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

Институт Кибернетики
Направление подготовки 15.04.06 Мехатроника и робототехника
Кафедра Систем управления и мехатроники

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Система управления манипуляторами подводного робота “Odyssey”

УДК 621.865.8

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЕМ51	Булуев Илья Иванович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор каф. СУМ	Гончаров Валерий Иванович	д.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент каф. Менедж-мента ИСГТ	Конотопский В.Ю.	к.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент каф. ЭБЖ	Пустовойтова М.И.	к.х.н., доцент		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
СУМ	Губин Владимир Евгеньевич	к.т.н., доцент		

Томск – 2017 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ПРОГРАММЕ

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
	Профессиональные	
Р1	Применять глубокие естественно-научные, математические знания в области анализа, синтеза и проектирования для решения научных и инженерных задач производства и эксплуатации мехатронных и робототехнических устройств и систем, в том числе их систем управления.	Требования ФГОС (ПК-1, ПК-3, ОПК-1, ОПК-4, ОК-1, ОК-9), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов *EUR-ACE* и *FEANI*
Р2	Воспринимать, обрабатывать, анализировать и обобщать научно-техническую информацию, передовой отечественный и зарубежный опыт в области теории, проектирования, производства и эксплуатации мехатронных и робототехнических устройств и систем, принимать участие в командах по разработке и эксплуатации таких устройств и систем.	Требования ФГОС (ПК-3, ПК-4, ПК-7, ОПК-1, ОПК-3, ОК-1, ОК-4, ОК-5, ОК-6, ОК-9), Критерий 5 АИОР (пп. 1.1, 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов *EUR-ACE* и *FEANI*
Р3	Применять и интегрировать полученные знания для решения инженерных задач при разработке, производстве и эксплуатации современных мехатронных и робототехнических устройств и систем (в том числе интеллектуальных) с использованием технологий мирового уровня, современных инструментальных и программных средств.	Требования ФГОС (ПК-2, ПК-3, ПК-4, ПК-5, ПК-15, ПК-18, ОПК-3, ОПК-6, ОК-1, ОК-5, ОК-6, ОК-7), Критерий 5 АИОР (пп. 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов *EUR-ACE* и *FEANI*
Р4	Определять, систематизировать и получать необходимую информацию в области проектирования, производства, исследований и эксплуатации мехатронных и робототехнических модулей, устройств и систем.	Требования ФГОС (ПК-7, ПК-10, ПК-11, ПК-12, ПК-18, ОПК-4, ОПК-6, ОК-1, ОК-4, ОК-6, ОК-8), Критерий 5 АИОР (п. 1.3), согласованный

		с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
Р5	Планировать и проводить аналитические, имитационные и экспериментальные исследования для целей проектирования, производства и эксплуатации мехатронных и робототехнических средств и систем (в том числе интеллектуальных) с использованием передового отечественного и зарубежного опыта, уметь критически оценивать полученные теоретические и экспериментальные данные и делать выводы.	Требования ФГОС (ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-4, ПК-5, ПК-6, ПК-13, ПК-17, ПК-18, ОПК-2, ОПК-3, ОК-1, ОК-3, ОК-4, ОК-6, ОК-7, ОК-8, ОК-9), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
Р6	Понимать используемые современные методы, алгоритмы, модели и технические решения в мехатронике и робототехнике и знать области их применения, в том числе в автоматизированных производствах.	Требования ФГОС (ПК-1, ПК-2 ПК-3, ПК-7, ОПК-1, ОПК-3, ОПК-4, ОК-5, ОК-9, ОК-10), Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
Универсальные		
Р7	Эффективно работать в профессиональной деятельности индивидуально и в качестве члена команды	Требования ФГОС (ПК-1, ПК-2 ПК-7, ПК-8, ПК-16, ПК-17, ОК-1, ОК-2, ОК-4, ОК-6, ОК-9), Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов *EUR-ACE* и *FEANI*
Р8	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде с пониманием культурных, языковых и социально-экономических различий	Требования ФГОС (ПК-4, ПК-8, ПК-9, ПК-16, ОПК-4, ОК-5), Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов *EUR-ACE* и *FEANI*
Р9	Проявлять широкую эрудицию, в том числе знание и понимание современных общественных и политических проблем, демонстрировать понимание вопросов	Требования ФГОС (ПК-5, ПК-8, ПК-15, ПК-16, ПК-18, ОПК-1, ОПК-4, ОПК-5, ОК-3, ОК-4, ОК-5, ОК-6, ОК-8, ОК-9),

	безопасности и охраны здоровья сотрудников, юридических аспектов, ответственности за инженерную деятельность, влияния инженерных решений на социальный контекст и окружающую среду	Критерий 5 АИОР (пп. 1.6, 2.3,), согласованный с требованиями международных стандартов *EUR-ACE* и *FEAN*
Р10	Следовать кодексу профессиональной этики и ответственности и международным нормам инженерной деятельности	Требования ФГОС (ПК-8, ПК-11, ПК-16, ОПК-3, ОПК-6, ОК-4), Критерий 5 АИОР (пп. 2.4, 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов *EUR-ACE* и *FEANI*
Р11	Понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ПК-4, ПК-8, ОПК-3, ОПК-4, ОК-5, ОК-6, ОК-7, ОК-8), Критерий 5 АИОР (2.6), согласованный с требованиями международных стандартов *EUR-ACE* и *FEANI.*

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

Институт Кибернетики
Направление подготовки (специальность) 15.04.06 Мехатроника и робототехника
Кафедра Систем управления и мехатроники

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой
_____ _____ Губин В.Е.
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	**ФИО**
8ЕМ51	Булуеву Илье Ивановичу

Тема работы:

Система управления манипуляторами подводного робота “Odyssey”	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№1399/с от 28.02.2017 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:	05.06.2017 г.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе *(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).*	Исходными данными являются: 1) техническое задание на разработку системы управления подводным аппаратом, являющегося платформой для установки дополнительного оборудования; 2) математическая модель системы управления глубиной погружения аппарата; 3) прототип телеуправляемого необитаемого подводного аппарата «Odyssey»; 4) структурная, функциональная и принципиальная система управления подводным аппаратом «Odyssey».

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов *(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).*	1) Анализ существующих проблем использования и проектирования манипуляционных систем для подводных аппаратов. 2) Разработка всех типов схем системы – структурной, функциональной и принципиальной – телеуправляемого подводного аппарата. 3) Разработка программного обеспечения для системы управления. 4) Разработка алгоритмов работы манипуляционной системы в ручном и автоматических режимах. 5) Произвести выбор необходимых элементов проектируемой системы 5) Разработка структуры системы управления манипуляторами телеуправляемого необитаемого подводного аппарата.
Перечень графического материала *(с точным указанием обязательных чертежей)*	1) Структурная схема манипулятора с захватом; 2) Функциональная схема манипулятора с захватом; 3) Принципиальная электрическая и механическая схемы манипулятора с захватом; 4) Математическая модель в программном пакете Matlab, смоделированная с использованием библиотеки SimMechanics; 5) 3D-модель манипулятора с захватом с проведенным моделированием на сопротивление воды при работе робота под водой. 6) Мультимедийная презентация в формате .pptx в размере 15 слайдов.

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Социальная ответственность	Пустовойтова Марина Игоревна
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Конотопский Владимир Юрьевич

Раздел на иностранном языке	Бутакова Татьяна Ивановна

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	01.10.2016 г.

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор каф. СУМ	Гончаров Валерий Иванович	д.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЕМ51	Булуев Илья Иванович		

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

Институт кибернетики
Направление подготовки 15.04.06 Мехатроника и робототехника
Кафедра систем управления и мехатроники
Уровень образования – магистр
Период выполнения – осенний/весенний семестр 2016/2017 учебного года

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	05.06.2017 г.

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
20.05.2017 г.	Основная часть	60
25.05.2017 г.	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
25.05.2017 г.	Раздел на иностранном языке	15
01.06.2017 г.	Социальная ответственность	10

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Учёная степень, звание	Подпись	Дата
Профессор каф. СУМ	Гончаров В.И.	д.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Зав. кафедрой	ФИО	Учёная степень, звание	Подпись	Дата
СУМ	Губин В.Е.	к.т.н., доцент		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 105 с., 31 рис., 22 табл., 46 источников, 7 прил.

Ключевые слова: МАНИПУЛЯТОР, СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ, ПОДВОДНЫЙ АППАРАТ, АВТОМАТИЗАЦИЯ, ТНПА, RASPBERRY PI II, ATMEGA.

Объектом исследования является манипуляционная система, которая предназначена для комплектации подводного аппарата «Odyssey» для транспортировки объемных грузов, проведения мелких и сопроводительных ремонтных работ под водой.

Цель работы – разработка и исследование модели системы управления манипуляторами подводного робота “Odyssey”, изготовление макета манипулятора.

В процессе исследования произведён аналитический обзор по теме, изучены существующие российские и зарубежные технические решения, спроектирована система управления манипуляторами подводного аппарата. Для конечного продукта разработан алгоритм и написано программное обеспечение на языке С++.

Результаты исследований позволят использовать собственную систему манипулирования, установленную на аппарате. Появится возможность производить дальнейшую работу в данном направлении на базе лаборатории «Телекоммуникации, приборостроения и морской геологии ТПУ». Все разрабатываемые системы могут послужить стендовыми прототипами для выполнения лабораторных работ студентами младших курсов.

Областями применения проектируемой системы в составе комплекса подводного аппарата являются: экология, в том числе исследование дна водоемов, обнаружение и подъем объектов и их последующая транспортировка; энергетика - обследование подводных сооружений, в том числе трубопроводов, прокладка и ревизия силовых и информационных кабелей; картография - картография рельефа дна водоемов); геология - геология месторождений полезных ископаемых, в т.ч. нефти и газа.

В будущем планируется доработать манипуляционную систему, произвести эксперименты на реальном образце, использовать готовое устройство в качестве лабораторного стенда. В рамках работы над проектом по программе «УМНИК-НТИ» планируется подать патент "Способ захвата и удержания объектов с сохранением стабилизации подводного робота" во втором квартале 2018 года.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

В работе используются следующие обозначения и сокращения:

АНПА – автономный необитаемый подводный аппарат;

ТНПА – телеуправляемый необитаемый подводный аппарат;

СУ – система управления;

ПО – программное обеспечение;

АЦП – аналого-цифровой преобразователь;

МК – микроконтроллер;

СП – сервопривод;

СУМ – система управления манипуляторами;

ШД – шаговый двигатель;

НР – научный руководитель;

С – студент.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ НА ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МАНИПУЛЯТОРАМИ ПОДВОДНОГО РОБОТА

Назначение системы: управление процессом транспортировки грузов посредством манипуляторов подводного робота.

