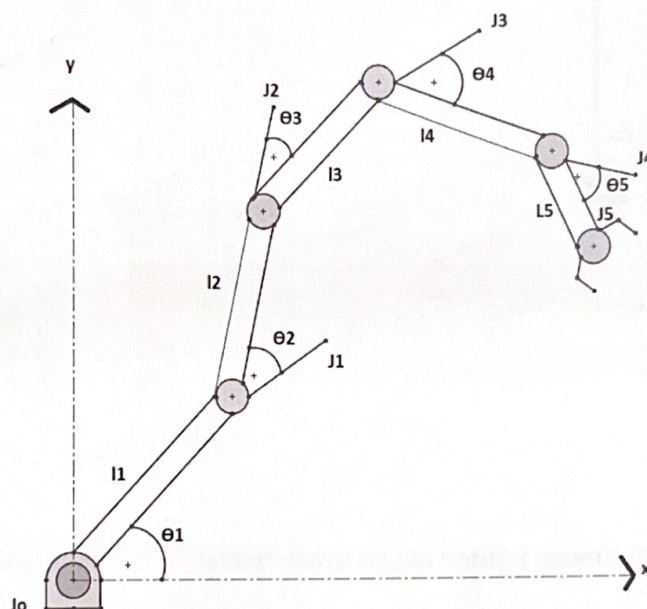


Рисунок 4.1.1 – Схема прямой кинематики на плоскости

Метод Денавита-Хартенберга состоит из нескольких этапов:

1. На первом этапе необходимо привязать системы координат к звеньям.

2. Определение параметров Денавита-Хартенберга.

3. Построение матриц однородного преобразования.

Для привязки системы координат к звеньям необходимо учитывать несколько правил:

- Выбор осей z_i – необходимо выбрать ось z_i так, чтобы она совпала с осью вращения или поступательного движения последующего сочленения $i + 1$.
- Выбор осей x_i – необходимо выбрать ось x_i так, чтобы она пересекала и была перпендикулярна оси z_{i-1} .

- Выбор осей u_i – необходимо выбрать ось u_i так, чтобы она дополняла систему координат до правой.
- Выбранные системы координат каждого звена представлены на рис.

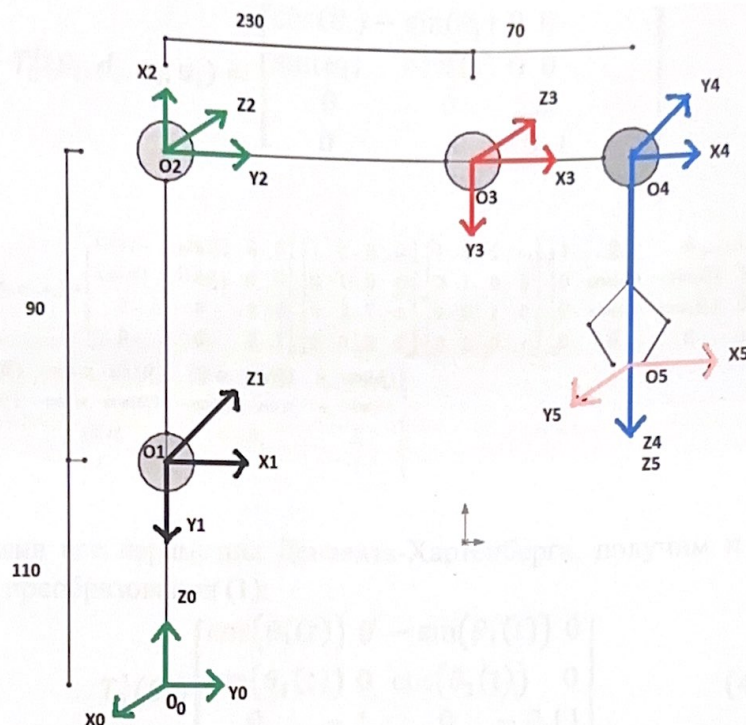


Рисунок 4.1.2 – Выбор системы координат манипулятора

Четыре параметра Денавита-Хартенберга вычисляются следующим образом:

- a_i — расстояние между O_{i-1} и O_i вдоль оси X_i ;
- α_i — угол, на который необходимо повернуть Z_{i-1} вокруг X_i , чтобы она стала сонаправлена с Z_i ;
- d_i — расстояние между O_{i-1} и O_i вдоль оси Z_{i-1} ;
- θ_i — угол поворота оси X_{i-1} вокруг оси Z_{i-1} , чтобы она стала сонаправлена с осью X_i [21].