Цель создания системы управления: автоматизация процесса захвата и последующей транспортировки груза под водой посредством манипуляторов, установленных на подводном роботе.

Примечание: габариты транспортируемых грузов:

1) (ДхШхВ): max: 650x450x150 mm, min: 150x45x45 mm.

2) Масса захватываемого и транспортируемого груза:

для одного манипулятора, max: 3,5 кг;

для системы манипуляторов, max: 10 кг.

Объект управления – трехзвенный манипулятор со схватом (двигатели манипулятора).

Задачи системы управления:

1) расчет и построение траектории движения в соответствии с заданными параметрами манипулятора;

2) считывание и обработка сигналов об углах поворота валов двигателей относительно их уставки. Произведение перерасчета углов в пространственные координаты;

3) подача сигналов управления на двигатели манипулятора для его движения по оптимальной траектории.

Параметры, по которым будет происходить проверка корректной работы СУ:

1) точность позиционирования одного манипулятора: ± 5 мм;

2) скорость перемещения одного звена: max: 0.09 m/s, min: 0.04 m/s;

3) угловая скорость перемещения манипулятора: max: 3.5 rad/s, min: 0.14 rad/s;

4) сила сжатия схвата для удержания груза: 20 Н.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ НА ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МАНИПУЛЯТОРАМИ ПОДВОДНОГО РОБОТА 11
ВВЕДЕНИЕ 14
1. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР 16
2. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МАНИПУЛЯТОРАМИ ПОДВОДНОГО АППАРАТА 21
2.1 Разработка структурной схемы проектируемой системы 21
2.2 Разработка функциональной схемы проектируемой системы 22
2.3 Выбор и обоснование элементов системы 25
2.4 Диаграммы работы шагового двигателя 35
2.5 Алгоритм работы системы манипуляторов 36
2.5.1 Алгоритм работы микроконтроллера Atmega 8A 36
2.5.2 Алгоритм работы системы управления манипулятором 38
2.5.3 Алгоритм работы системы управления манипуляторами 43
2.6 Конструкторская документация 43
3. РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА МАНИПУЛЯТОРА ПОДВОДНОГО АППАРАТА ODYSSEY 44
3.1 Описание проектируемого манипулятора 44
3.2 Характеристики и особенности проектируемого манипулятора 45
3.3 Сборка манипулятора 46
3.4 Программное обеспечение для манипулятора 51
3.5 Конструкторская документация 55
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И рЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ» 56
4.1 Организация и планирование работ 57
4.1.1 Продолжительность этапов работ 59
4.1.2 Расчет накопления готовности проекта 64
4.2 Расчет сметы затрат на выполнение проекта 65
4.2.1 Расчет затрат на материалы и покупные изделия 65
4.2.2 Расчет заработной платы 67
4.2.3 Расчет затрат на электроэнергию 68
4.2.4 Расчет затрат на социальный налог 69
4.2.5 Расчет амортизационных расходов 69

4.2.6 Расчет прочих (накладных) расходов 70
4.2.7 Расчет общей себестоимости разработки 70
4.2.8 Расчет прибыли, НДС и цены разработки НИР 71
4.3 Оценка экономической эффективности проекта 71
4.3.1 Оценка научно-технического уровня НИР 73
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ» 75
Введение 77
5.1 Производственная безопасность 78
5.1.1 Освещённость рабочей зоны 78
5.1.2 Уровень шума 80
5.1.3 Уровень электромагнитных излучений; напряжённость электрического поля 82
5.1.4 Параметры микроклимата 83
5.1.5 Вредные вещества, проникающие в организм человека через органы дыхания 84
5.1.6 Электрический ток (источник: ПК) 85
5.1.7 Термическая опасность (источником является паяльная станция) 86
5.2 Экологическая безопасность 87
5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях 88
5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности 91
5.4.1 Правовые нормы трудового законодательства 91
5.4.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны 92
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 95
СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СТУДЕНТА 97
Список использованных источников 101
Приложение А 106
Приложение Б 124
Приложение В 129
Приложение Г 131
Приложение Д 135
Приложение Е 139
Приложение Ж 143

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время для исследования и освоения Мирового океана активно используются подводные роботы, оснащенные манипуляторами. С их помощью удается выполнять многие сложные технологические операции на разных глубинах погружения. Сейчас наблюдается непрерывное расширение областей применения подводных робототехнических систем за счет выполнения ими новых видов работ. Качественное выполнение подводных манипуляционных операций требует создания принципиально новых систем управления не только подводными аппаратами, но и манипуляторами как их составными частями. В связи с этим, перед многими ведущими мировыми научно-исследовательскими центрами стоит задача разработки систем управления манипуляторами, в том числе универсальных, ориентированных на определенные классы подводных роботов.

Совершение манипуляционных операций, выполняемых подводным роботом необходимо не только для того, чтобы производить захват грузов с морского дна, но и для выполнения ряда ремонтных работ. Как пример, это сварка подводных трубопроводов, перекрытие задвижек, в случае отказа оборудования и т.п. Стоит сказать о том, что человечество заложило на дно мирового океана огромное количество трубопроводов, среди которых по своей протяженности и разветвленности можно выделить подводные трубопроводные системы, находящиеся на дне Северного моря, Балтике и др. По международным правилам проводить инспекцию таких подводных объектов требуется минимум 2 раза в год. Проблема заключается в том, что на морском дне мощные подводные течения, грунт, на который кладут трубу, со временем вымывается, образуя провисы. Трубы начинают провисать, подвергаясь поперечному давлению столба жидкости. [1]

Цель данной работы состоит в разработке манипуляционной системы для телеуправляемого подводного аппарата. Объектами исследования являются

сам манипулятор и система взаимодействия между манипуляторами. Проектируемая манипуляционная система предназначена для захвата габаритных объектов и их последующей транспортировке под водой, а также сопровождении ремонтных работ водолазов на подводных трубопроводах.

В ходе выполнения работы были разработаны основные типы схем (структурная, функциональная, электрическая принципиальная), алгоритмы работы СУМ с пояснениями, программный код для работы одного манипулятора. В ходе работы, для демонстрации будущего устройства, был изготовлен прототип трехзвенного манипулятора, который в полной мере соответствует работе реального. Показаны программные решения для трех различных режимов работы манипулятора и его управления. Благодаря алгоритмам работы СУМ появляется возможность производить захват и транспортировку грузов аппаратом без привлечения человека – по команде с операторского пульта. На основе спроектированного и собранного манипулятора произведены выводы и начата подготовка конструкторской документации для манипуляционной системы.

Научная новизна работы заключается в самой концепции СУМ и алгоритмах, имеющих двухуровневую систему, а также применении уже существующих методик для решения поставленных задач.

Результаты работы представлены на всероссийских и международных конференциях и изложены в публикациях в изданиях, индексируемых РИНЦ. Также готовится к подаче патент на тему «Способ захвата и удержания объектов с сохранением стабилизации подводного робота» в рамках общего проекта по созданию подводного аппарата Odyssey.

1. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР

Манипулятор подводного аппарата – механическая система с гидравлическим или электрическим приводом, позволяющая оператору, находящемуся в прочном корпусе обитаемого подводного аппарата или на судне-носителе, производить с помощью исполнительных устройств этой системы различные работы с объектами, находящимися в воде. Манипулятор подводного аппарата состоит из органов управления (задающих органов), располагаемых на рабочем месте оператора, исполнительных устройств, находящихся в воде вне прочного корпуса подводного аппарата или на необитаемом привязном аппарате, и системы управления. Исполнительные устройства представляют собой многозвенный пространственный механизм со встроенными элементами гидравлической или электрической системы, с помощью которой манипулятор приводится в движение. Конструктивное исполнение их различно, но кинематика схем, как правило, близка к кинематике руки человека. Они имеют звенья, называемые "плечом", "предплечьем" и "кистью", а также "плечевой", "локтевой" и "кистевой" шарниры и заканчиваются схватом – плоскопараллельным захватом с 2 губками. Часто исполнительные устройства манипулятора называют "руками" ввиду их функционального и кинематического сходства. Манипулятор может иметь 1 или 2 руки, которые обеспечивают возвратно-поступательное и вращательное движения в различных плоскостях, захват предметов или инструмента и работу с ними. Органы управления простейших манипуляторов представляют собой небольшой пульт для включения и выключения приводов, обеспечивающий исполнение элементарных раздельных движений звеньев руки (поворот "плеча", сжатие схвата, его вращение и т. д.). В более совершенных манипуляторах управление производится задающими устройствами, выполненными в виде сложной, многозвенной мнемонической рукоятки (или 2 рукояток, если манипулятор имеет 2 руки). В этом случае командой для исполнения является непосредственно поступательное или вращательное движение кисти руки (или рук) оператора вместе с рукояткой, которое копируется исполнительным устройством, т.

е. движение вперед и назад руки оператора приводит к движению вперед и назад "руки" манипулятора, вращательное движение кисти руки оператора вызывает вращение "кисти" манипулятора и т. д. С помощью датчиков, расположенных на схвате, оператор ощущает момент соприкосновения губок схвата с объектом работ, а также изменение силы давления схвата на объект. Оператор обитаемого подводного аппарата ведет наблюдение за работой исполнительных устройств манипулятора через иллюминатор или специальную зрительную трубу, а оператор необитаемого подводного аппарата – с помощью монитора. При этом место и объект работ освещаются забортными светильниками. Многие манипуляторы имеют набор специального дистанционно заменяемого инструмента. Обычно манипулятор обеспечивает работу в радиусе 1-3 м и подъем груза массой до 50-70 кг собственными руками. В аварийных ситуациях манипулятор для обеспечения безопасности отсоединяют от подводного аппарата. [2]

Проблемная область

Мировой опыт применения подводной техники доказывает, что без неё невозможно представить себе развитие нефте- и газодобывающей отрасли в шельфовой зоне, проведение обследовательских работ, осуществление спасательных и поисковых операций, гидрографических и биологических исследований. Так, согласно предварительным расчетам, проведенным британской нефтедобывающей компанией «Shell» [3], использование подводных аппаратов для проведения глубоководных обследований и производственных задач, а именно обследования районов для бурения скважин, маршрутов прокладки трубопроводов, сбора океанографических данных, проб с участков местности, позволит сэкономить до 772 млн долларов в год.