Таблица 4.1.1 Параметры Денавита-Хартенберга манипулятор

Звено i	$d_i, \text{м}$	$a_i, \text{м}$	$\theta_i, ^\circ$	$\alpha_i, ^\circ$
1	0,11	0	90	-90
2	0	0,9	-90	0
3	0	0,23	90	0
4	0	0,7	0	-90
5	0,1	0	0	0

По полученным четырем параметрам для каждого звена манипулятора построим матрицу однородного преобразования от основания к рабочему органу в общем виде:

$$T_0^i(\theta_i, d_i, \alpha_i, a_i) = \begin{bmatrix} \cos(\theta_i) & -\sin(\theta_i) & 0 & 0 \\ \sin(\theta_i) & \cos(\theta_i) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} T_{i-1}^i(\theta_i, d_i, \alpha_i, a_i) &= \begin{bmatrix} \cos(\theta_i) & -\sin(\theta_i) & 0 & 0 \\ \sin(\theta_i) & \cos(\theta_i) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a_i \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\theta_i) & -\sin(\theta_i) & 0 \\ 0 & \sin(\theta_i) & \cos(\theta_i) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \\ &= \begin{bmatrix} \cos(\theta_i) & -\cos \alpha_i \cdot \sin(\theta_i) & \sin \alpha_i \cdot \sin(\theta_i) & a_i \cdot \cos(\theta_i) \\ \sin(\theta_i) & \cos \alpha_i \cdot \cos(\theta_i) & -\cos(\theta_i) \cdot \sin \alpha_i & a_i \cdot \sin(\theta_i) \\ 0 & \sin \alpha_i & \cos \alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (4.1)$$

Подставив все параметры Денавита-Хартенберга, получим n матриц однородного преобразования (1):

$$T_0^1(\theta_1) = \begin{bmatrix} \cos(\theta_1(t)) & 0 & -\sin(\theta_1(t)) & 0 \\ \sin(\theta_1(t)) & 0 & \cos(\theta_1(t)) & 0 \\ 0 & -1 & 0 & -0,11 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.2)$$

$$T_1^2(\theta_2) = \begin{bmatrix} \cos(\theta_2(t)) & -\sin(\theta_2(t)) & 0 & 0,9 * \cos(\theta_2(t)) \\ \sin(\theta_2(t)) & \cos(\theta_2(t)) & 0 & 0,9 * \sin(\theta_2(t)) \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.3)$$

$$T_2^3(\theta_3) = \begin{bmatrix} \cos(\theta_3(t)) & -\sin(\theta_3(t)) & 0 & 0,23 * \cos(\theta_3(t)) \\ \sin(\theta_3(t)) & \cos(\theta_3(t)) & 0 & 0,23 * \sin(\theta_3(t)) \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.4)$$

$$T_3^4(\theta_4) = \begin{bmatrix} \cos(\theta_4(t)) & -\sin(\theta_4(t)) & 0 & 0,7 * \cos(\theta_4(t)) \\ \sin(\theta_4(t)) & \cos(\theta_4(t)) & 0 & 0,7 * \sin(\theta_4(t)) \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.5)$$

$$T_4^5(\theta_5) \begin{bmatrix} \cos(\theta_5(t)) & 0 & -\sin(\theta_5(t)) & 0 \\ \sin(\theta_5(t)) & 0 & \cos(\theta_5(t)) & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0,01 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.6)$$

Итоговую матрицу, связывающую все полученные системы координат, можно получить путем перемножения всех полученных ранее матриц однородного преобразования (2-6):

Итоговая матрица однородного преобразования характеризует связь трех систем координат.