Существующие подводные аппараты, оснащенные многозвенными манипуляторами, необходимы для замены тяжелого и опасного труда водолазов и дайверов. При этом они способны выполнять широкий спектр технологических операций в течение длительного времени на глубинах, недосягаемых для чело-

века, даже в специализированном – водолазном – снаряжении. Во многих российских и зарубежных работах [4-18, 21] отмечается, что оборудованные манипуляторами подводные роботы используются для выполнения ряда задач, среди которых следующие являются наиболее важными:

- в области гидрогеологических, геофизических и гидрохимических исследований выполняется селективный отбор проб грунта и образцов геологических пород; механическое отделение и бурение этих пород из монолитов; сбор отдельных видов биоорганизмов; установка и обслуживание различных приборов; определение состава и плотности грунта с помощью специальных щупов и буров; взятие проб осадков грунтовыми герметично закрывающимися трубками; измерение параметров с помощью термисторных датчиков в различных слоях осадочного грунта;
- подводные аппараты с манипуляторами выполняют технологические подводные операции по очистке дна акваторий от камней и мусора; по установке и снятию гидроакустических маяков; по проведению сварочных работ, закреплению тросов, кабелей и другой аппаратуры на подводных объектах; по прокладке подводных кабелей, монтажу и демонтажу различного подводного оборудования; по осмотру подводных частей судов, гидросооружений и т.д.;
- в области нефте- и газодобычи подводные аппараты, оснащенные манипулятором (-ами) используются для оказания помощи при повторном вводе бура в скважину; взятии проб нефти и газа; монтажа и ремонта гидрокоммуникаций; закручивания вентилей; очистки стальных конструкций от обрастания; резки тросов, кабелей и др. При выполнении аварийно-спасательных операций с помощью манипулятора осуществляется освобождение винто-рулевой группы судов от намотанных сетей и тросов; срезка болтов; открытие люков; резка металлических обшивок и др.
- в военных целях осуществляется постановка и снятие мин; создание проходов в сетевых заграждениях; установка взрывных устройств.

Для качественного выполнения указанных сложных технологических операций, закрепленные на подводном аппарате манипуляторы должны иметь не менее трех степеней подвижности, позволяющих их рабочим инструментам перемещаться с любой пространственной ориентацией в любую точку зоны манипулирования. При этом подводный аппарат и манипулятор должны обладать необходимыми запасами по мощности и грузоподъемности. Более того, системы управления должны иметь в своем составе наличие контура регулирования для стабилизации работы как робота, так и его отдельных систем.

Основными видами работ, для которых предназначена создаваемая манипуляционная система – транспортировка габаритных объектов общей массой до 10 кг и размерами 650х450х150 мм (макс.)/150х45х45 мм (мин.). Также использование данной СУМ предполагается для прокладки кабелей и проведения сопроводительных работ на гидросооружениях.

Исходные данные для работы

1) Окончательный вариант первого прототипа подводного робота представлен на рисунке 1. По решению команды, роботу присвоено название «Odyssey» (перевод с англ. «Одиссея»). Техническое задание на создание аппаратного комплекса (приложение Б).

2) Математическая модель системы управления глубиной погружения. Данная модель является основополагающей для проектирования и учета совместной работы аппарата и его манипуляционной системы (рисунок 2).

3) Базовые компоненты, которые уже учтены при проектировании первого прототипа подводного аппарата (одноплатный компьютер Raspberry Pi II B – в качестве головного управляющего компьютера, микроконтроллеры Atmega 8A – в качестве устройств для приема сигналов головного компьютера и управления положениями двигателей).

Рисунок 1 – Прототип подводного робота «Odyssey»

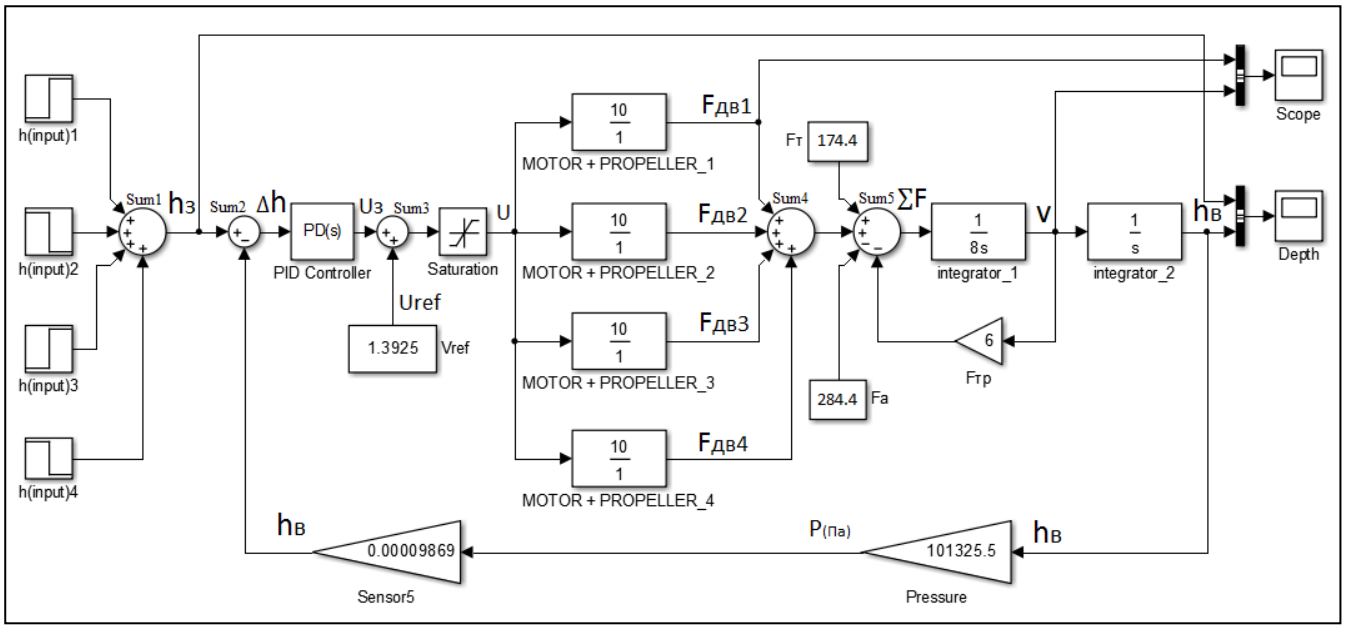


Рисунок 2 – Математическая модель системы управления глубиной погружения робота

Полное описание работы системы погружения, а также особенностей проектирования самого аппарата, описано в работе [19].

2. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МАНИПУЛЯТОРАМИ ПОДВОДНОГО АППАРАТА

2.1 Разработка структурной схемы проектируемой системы

На основании технического задания и обзора решений составим структурную схему разрабатываемой манипуляционной системы. Данная схема должна отражать все взаимосвязи между элементами и на её основе производится последующий выбор элементов, разработка электрической принципиальной схемы.

Структурная схема манипуляционной системы включает в себя следующие блоки, необходимые для функционирования системы: устройство приема и обработки команд в качестве головного компьютера, управляющего аппаратом; устройство передачи команд на исполнительные механизмы (дублирующие устройства передачи сигналов управления для разгрузки операций основного компьютера); исполнительные органы для реализации поставленных задач; устройства считывания (датчики, анализаторы и т.п. для реализации обратной связи). Для обеспечения всех устройств системы электрическим питанием, путем преобразования энергии других источников питания, необходимо использовать источник вторичного электропитания. Общая структура манипуляционной системы представлена на рисунке 3.

Оператор со своего рабочего места задает координаты захватываемого объекта/производит захват объекта самостоятельно (автоматический и ручной режим соответственно). Основной принцип работы СУ для автоматического режима заключается в том, что координаты захватываемого объекта, передаваемые на устройство приема/обработки/передачи информации, пересчитываются в соответствии с поставленным алгоритмом в необходимые сигналы управления, которые транслируются на устройства управления исполнительными органами. Такая организация связи позволяет разгружать канал управления и уменьшать

шину для передачи информации, а также способствует отсутствию возникновения коллизий или помех при работе главного компьютера аппарата. Устройства передачи команд на исполнительные органы необходимы для осуществления связи с исполнительным механизмом по всем каналам связи, а также считывании сигналов о выполнении поставленных задач с датчиков ИО.

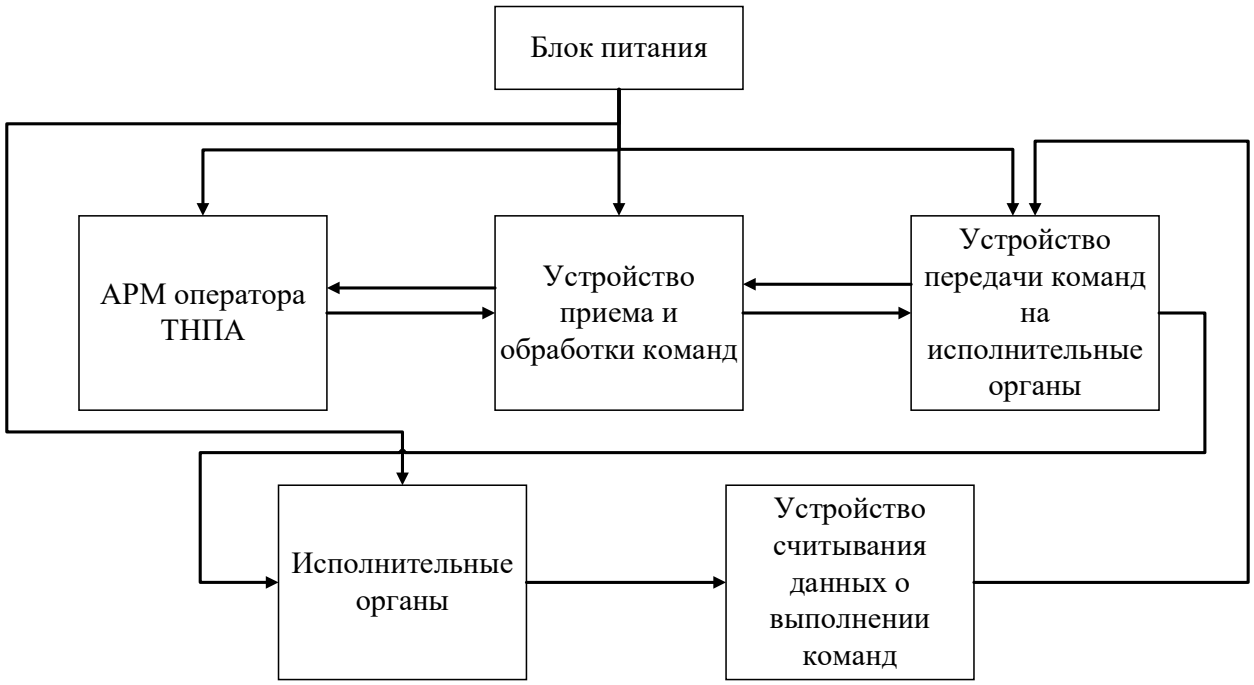


Рисунок 3 – Структурная схема манипуляционной системы

2.2 Разработка функциональной схемы проектируемой системы

Составим функциональную схему разрабатываемой манипуляционной системы. Данная схема является поясняющим материалом отдельных видов процессов, протекающих в цепях устройства.