$$T_0^5(\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \theta_5) = T_0^1 \cdot T_1^2 \cdot T_2^3 \cdot T_3^4 \cdot T_4^5 = \begin{bmatrix} 0,5 \cdot \cos(\theta_1) + 0,5 \cdot \cos(-\theta_1) & \sin(\theta_1) & 0,5 \cdot \sin(\theta_1) - 0,5 \cdot \sin(-\theta_1) \\ 0,5 \cdot \sin(\theta_1) - 0,5 \cdot \sin(-\theta_1) & -\cos(\theta_1) & -0,5 \cdot \cos(\theta_1) + 0,5 \cdot \cos(-\theta_1) \\ 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0,03 \cdot \cos(\theta_2) + 0,03 \cdot \cos(-\theta_2) + 0,0735 \cdot \cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) + 0,0735 \cdot \cos(\theta_2 + \theta_3 - \theta_1) + 0,0675 \cdot \cos(\theta_2 + \theta_1) + 0,0675 \cdot \cos(\theta_2 - \theta_1) \\ 0,03 \cdot \sin(\theta_2) + 0,03 \cdot \sin(-\theta_2) + 0,0735 \cdot \sin(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) - 0,0735 \cdot \sin(\theta_2 + \theta_3 - \theta_1) + 0,0675 \cdot \sin(\theta_2 + \theta_1) - 0,0675 \cdot \sin(\theta_2 - \theta_1) \\ -0,147 \cdot \sin(\theta_3 + \theta_2) - 0,135 \cdot \sin(\theta_2) + 0,138 \end{bmatrix} \quad (4.7)$$

4.2 Расчет энергоемкости макета и промышленного проекта

Цена за каждый киловат в г.Алматы - 7,05тг, учитывая это можно выполнить расчет энергоемкости для проекта мбильного грузового робота.

Таблица 4.2.1 – Расчет энергоемкости компонентов робота

Компоненты робота.
 Arduino Uno - 2.5Вт
 Сервопривод TowerPro MG996R – 0.25Вт
 DC-DC понижающий преобразователь 9А - 0.45Вт
 Драйвер двигателей на L298N - 0.55 Вт
 Литий-полимерный аккумулятор LION POWER - 12Вт
 Общее потребление 15.75 Вт/ч - 0,11тг/ч

4.3 Расчет часов надежности работоспособности проекта

Показатель безотказности из официальных datasheet

Ардуино УНО =

$P_U = 88000$ часов

Arduino shield =

$P_S = 250000$ часов

Servo MG996R (X6) =

$P_{MG} = 150000$ часов

Драйвер двигателя L298N =

$P_L = 130000$ часов

ESP32-CAM =

$P_{CAM} = 55000$ часов

Bluetooth module =

$P_B = 38400$ часов

Понижающий трансформатор =

$P_{AC} = 100000$ часов

DC-DC понижающий преобразователь =

$P_{DC} = 100000$ часов

Мотор постоянного тока с редуктором 1:48 (X6) =

$P_M = 200000$ часов

Интенсивность отказов i -го элемента определяется:

$$\lambda_i = \frac{1}{P_i} \quad (4.3.1)$$

$$\lambda_U = \frac{1}{P_U} = \frac{1}{88000} = 1.13 * 10^{-5} \frac{1}{\text{ч}}$$

$$\lambda_S = \frac{1}{P_S} = \frac{1}{250000} = 0.4 * 10^{-5} \frac{1}{\text{ч}}$$

$$\lambda_{MG} = \frac{1}{P_{MG}} = \frac{1}{150000} = 0.66 * 10^{-5} \frac{1}{\text{ч}}$$

$$\lambda_L = \frac{1}{P_L} = \frac{1}{130000} = 0.76 * 10^{-5} \frac{1}{\text{ч}}$$

$$\lambda_{CAM} = \frac{1}{P_{CAM}} = \frac{1}{55000} = 1.81 * 10^{-5} \frac{1}{\text{ч}}$$

$$\lambda_B = \frac{1}{P_B} = \frac{1}{38400} = 2.6 * 10^{-5} \frac{1}{\text{ч}}$$

$$\lambda_{AC} = \frac{1}{P_{AC}} = \frac{1}{100000} = 1 * 10^{-5} \frac{1}{\text{ч}}$$

$$\lambda_{DC} = \frac{1}{P_{DC}} = \frac{1}{100000} = 1 * 10^{-5} \frac{1}{\text{ч}}$$

$$\lambda_M = \frac{1}{P_M} = \frac{1}{200000} = 0.5 * 10^{-5} \frac{1}{\text{ч}}$$