Функциональная схема, представленная на рисунке 4, отражает работу всей системы управления одним манипулятором. На схеме отмечены типы передаваемых сигналов и количество коммутируемых каналов связи между отдельными блоками устройств.

Управляющим сигналом являются сигналы управления, подаваемые с пульта управления оператора. Основным протоколом передачи данных является протокол I^2C, посредством которого можно организовать шину, имеющую несколько Masters, среди которых можно выбрать ведущего, а также большое количество Slaves в качестве исполнительных механизмов. Более того, преимуществом этого протокола является использование всего лишь 3 информационных линий передачи сигналов. Все расчетные операции производятся на одноплатном компьютере Raspberry Pi II B. Помимо подачи сигналов управления на манипуляционную систему, данный компьютер используется для управления системой видеонаблюдения, приема-передачи видеоизображения на АРМ оператора, а также организации управлением движения подводного аппарата (системы управления движением, погружением и стабилизацией). Микроконтроллеры Atmega 8A используются в качестве устройств, принимающих исходный кодовый сигнал в аналоговой форме и формирующие необходимые импульсы для подачи их на драйверы управления двигателями. Драйверы осуществляют коммутирование обмоток двигателя, в результате чего производится поворот на заданный угол (уставку). В цепи обратной связи имеются датчики положения, фиксирующие изменения положения вала ротора в текущий момент с их предыдущим и выдающими сформированный сигнал рассогласования на МК Atmega 8A для устранения ошибки регулирования. После выполнения задачи с МК приходит сигнал на одноплатный компьютер о выполнении своей поставленной задачи.

Работа протокола I^2C

Передача данных на шине начинаются с сигнала START (ST). Событие START определено как переход линии SDA от состояния HIGH к состоянию LOW (под HIGH и LOW подразумеваются состояния лог. 1 и лог. 0 соответственно), когда SCL находится в HIGH. После того, как START был инициирован мастером шины, шина считается занятой. Следующий байт данных передается после события START, и он содержит адрес подчиненного устройства в первых 7 битах, и 8 бит говорит, будет мастер получать данные от подчиненного

устройства или же данные будут передаваться в подчиненное устройство. Когда адрес передан, то каждое устройство, подключенное к этой шине в системе, сравнивает первые 7 бит после события START со своим собственным адресом. Если адреса совпали, то устройство определяет, что именно с ним будет работать мастер (таким образом, на одной шине I^2C может быть подключено несколько устройств с разным адресом).

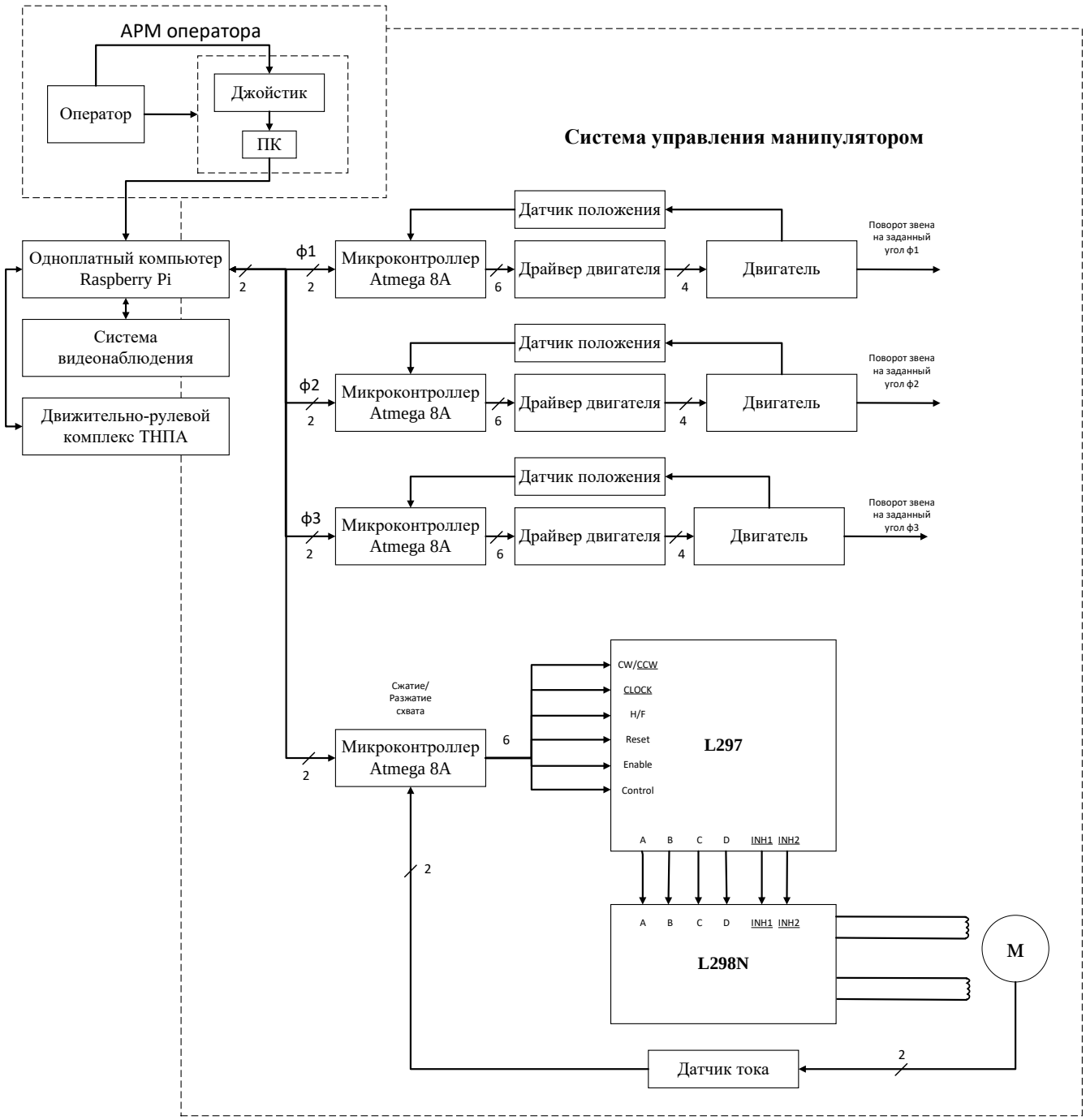


Рисунок 4 – Функциональная схема манипуляционной системы

Адрес подчиненного устройства (slave address, SAD), связанный с L3G4200D, равен 110100xb. Линия SDO может использоваться для того, чтобы задать последний LSB бит (который помечен x) адреса устройства. Если на SDO лог. 1, то бит LSB адреса 1, и адрес будет 1101001b. И наоборот, если на SDO подан лог. 0, то LSB будет равен 0, адрес будет 1101000b. Этот метод позволяет подключить на одну шину I2C два разных гироскопа L3G4200D.

Передача данных по шине I^2C требует обязательного подтверждения (acknowledge). Для этого передатчик должен освободить линию SDA во время импульса acknowledge. Приемник должен перевести SDA в состояние LOW, и удерживать её в таком состоянии по время HIGH состояния импульса такта для бита acknowledge. Приемник, который был адресован, должен обязательно выдавать такое подтверждения после каждого принятого байта данных. [22]

Пример схемотехники с одним главным микроконтроллером (µC Master) и тремя подчинёнными (slave) устройствами (ADC — аналого-цифровой преобразователь, DAC — цифро-аналоговый преобразователь и второй (подчиненный) микроконтроллер (µC Slave)), подтягивающими резисторами Rp (рисунок 5).

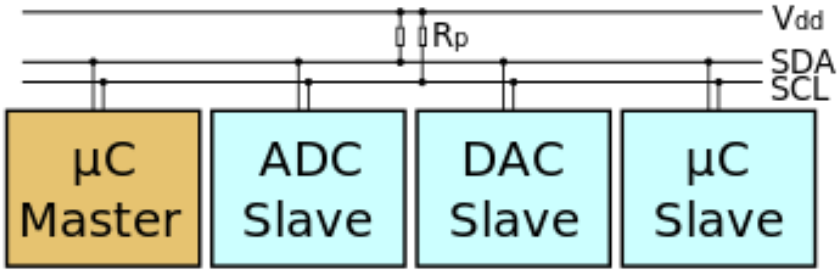


Рисунок 5 – Протокол приема-передачи данных I^2C

2.3 Выбор и обоснование элементов системы

Как было упомянуто ранее в разделе «Исходные данные», в качестве головного компьютера системы выступает одноплатный компьютер Raspberry Pi II B, а в качестве устройств передачи команд на исполнительные органы – микро-

контроллеры Atmega 8A. Стоит отметить, что все управление можно организовать с использованием одного МК и одного драйвера двигателей, но в этом случае повышается уровень отказа работы исполнительного органа в случае выхода из строя МК. Так как необходимо точное позиционирование (в соответствии с техническим заданием ±5 мм), то целесообразно в качестве ИО использовать шаговые двигатели. Для этого типа двигателей используются микросхемы L297 и L298N (L293) в качестве управляющих. Управление данными микросхемами осуществляется лишь заданием тактовой частоты (частота повторения шагов) и статического сигнала для направления движения.

Микросхема L297 сильно разгружает управляющий микроконтроллер, так как от него требуется только тактовая частота CLOCK (частота повторения шагов) и несколько статических сигналов: DIRECTION – направление (сигнал внутренне синхронизирован, переключать можно в любой момент), HALF/FULL – полушаговый/полношаговый режим, RESET – устанавливает фазы в исходное состояние (ABCD = 0101), ENABLE – разрешение работы микросхемы, V ref – опорное напряжение, которое задает пиковую величину тока при ШИМ-регулировании. Кроме того, имеется несколько дополнительных сигналов. Сигнал CONTROL задает режим работы ШИМ-регулятора. При его низком уровне ШИМ-регулирование происходит по выходам INH1, INH2, а при высоком – по выходам ABCD. SYNC – выход внутреннего тактового генератора ШИМ. Он служит для синхронизации работы нескольких микросхем. Также может быть использован как вход при тактировании от внешнего генератора. HOME – сигнал начального положения (ABCD = 0101). Он используется для синхронизации переключения режимов HALF/FULL. В зависимости от момента перехода в полношаговый режим микросхема может работать в режиме с одной включенной фазой или с двумя включенными фазами [23].

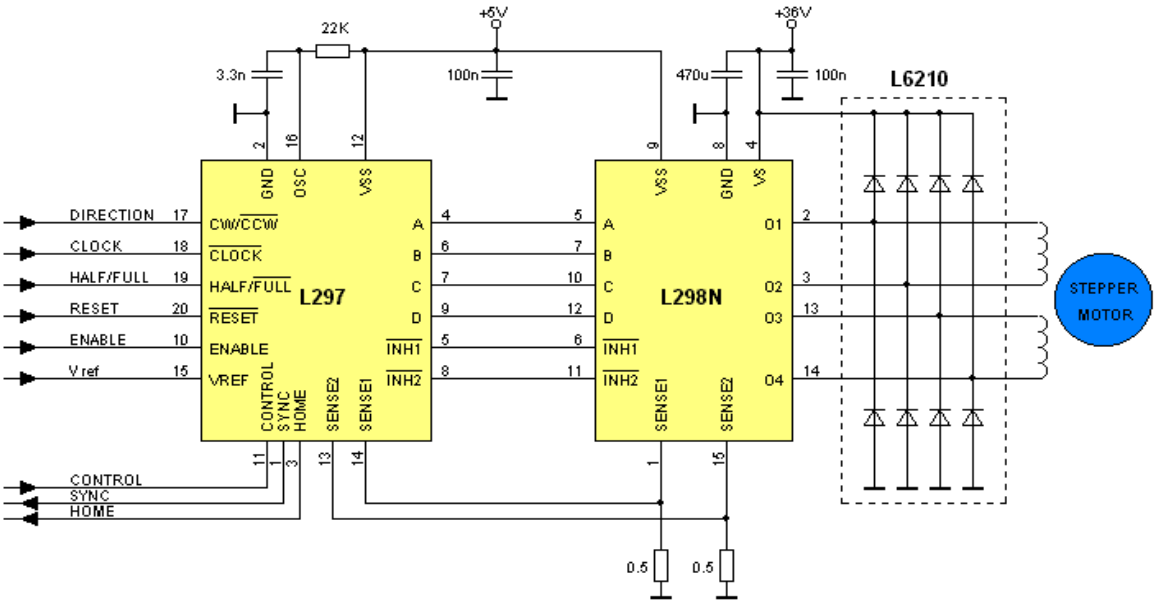


Рисунок 6 – Типовая схема включения микросхем L297 и L298N

Последним элементом для проектируемой системы является сам шаговый двигатель. Согласно техническому заданию, один манипулятор должен поднимать и транспортировать груз массой до 3,5 кг. Также необходимо учитывать массу всех звеньев самого манипулятора и массу самих двигателей. Стоит отметить, что максимальная длина раскрытия манипулятора составляет 300 мм, что соответствует высоте корпуса подводного аппарата Odyssey. Подбор двигателей необходимо осуществлять с двигателя для самого схвата, так как с последующим отдалением от схвата производится учет массы звеньев и удерживаемого груза. Полное сравнение двигателей в зависимости от параметра тяги представлена в приложении В.

Для захвата и удержания груза с заданными параметрами подходит шаговый двигатель Nema 23, являющийся гибридным ШД. Параметры данного двигателя приведены в таблице 1, а чертеж на рисунке 7. Данный двигатель имеет не только сравнительно небольшие размеры (60 х 60 х 112 мм), но и высокие показатели по грузоподъемности при заданных параметрах. При этом вес самого двигателя составляет 1 кг. По полученным данным, масса самого захвата будет составлять 2,5-3 кг. Для дальнейших расчетов будем руководствоваться верхним значением данного параметра, проектируя «с запасом».

Таблица 1 – Параметры гибридного шагового двигателя Nema 23 [24]

Параметр	**Значение**
Внешний вид	
Угловой шаг, град	1.8
Погрешность углового шага, град	±5% (полный шаг, без нагрузки)
Рабочая температура	-20ºС ~ +50ºС
Сопротивление изоляции	≥100 М Ω, 500 VDC
Максимальная допустимая радиальная нагрузка на вал	75 Н
Максимальная допустимая осевая нагрузка на вал	15 Н
Максимальный нагрев двигателя	80ºС (при номинальном токе, 2 фазы)
Крутящий момент, кг·см	3.9 ~ 18.0
Ток фазы ШД, А	1.0 ~ 3.0

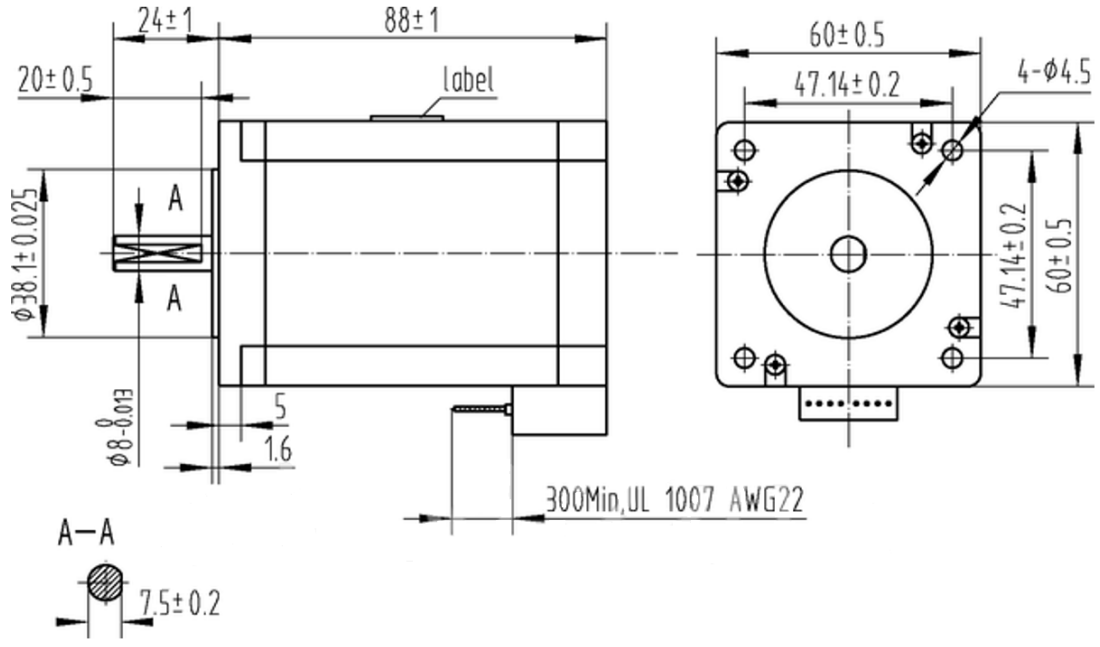


Рисунок 7 – Чертеж гибридного шагового двигателя Nema 23

Следующий двигатель должен осуществлять вращение первой кистевой тяги манипулятора. Так как манипулятор имеет два основных плеча, за счет которых происходит перемещение к точке назначения, то эти плечи равны, следовательно, длина такого плеча составляет 150 мм. По полученным данным, масса самого манипулятора (без установленных двигателей и груза) составит 13 кг, то положим вес первой тяги равным 5 кг. Таким образом, необходимо подобрать шаговый двигатель, удерживающий тягу (5 кг), схват манипулятора (3 кг), захватываемый груз (3,5 кг) и двигатель схвата (1 кг). Принимая во внимание факт, что тяга является плечом с характеристиками, близкими к идеальным, подберем двигатель, удерживающий 7,5 кг на расстоянии в 150 мм, и 5 кг на расстоянии 75 мм. Зная, что все характеристики тяги подобных двигателей указываются в размерности кг·см, то необходимое значение тяги получится найти, решив следующие пропорции:

$$\frac{15\ (\text{см})}{1\ (\text{см})} = \frac{x_1\ (\text{кг})}{7{,}5\ (\text{кг})}\ ;\ \frac{7{,}5\ (\text{см})}{1\ (\text{см})} = \frac{x_2\ (\text{кг})}{5\ (\text{кг})}\ ; x = x_1 + x_2,$$

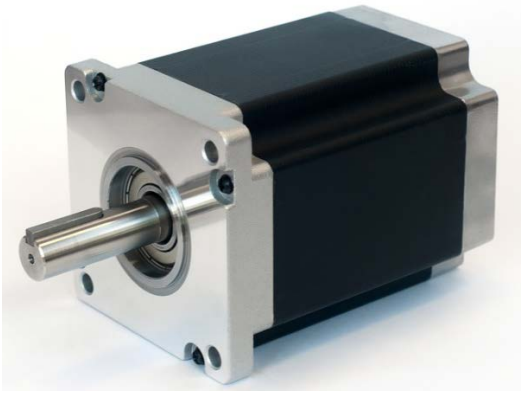
где x – искомое значение тяги шагового двигателя.