Вероятность безотказной работы 1-го элемента схемы:

t – рассматриваемое время, (для расчета принимаем $t=1000$ часов).

$$T_i(t) = e^{-\lambda_i t} \quad (4.3.2)$$

$$T_U(t) = e^{-\lambda_U t} = e^{-1.13 \cdot 10^{-5} \cdot 1000} = 0.988$$

$$T_S(t) = 0.996$$

$$T_{MG}(t) = 0.993$$

$$T_L(t) = 0.992$$

$$T_{CAM}(t) = 0.982$$

$$T_B(t) = 0.974$$

$$T_{AC}(t) = 0.99$$

$$T_{DC}(t) = 0.99$$

$$T_M(t) = 0.995$$

Расчёт показателей надёжности системы в целом:

$$T_C = \sum_{i=1}^n T_i(t) \quad (4.3.3)$$

$$T_C = 0.996^2 \cdot 0.993^2 \cdot 0.992^2 \cdot 0.982^2 \cdot 0.974^2 \cdot 0.99^2 \cdot 0.99^2 \cdot 0.995^2 \\ = 0.837$$

Интенсивность отказов системы:

$$\lambda_C = \frac{\ln 0.837}{1000} = 1.109 \cdot 10^{-4} \frac{1}{\text{ч}}$$

Средняя наработка до отказа системы:

$$P_c = \frac{1}{\lambda_C} = \frac{1}{1.109 \cdot 10^{-4}} = 9017 \text{ часов}$$

Исходя из 8ми часовой рабочей смены и 250 рабочих дней в году, получаем среднюю наработку в годах:

$$P_{\text{сг}} = \frac{9017}{8 \cdot 250} = 4.5085 \text{ года}$$

4.4 Расчет границ опасных зон

Опасным называют зоны, в которых постоянно или периодически возникают факторы, которые создают угрозу для жизни и здоровья человека. Существуют машины таких зон вблизи движущихся или вращающихся частей, вокруг открытыми токоведущими частями и др. Различие между постоянными и переменными опасной зоны.

Постоянных областей опасный квадрат, расположенный непосредственно вблизи подвижных частей манипулятора, а именно на его запрограммированной траектории.

Опасной зоны, которая изменяется во времени в соответствии с условиями и режимы работы процесс труда, называется переменной.

Границы постоянных опасных зон можно легко определить, так как они не меняются в процессе выполнения работ, а также границы зон переменные не имеют четких контуров в пространстве. Поэтому для создания безопасной рабочей среды очень важно найти максимальное расстояние, в пределах которого возможно воздействие на человека опасных производственных факторов, эксплуатируемых машин и оборудования [19].

Существует несколько формул для вычисления площади опасной зоны (поз) и все они считают, что ущерб манипулятора или выход из строя одного из его составляющих, а не содержание объекта во время его транспортировки. В частности, рассмотреть возможные зоны падения тяжелых предметов или стекла бьются, и др.

Манипулятор-это манипулятор, который имеет поворотный механизм каждый сустав. Это также необходимо учитывать полный движения манипулятора и портативный объекта в пространстве. С полным растяжением руки-манипулятора (рис. 4.2) в конце сжатия достигает 70 см. как уже было сказано, это постоянная опасной зоны для людей.

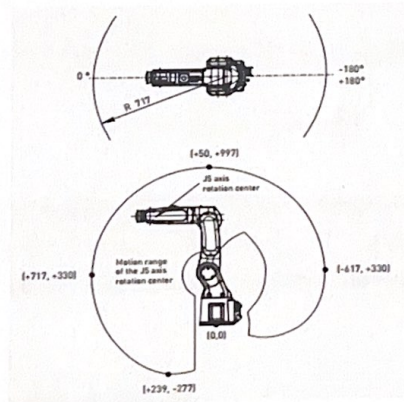


Рисунок 4.2 – Зона работы манипулятора

К ограждаемой опасной зоне помимо самого манипулятора можно отнести и конвейеры, специальные тары, в которые и происходит транспортировка объектов.