Получаем x_1 = 112,5 кг·см, x_2 = 37,5 кг·см, x = 112,5 + 37,5 = 150 кг·см

Таким образом, крутящий момент подбираемого двигателя должен быть не менее чем 150 кг·см. Самым близким к этому порогу по показателю тяги является гибридный ШД FL110STH150-6504 (Nema 42), параметры которого представлены в таблице 2, а чертеж – на рисунке 8. Размеры данного двигателя больше (110 x 110 x 150 мм), чем у его аналога, поэтому при проектировании конечного варианта манипулятора необходимо это учесть.

Следующий выбираемый двигатель должен осуществлять вращение второй кистевой тяги манипулятора. Длина второго плеча, как и первого, составляет 150 мм. Вес, который необходимо удерживать и перемещать двигателю на данном плече равен весу двух двигателей (8,4 кг и 1 кг), весу первой тяги (5 кг), схвата (3 кг) и транспортируемого груза (3,5 кг), что составляет 20,9 кг.

Таблица 2 – Параметры гибридного шагового двигателя Nema 42 (FL110STH150-6504) [25]

Параметр	Значение
Внешний вид	
Угловой шаг, град	1.8
Погрешность углового шага, град	±5% (полный шаг, без нагрузки)
Рабочая температура	-20ºC ~ +50ºC
Сопротивление изоляции	≥100 M Ω, 500 VDC
Максимальная допустимая радиальная нагрузка на вал	220 Н
Максимальная допустимая осевая нагрузка на вал	60 Н
Максимальный нагрев двигателя	80ºC (при номинальном токе, 2 фазы)
Крутящий момент, кг*см	31 ~ 214
Ток фазы ШД, А	2.8 ~ 6.2

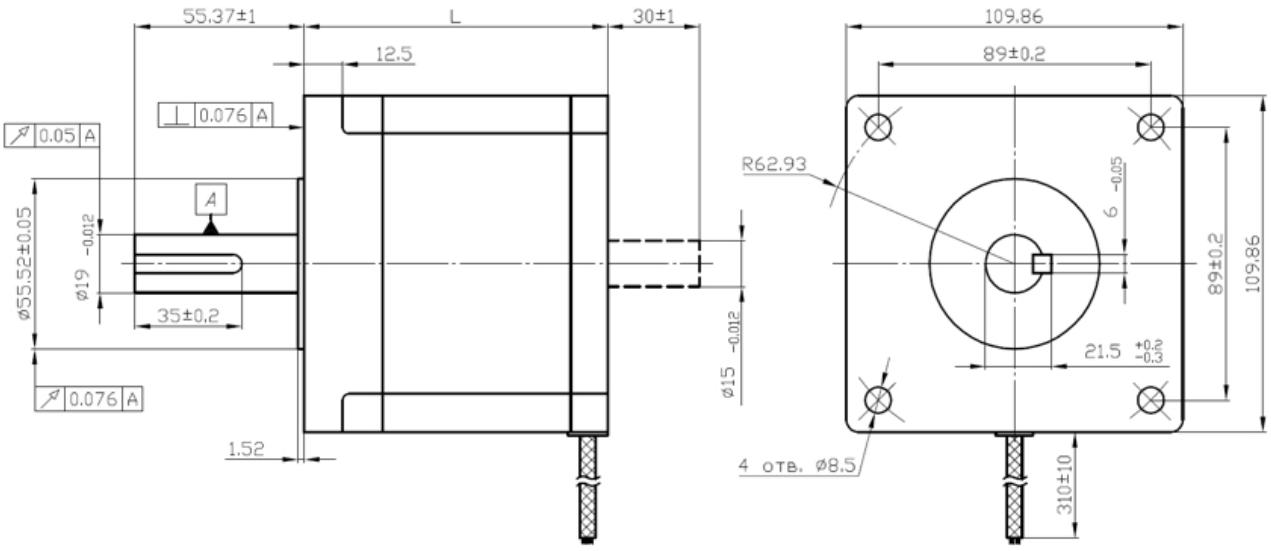


Рисунок 8 – Чертеж гибридного шагового двигателя Nema 42

Как и в предыдущем случае, примем во внимание факт, что тяга является плечом с характеристиками, близкими к идеальным. Соответственно, необходимо подобрать двигатель, удерживающий 20,9 кг на расстоянии в 150 мм, и 5 кг на расстоянии 75 мм. Решаем следующие пропорции:

$$\frac{15\ (\text{см})}{1\ (\text{см})} = \frac{y_1\ (\text{кг})}{20{,}9\ (\text{кг})}\ ;\ \frac{7{,}5\ (\text{см})}{1\ (\text{см})} = \frac{y\ (\text{кг})}{5\ (\text{кг})}\ ; y = y_1 + y_2,$$

где y – искомое значение тяги шагового двигателя.

Получаем y_1 = 313,5 кг·см, y_2 = 37,5 кг·см, y = 313,5 + 37,5 = 351 кг·см.

Таким образом, крутящий момент подбираемого двигателя должен быть не менее чем 351 кг·см. Самым близким к этому порогу является гибридный ШД FL130BYG2503-2502 (Nema 51), параметры которого представлены в таблице 3, а чертеж – на рисунке 8. Размеры данного двигателя являются самыми крупными из всех ранее подобранных двигателей (133 х 133 х 315), поэтому при проектировании конечного варианта манипулятора необходимо предусмотреть. Еще одним вариантом для произведения манипуляций является использование редуктора, что позволяет, во-первых, сократить общую массу манипулятора, а во-вторых, уменьшить его линейные размеры. В данной работе этот вопрос не рассматривается более подробно, следовательно, пока выбранный двигатель является необходимым для проектирования системы вариантом.

Для двигателя в основании необходимо производить учет лишь расстояния от ротора до места крепления двигателя на корпусе и всей массы манипулятора с двигателями. Таким образом, зная общую массу, которая составляет 45,9 кг, и выбрав значение расстояния от центра вала до центра крепления двигателя составляет 25-35 мм, то тяга двигателя должна находиться в пределах от 114,75 до 160,65 кг·см. Этим условиям удовлетворяет выбранный ранее двигатель Nema 42, максимальный момент которого равен 285 кг·см, а расстояния от центра оси двигателя до центра крепления составляет 45 мм, а это говорит о том, что величина крутящего момента должна быть не менее 206,55 кг·см.

Таблица 3 – Параметры гибридного шагового двигателя Nema 51 (FL130BYG2503-2502) [26]

Параметр	**Значение**
Внешний вид	
Угловой шаг, град	1.8
Погрешность углового шага, град	±5% (полный шаг, без нагрузки)
Рабочая температура	-20ºС ~ +50ºС
Сопротивление изоляции	≥100 М **Ω**, 500 VDC
Максимальная допустимая радиальная нагрузка на вал	220 Н
Максимальная допустимая осевая нагрузка на вал	60 Н
Максимальный нагрев двигателя	80ºС (при номинальном токе, 2 фазы)
Крутящий момент, кг*см	509
Ток фазы ШД, А	7

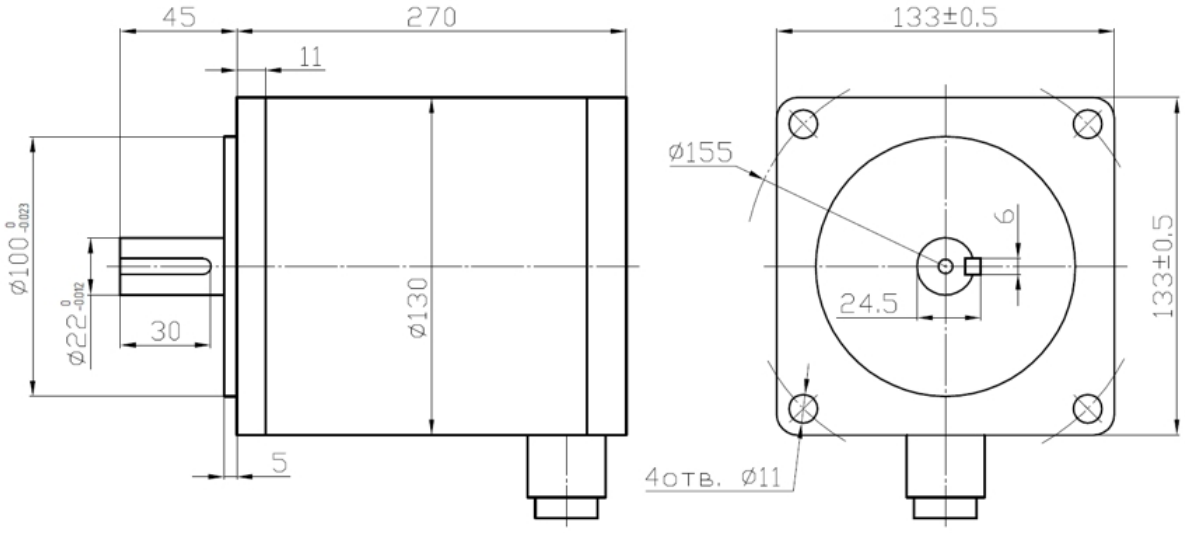
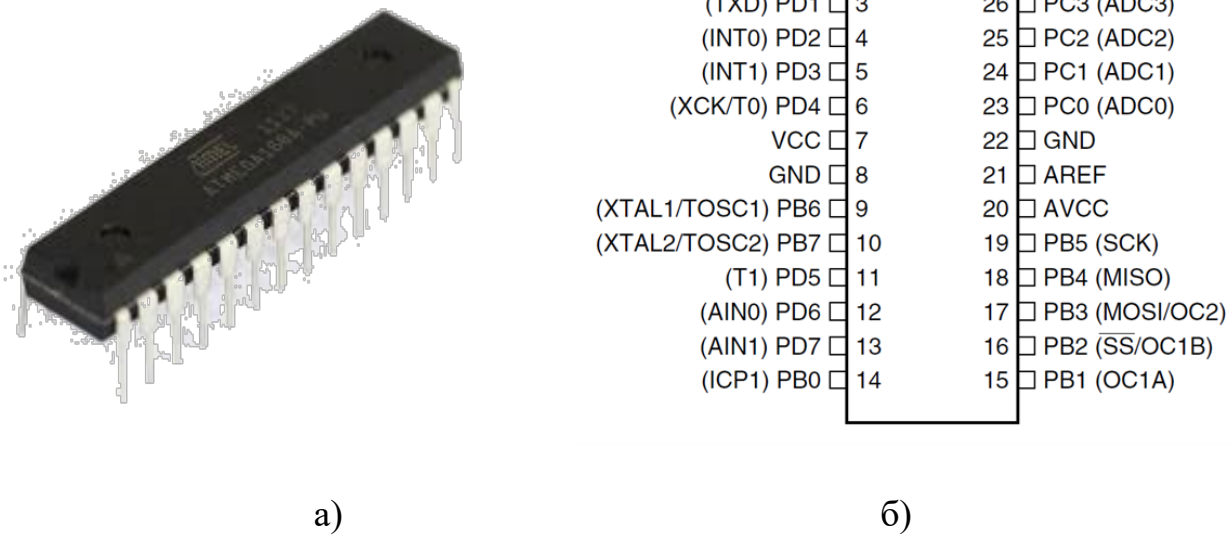


Рисунок 8 – Чертеж гибридного шагового двигателя Nema 51

Выбранный ранее, при проектировании подводного аппарата, микроконтроллер Atmega 8A удовлетворяет необходимым техническим требованиям. Также, для прошивки микроконтроллера Atmega8A [27] не требуется сложного специализированного оборудования: данная задача решается программаторами JTAG, благодаря которым можно записать/считать информацию в постоянное запоминающее устройство МК. Отладку работы МК удобнее производить с помощью специальной платы Pinboard II [28], используемую многими радиолюбителями и профессионалами и являющуюся разработкой команды сайта *easyelectronics.ru*.



а) б)

Рисунок 9 – а) Микроконтроллер Atmega8A, б) Схема расположения выводов микроконтроллера Atmega 8A в корпусе PDIP

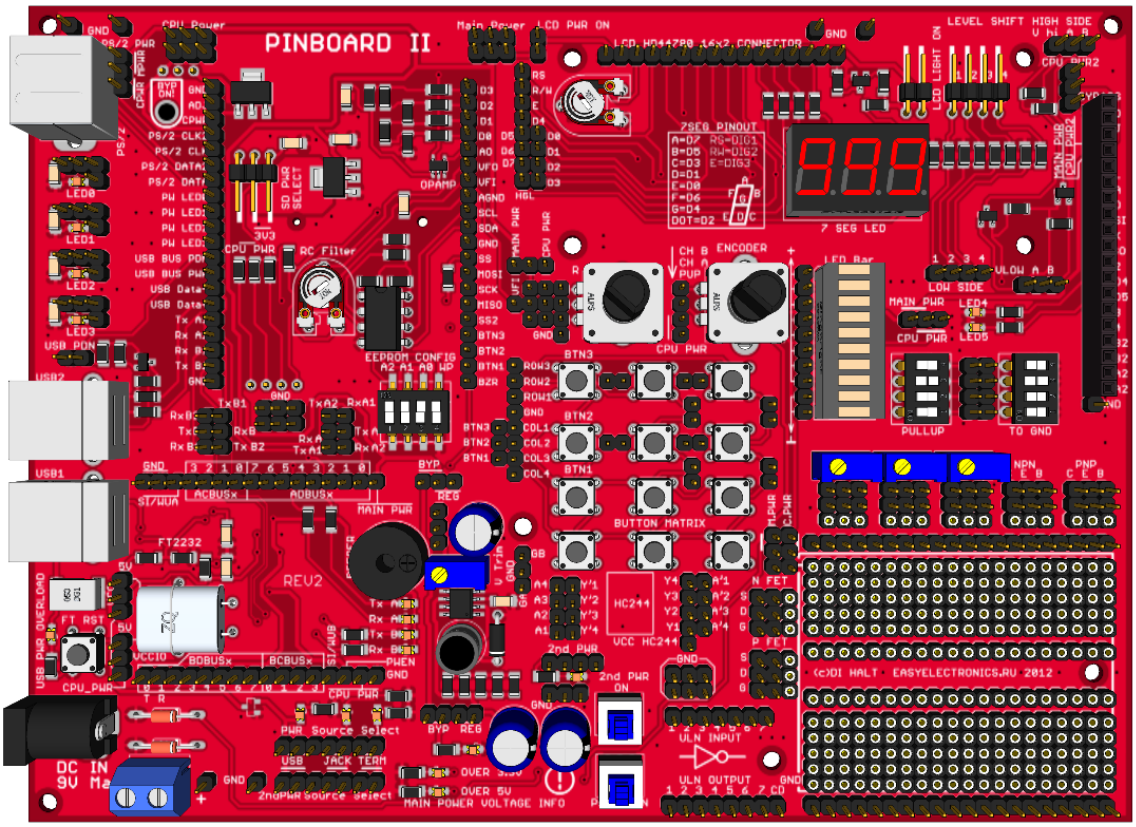


Рисунок 10 – Отладочная плата Pinboard II

Для выбранной схемы необходим источник питания с выходами напряжение величинами в 5В для работы микроконтроллера, потенциометров, схемы L297 драйвера шагового двигателя и в 12 В, необходимого для работы схемы L298N драйвера шагового двигателя и его запуска. Любой компьютерный блок питания обеспечит необходимые напряжения.

Рисунок 11 – Внешний вид компьютерного блока питания

2.4 Диаграммы работы шагового двигателя

На основе документов [29] и [30] составим диаграммы работы, которые будут необходимы для подачи импульсов на схемы L297 с микроконтроллера Atmega 8A для управления шаговыми двигателями.

Используя в качестве драйвера схемы L297 и L298N, можно получить следующие режимы работы двигателя:

Полушаговый режим работы (рисунок 12):

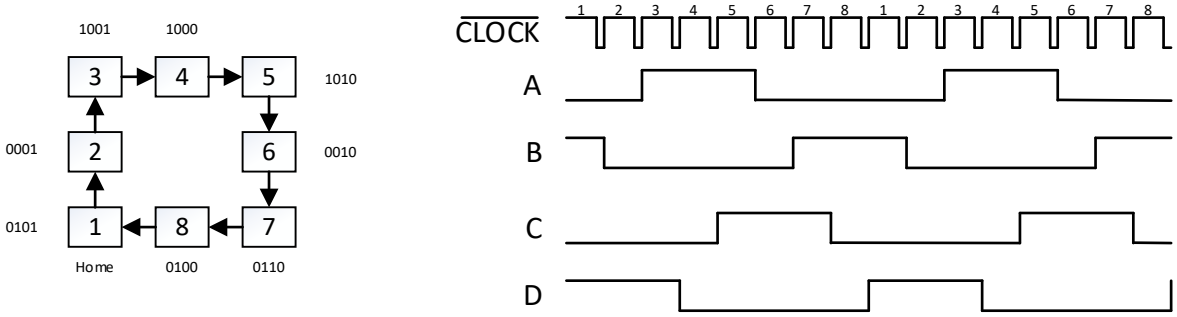


Рисунок 12 – Полушаговый режим работы шагового двигателя

Полушаговый режим работы двигателя получается путём подачи на вход HALF/FULL сигнала высокого уровня, т.е. единицы.

Полношаговый (нормальный) режим работы (рисунок 13):

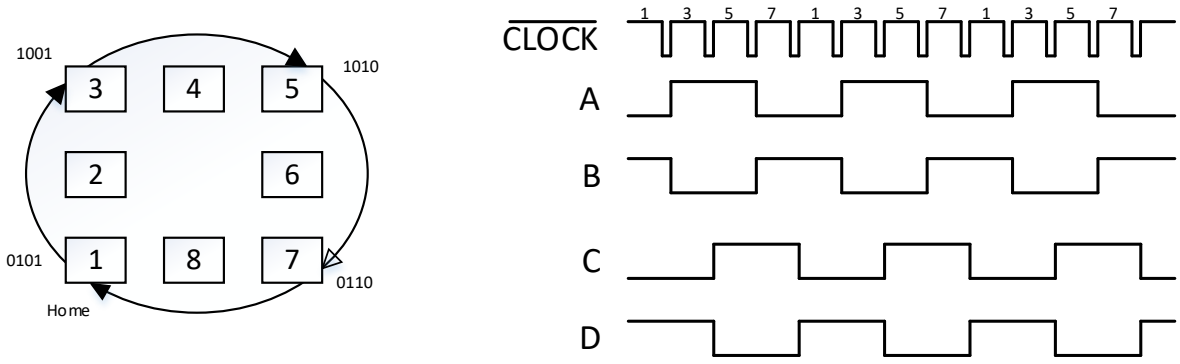


Рисунок 13 – Полношаговый режим работы шагового двигателя

Полношаговый режим работы двигателя получается путём подачи на вход HALF/FULL сигнала низкого уровня, т.е. нуля, когда преобразователь нахо-

дится в нечётных состояниях (т.е. 1, 3, 5 или 7). В этом режиме INH1 и INH2 имеют сигнал высокого уровня на своих входах.

Волновой (колебательный) режим работы (рисунок 14):

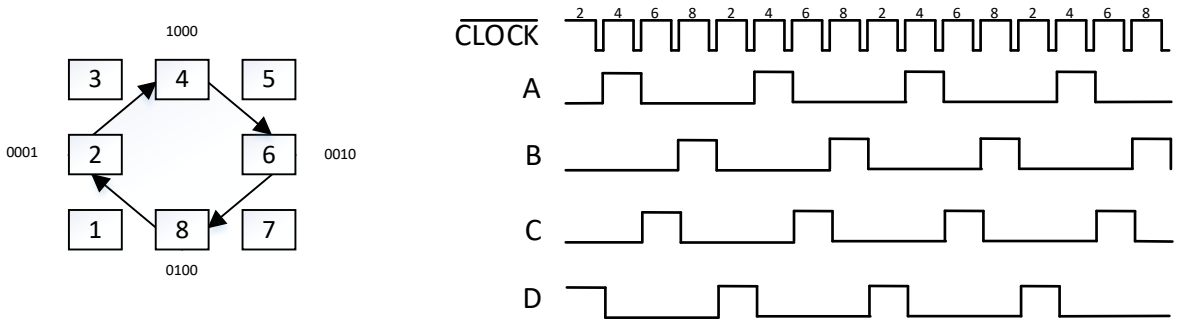


Рисунок 14 – Волновой (колебательный) режим работы шагового двигателя

Волновой (колебательный) режим работы двигателя получается путём подачи на вход HALF/FULL сигнала низкого уровня, т.е. 0, когда преобразователь находится в чётных состояниях (т.е. 2, 4, 6 или 8).