Для расчета границы опасных зон для работ, выполняемых на высоте применяют формулу:

$$L = 0.3H, \quad (4.4.1)$$

где L - безопасное расстояние под переносимым объектом;
 H - высота, на которой выполняют работу.

В характеристиках манипулятора указано, что максимальная рабочая высота составляет 50см. В итоге безопасное расстояние:

$$L = 0.3 * 0,5 = 15(\text{см}).$$

Это расстояние и является переменной опасной зоной, для расчета которой необходимо найти границу на максимальном расстоянии:

$$R_{\max} = 70 + 15 = 85(\text{см}).$$

где $R_{\max}$ это максимальный радиус опасной зоны манипулятора.

Площадь опасной зоны рассчитывается по формуле:

$$S = 4R_{\max}, \quad (4.4.2)$$

В результате площадь опасной зоны для манипуляторов равна:

$$S = 4 * 0.85 = 3.4(\text{м}^2).$$

В качестве ограждения и предупреждения об опасной зоне используется наклеенная на пол красная лента толщиной не менее 10 см, а также проблесковый маячок, предупреждающий о работе манипулятора.

4.5 Экономический расчет

В связи с темой дипломной работы в качестве научно-исследовательской работы был разработан манипулятор на платформе основанной на ровере с шести колесной базой с полуавтономным управлением, который способен перемещать небольшие объекты в пространстве.

Основным требованием для заказчика является производительность и способность робота выполнения задач быстро и эффективно, а так же высокая отказоустойчивость приобретаемых станков, роботов-манипуляторов. С помощью разработанным решениям, которые способны гарантировать

хорошую надежность в эксплуатации и использовании, промышленные роботы будут способны полностью соответствовать этим требованиям. Их можно будет использовать в эксплуатации на протяжении пяти-десяти лет.

Таблица 4.5 – Экономический расчет проекта на март 2023 года

Название	Цена минимальная	Цена средняя	Цена максимальная
Плата Arduino Uno	9600тг	10800тг	12000тг
Литий-полимерный аккумулятор LION POWER 4S 14,8 в 5200 мАч 30с T Plug/XT60 Plug	10 791,72тг	17000тг	26000тг
DC-DC понижающий преобразователь 9А, 300W, 5-40V	1500тг	2840тг	3124тг
Bluetooth-модуль HC-05	3100тг	3600тг	4200тг
Коннектор XT60 (папа)	250тг	380тг	500тг
Двигатель 6V DC 1:120 двухосный с редуктором (X6)	6000тг	7000тг	8000тг
Драйвер двигателей на L298N	1000тг	1240тг	1500тг
Sensor Shield V5.0, Плата для подключить внешних устройств к Arduino UNO	2450тг	2 950 тг	3175тг
ESP32-CAM	4000тг	5000тг	6000тг
Сервопривод TowerPro MG996R(x6)	8202тг(1367тг 1ед)	15000тг (2500тг 1ед)	23166тг (3861тг 1ед)
Общая стоимость	46894тг	65810тг	87665тг

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате дипломного проекта был получен опыт в конструировании и исследовании движений, а также реализаций необходимых операций, таких как подъем и перемещение объектов в пространстве, изучены способы полуавтоматического управления манипулятором.

Сконструирован опытный образец манипулятора на колесной базе с полуавтономным управлением, который имеет меньшие габариты по сравнению с промышленными и его точность predetermined конструкцией. Также он имеет достаточную малую цену, что весьма актуально для индивидуальных пользователей.

Промышленные манипуляторы как правило очень точны и способны выполнять сложные функции, следовательно, рост производств-потребителей с каждым днем увеличивается. В связи с этим все больше требуются специалисты, имеющие опыт в робототехнике и электронике.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Y. Ueyama, T. Sago, T. Kurihara and M. Harada, "An Inexpensive Autonomous Mobile Robot for Undergraduate Education: Integration of Arduino and Hokuyo Laser Range Finders", in IEEE Access, vol. 10, pp. 79029-79040, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3194162.

[2] M. A. K. Niloy et al., "Critical Design and Control Issues of Indoor Autonomous Mobile Robots: A Review," in IEEE Access, vol. 9, pp. 35338-35370, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3062557.

[3] Z. Lu, M. Lin, S. Wang, Y. Zhang and Y. Yu, «Research on a New-Style Under-Actuated Omnidirectional Mobile Robot Based on Special Coupling Drive System», in IEEE Access, vol. 7, pp. 152138-152148, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2948378.

[4] F. Zaccaria, A. Baldassarri, G. Palli and M. Carricato, "A Mobile Robotized System for Depalletizing Applications: Design and Experimentation", in IEEE Access, vol. 9, pp. 96682-96691, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3092580.

[5] Dobot Robot Arm become a 3D printer //Instructables. URL: <http://www.instructables.com/id/Dobot-Robotic-Arm-become-a-3D-printer-with-a-bowde/> (дата обращения 21.03.2016)

[6] UltraFire BRC 18650 7V 3000mah Li-ion //Mysku. URL: <http://mysku.ru/blog/buyincoins/16604.html> (дата обращения 5.04.2016).

[7] C. Luo, K. Wang, G. Li, S. Yin, L. Yu and E. Yang, "Development of Active Soft Robotic Manipulators for Stable Grasping In Slippery Conditions", in IEEE Access, vol. 7, pp. 97604-97613, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2927354.

[8] W. Widhiada, I. G. N. Santhiarsa, and C. G. I. Partha, «Design of Motion Control for Mobile Robot Manipulator», International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research, Vol. 9, No. 11, pp. 1509-1514, November 2020. DOI: 10.18178/ijmerr.9.11.1509-1514

[9] J. Liao, Z. Chen and B. Yao, "Performance-Oriented Coordinated Adaptive Robust Control for Four-Wheel Independent Driven Skid Steer Mobile Robot", in IEEE Access, vol. 5, pp. 19048-19057, 2017, doi: 10.1109/ACCESS.2017.2754647.

[10] M. A. Al Mamun, M. T. Nasir and A. Khayyat, "Embedded System for Motion Control of an Omnidirectional Mobile Robot", in IEEE Access, vol. 6, pp. 6722-6739, 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2794441.

[11] Белов А.В. Разработка устройств на микроконтроллерах AVR. – М.: Наука и Техника, 2012. – 530 с.

[12] Build an Arduino Gripper Robot With a DynamixShield //Instructables. URL: <http://www.instructables.com/id/Build-an-Arduino-Gripper-Robot-With-a-DynamixShiel/> (дата обращения 21.03.2016)

[13] Y. Maddahi and K. Zareinia, "Nonparametric Bootstrap Technique to Improve Positional Accuracy in Mobile Robots With Differential Drive Mechanism", in *IEEE Access*, vol. 8, pp. 158502-158511, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3020864.

[14] O. Ruiz-Celada, P. Verma, M. Diab and J. Rosell, "Automating Adaptive Execution Behaviors for Robot Manipulation", in *IEEE Access*, vol. 10, pp. 123489-123497, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3223995.

[15] Блум Дж. Изучаем Arduino: инструменты и методы технического волшебства. 2-е изд.: пер. с англ. 2-е изд.: пер. с англ. — БХВ-Петербург, 2021—544 с. — ISBN 978-5-9775-6735-0

[16] Arduino Mega 2560//Официальный сайт продукции Arduino. URL: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560> (дата обращения 2.05.16).

[17] Solidworks tutorials//Официальный сайт компании Solidworks. URL: <https://www.solidworks.com/sw/resources/solidworks-tutorials.htm> (дата обращения 15.04.16).

[18] Arduino IDE//Официальный сайт Arduino. URL: <https://www.arduino.cc/> (дата обращения 02.05.16)

[19] Лобачев А.И. Безопасность жизнедеятельности. 2-е изд., испр. и доп. - М.: 2008. - 367 с

[20] Pocket Sized Robot Arm MeArm //Instructables. URL: <http://www.instructables.com/id/Pocket-Sized-Robot-Arm-meArm-V04/> (дата обращения 21.03.2016)

[21] Борисов О.И., Громов В.С., Пыркин А.А. Методы управления робототехническими приложениями. 2016. С. 13-15.

[22] Nadezhina1 S. E., Kapister1 M. A., Kovyrshin1 S.V., Kruglov S.P.. Kinematic model of the dobot magician robotic arm [Research of adaptive control system of crane systems on the model of the overhead crane]. *Molodaya nauka Sibiri: ehlektronnyj nauchnyj zhurnal* [Young science of Siberia: electronic scientific journal], 2021, no.1 . [Accessed 07.06.21]

[23] J. Tao, F. Yang, Z. Deng and H. Fang, "Kinematic modeling of a six-wheeled robotic rover with a passive/active suspension," 2011 9th World Congress on Intelligent Control and Automation, Taipei, Taiwan, 2011, pp. 898-903, doi: 10.1109/WCICA.2011.5970646.

Приложение А

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ

РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН



СВИДЕТЕЛЬСТВО
О ВНЕСЕНИИ СВЕДЕНИЙ В ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РЕЕСТР
ПРАВ НА ОБЪЕКТЫ, ОХРАНЯЕМЫЕ АВТОРСКИМ ПРАВОМ

№ 35200 от «27» апреля 2023 года

Фамилия, имя, отчество, (если оно указано в документе, удостоверяющем личность) автора (ав):
БАЛБАЕВ ГАНИ КУДАЙБЕРГЕНОВИЧ, Асемханова Камилла Сенткылы, Фатылова Алина Ринатовна

Вид объекта авторского права: произведение литературы

Название объекта: МАНИПУЛЯТОР НА ШЕСТИКОЛЕСНОМ ПОДВИЖНОМ ШАССИ

Дата создания объекта: 25.04.2023





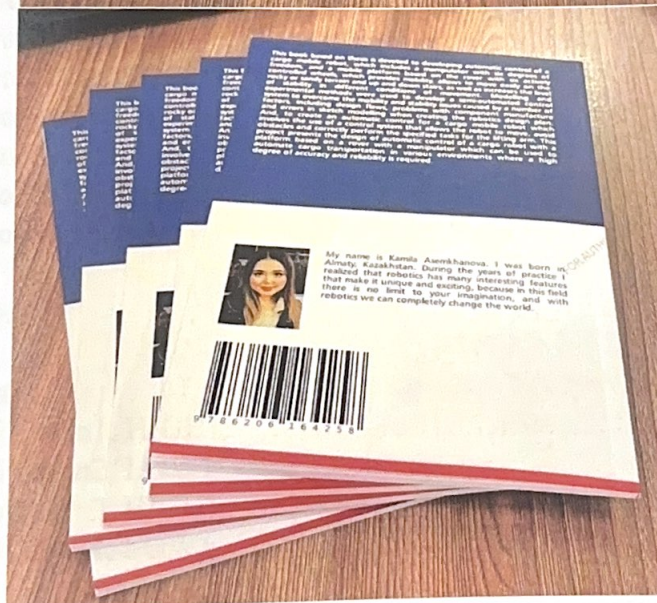
Адрес электронной почты: info@kazpatent.kz, сайт интернет-портала: <http://kazpatent.kz>
Подлинность документа возможно проверить на сайте kazpatent.kz в разделе «Авторское право» <http://copyright.kazpatent.kz>

Подписано ЭЦП

Е. Оспанов

Приложение Б

http://www.morebooks.shop/bookprice_offer_9b25d5fd3a81665007460451fe3569a1b99b62fd?locale=gb¤cy=EUR



Приложение В

```
//4 схват
//3 поворот схвата
//2 подъем схвата
//5 подъем звена
//7 подъем звена
//6 главный
#include <Servo.h>
int pos = 70;
int pos1 = 0;
int pos3 = 0;
int pos2 = 0;
int pos4 = 90;
Servo myservo1;
Servo myservo2;
Servo myservo3;
Servo myservo4;
Servo myservo5;
Servo myservo6;
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  myservo1.attach(6);
  myservo2.attach(7);
  myservo3.attach(5);
  myservo4.attach(2);
  myservo5.attach(3);
  myservo6.attach(4);
  //
  homepos();
}
void alga() {
  digitalWrite(in1, HIGH);
  digitalWrite(in2, LOW);
  digitalWrite(in3, HIGH);
  digitalWrite(in4, LOW);
}
void artka() {
  digitalWrite(in1, LOW);
  digitalWrite(in2, HIGH);
  digitalWrite(in3, LOW);
  digitalWrite(in4, HIGH);
}
```


Приложение В.2

```
}  
void onga(){  
  digitalWrite(in1, LOW);  
  digitalWrite(in2, HIGH);  
  digitalWrite(in3, HIGH);  
  digitalWrite(in4, LOW);  
}  
void solga(){  
  digitalWrite(in1, HIGH);  
  digitalWrite(in2, LOW);  
  digitalWrite(in3, LOW);  
  digitalWrite(in4, HIGH);  
}  
void stopp(){  
  digitalWrite(in1, LOW);  
  digitalWrite(in2, LOW);  
  digitalWrite(in3, LOW);  
  digitalWrite(in4, LOW);  
}  
void alu(){  
  for (pos1; pos1 <= 45; pos1 += 1) { // goes from 0 degrees to 180 degrees  
    myservo4.write(pos1); // tell servo to go to position in variable 'pos'  
    delay(15); // waits 15 ms for the servo to reach the position  
  }  
  for (pos3; pos3 <= 90; pos3 += 1) { // goes from 0 degrees to 180 degrees  
    myservo5.write(90); // tell servo to go to position in variable 'pos'  
    delay(15); // waits 15 ms for the servo to reach the position  
  }  
  for (pos; pos <= 160; pos += 1) { // goes from 0 degrees to 180 degrees  
    myservo2.write(pos); // tell servo to go to position in variable 'pos'  
    delay(15); // waits 15 ms for the servo to reach the position  
  }  
  for (pos2; pos2 <= 80; pos2 += 1) { // goes from 0 degrees to 180 degrees  
    myservo6.write(pos2); // tell servo to go to position in variable 'pos'  
    delay(15); // waits 15 ms for the servo to reach the position  
  }  
  for (pos; pos >= 70; pos -= 1) { // goes from 0 degrees to 180 degrees  
    myservo2.write(pos); // tell servo to go to position in variable 'pos'  
    delay(15); // waits 15 ms for the servo to reach the position  
  }  
}
```

Приложение В.2

```
for (pos4; pos4 >= 0; pos4 -= 1) { // goes from 0 degrees to 180 degrees
  myservo1.write(pos4); // tell servo to go to position in variable 'pos'
  delay(15); // waits 15 ms for the servo to reach the position
}

for (pos1; pos1 <= 180; pos1 += 1) { // goes from 0 degrees to 180 degrees
  myservo4.write(pos1); // tell servo to go to position in variable 'pos'
  delay(15); // waits 15 ms for the servo to reach the position
}

for (pos2; pos2 >= 0; pos2 -= 1) { // goes from 0 degrees to 180 degrees
  myservo6.write(pos2); // tell servo to go to position in variable 'pos'
  delay(15); // waits 15 ms for the servo to reach the position
}

void homepos() {
  myservo1.write(90);
  delay(200);
  myservo2.write(100);
  delay(200);
  myservo4.write(0);
  delay(200);
  myservo5.write(0);
  delay(200);
  myservo6.write(0);
}

void sxvat() {
  for (pos2; pos2 >= 0; pos2 -= 1) { // goes from 0 degrees to 180 degrees
    myservo6.write(pos2); // tell servo to go to position in variable 'pos'
    delay(15); }
  for (pos2; pos2 <= 180; pos2 += 1) { // goes from 0 degrees to 180 degrees
    myservo6.write(pos2); // tell servo to go to position in variable 'pos'
    delay(15); }
  delay(2000);
}

void loop() {
  if (Serial.available() > 0) {
    char command = Serial.read();
    Serial.println(command);

    if (command == '1') {
```


Приложение В.3

```
homepos();  
}  
  
else if (command == '2') {  
    alu();  
}  
  
else if (command == '3') {  
    alga();  
}  
  
else if (command == '4') {  
    artka();  
}  
  
else if (command == '5') {  
    onga();  
}  
  
else if (command == '6') {  
    solga();  
}  
  
else if (command == '7') {  
    stopp();  
}  
  
else if (command == '8') {  
    cam();  
}  
  
else {}  
}  
else {}  
/*  
artka();
```