В проектируемой системе для достижения высокой точности используются полношаговый и полушаговый режимы работы шаговых двигателей.

2.5 Алгоритм работы системы манипуляторов

Алгоритм работы системы управления манипуляторами, как и было сказано, представляет собой двухуровневую структуру. Рассмотрим в последующих двух пунктах эту структуру подробнее.

2.5.1 Алгоритм работы микроконтроллера Atmega 8A

Алгоритм работы микроконтроллера Atmega 8A представлен на рисунке 15. Основной задачей выполнения данного алгоритма является прием управляющих сигналов со значениями углов с одноплатного компьютера Raspberry Pi II B, их перерасчет и подача таких сигналов, которые, учитывая текущее положение двигателя, переведут его в задаваемое. Также контроллер отправляет сигнал о выполнении задачи на одноплатный компьютер.

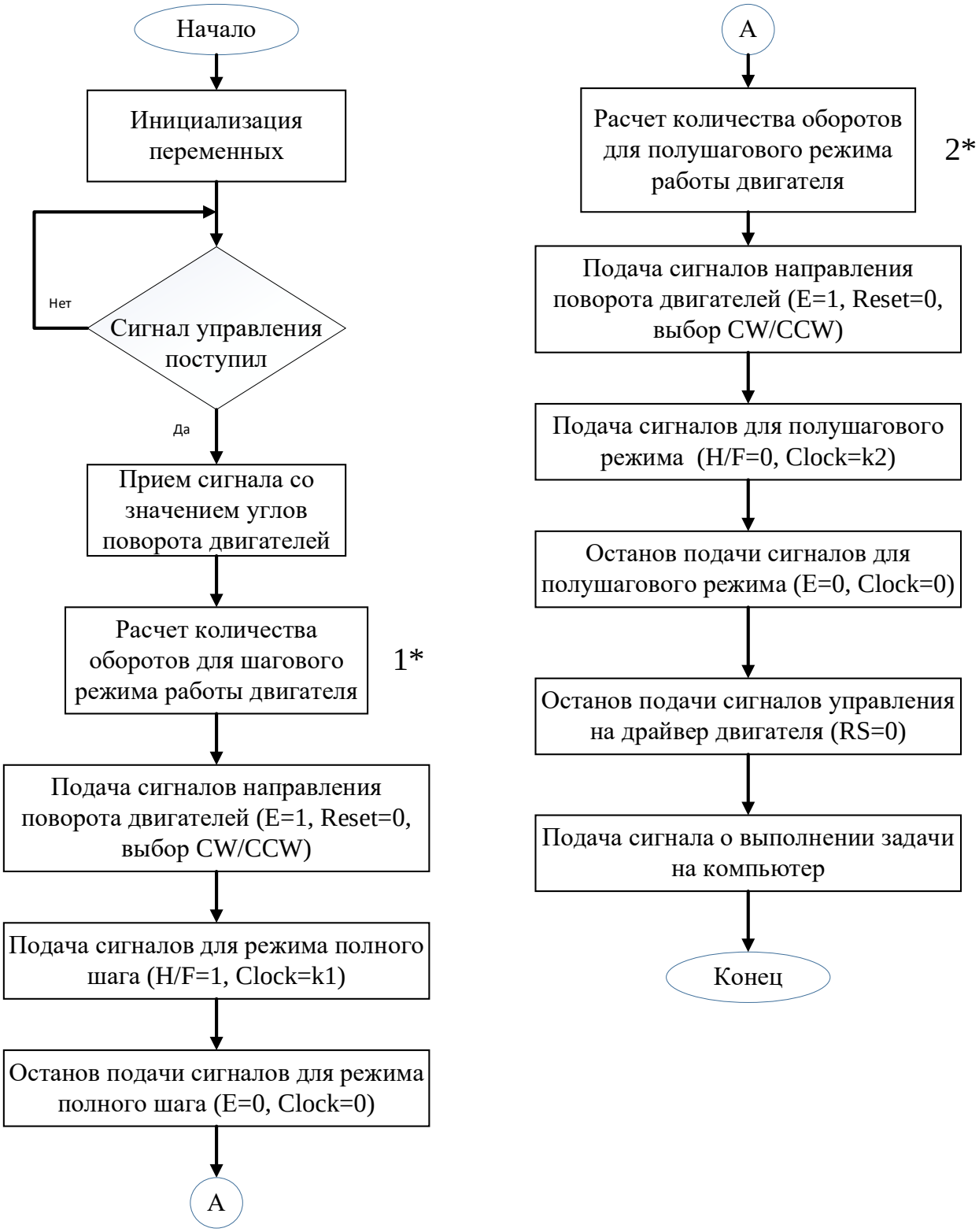


Рисунок 15 – Алгоритм работы микроконтроллера Atmega 8A

Пояснения к алгоритму работы МК Atmega (рисунок 15)***:***

Положим, что $\varphi_{задатчика}$ – угол, на который необходимо повернуть вал двигателя, $\varphi^{полн}$ – угол поворота вала двигателя в полношаговом режиме, $\varphi^{полуш}$ – угол поворота вала двигателя в полушаговом режиме, k_1 – количество шагов двигателя в полношаговом режиме, k_2 – количество шагов двигателя в полушаговом режиме, n – переменная, знак которой определяет направление вращения вала.

Тогда:

$n = sign\ (\varphi_{задатчика})$

если $n = +1$, то **CW/CCW = 1**;

если $n = -1$, то **CW/CCW = 0**.

$k_1 = modf\ (\varphi_{задатчика} / \varphi^{полн})$ ***(1*)***

$k_2 = modf\ ((\varphi_{задатчика} - k_1) / \varphi^{полу})$ ***(2*)***

2.5.2 Алгоритм работы системы управления манипулятором

Алгоритм работы системы управления манипулятором представлена на рисунках 16-18. Основной задачей выполнения данного алгоритма является прием управляющих сигналов от оператора с АРМ, обращение к обработанным данным с системы видеонаблюдения, работа с математической моделью манипулятора, подача сигналов на управляющие двигателями контроллеры, а также считывание сигналов с датчиков положения и тока, установленных в обратной связи. Результатом выполнения алгоритма является перемещение манипулятора из текущего положения в заданное, а также осуществление операций захвата и последующей транспортировки объекта.

Также ниже приведены пояснения к определенным блокам алгоритма, позволяющие отобразить все подзадачи, выполняемые в том или ином блоке.

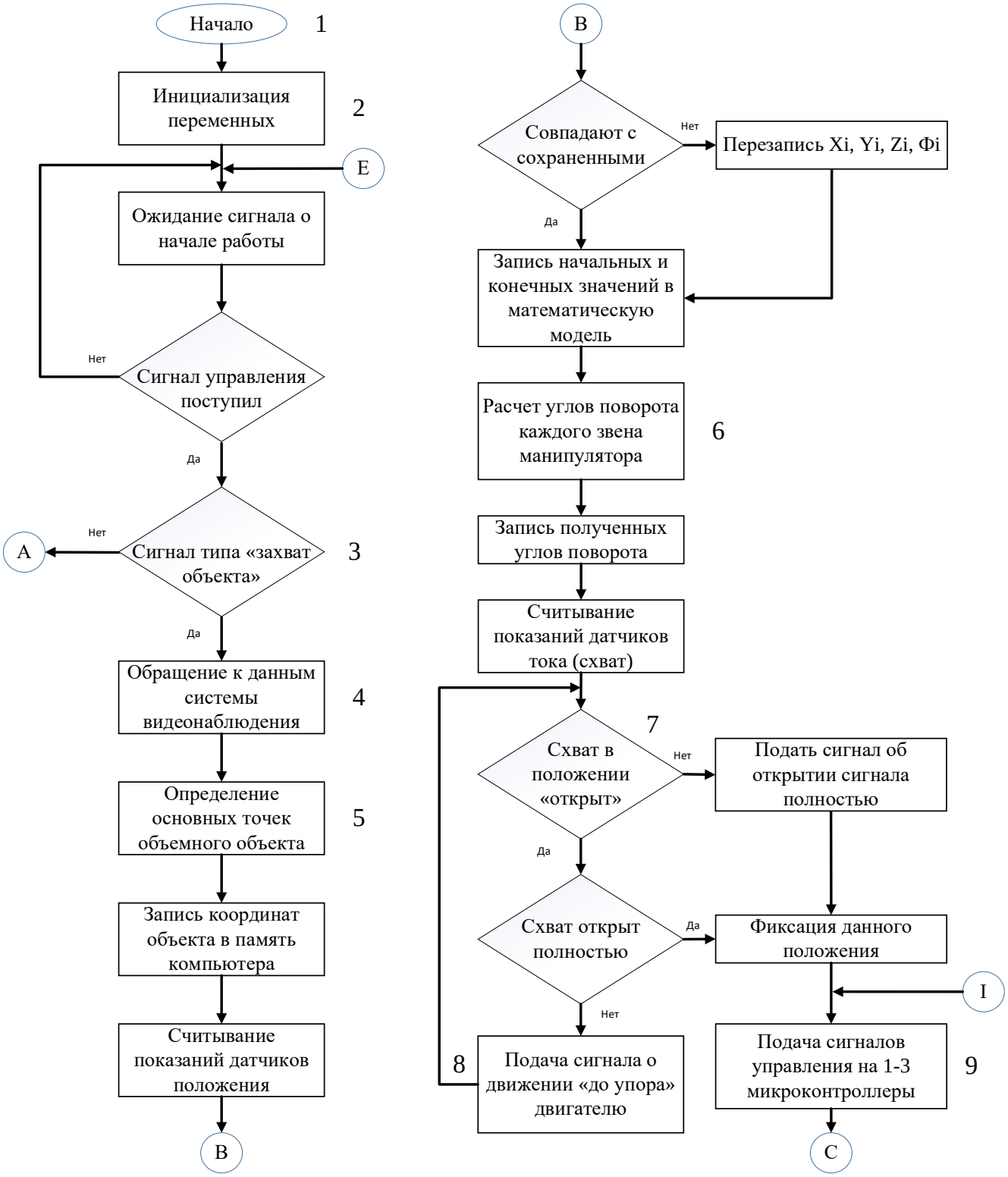


Рисунок 16 – Алгоритм работы системы управления манипулятором (начало)

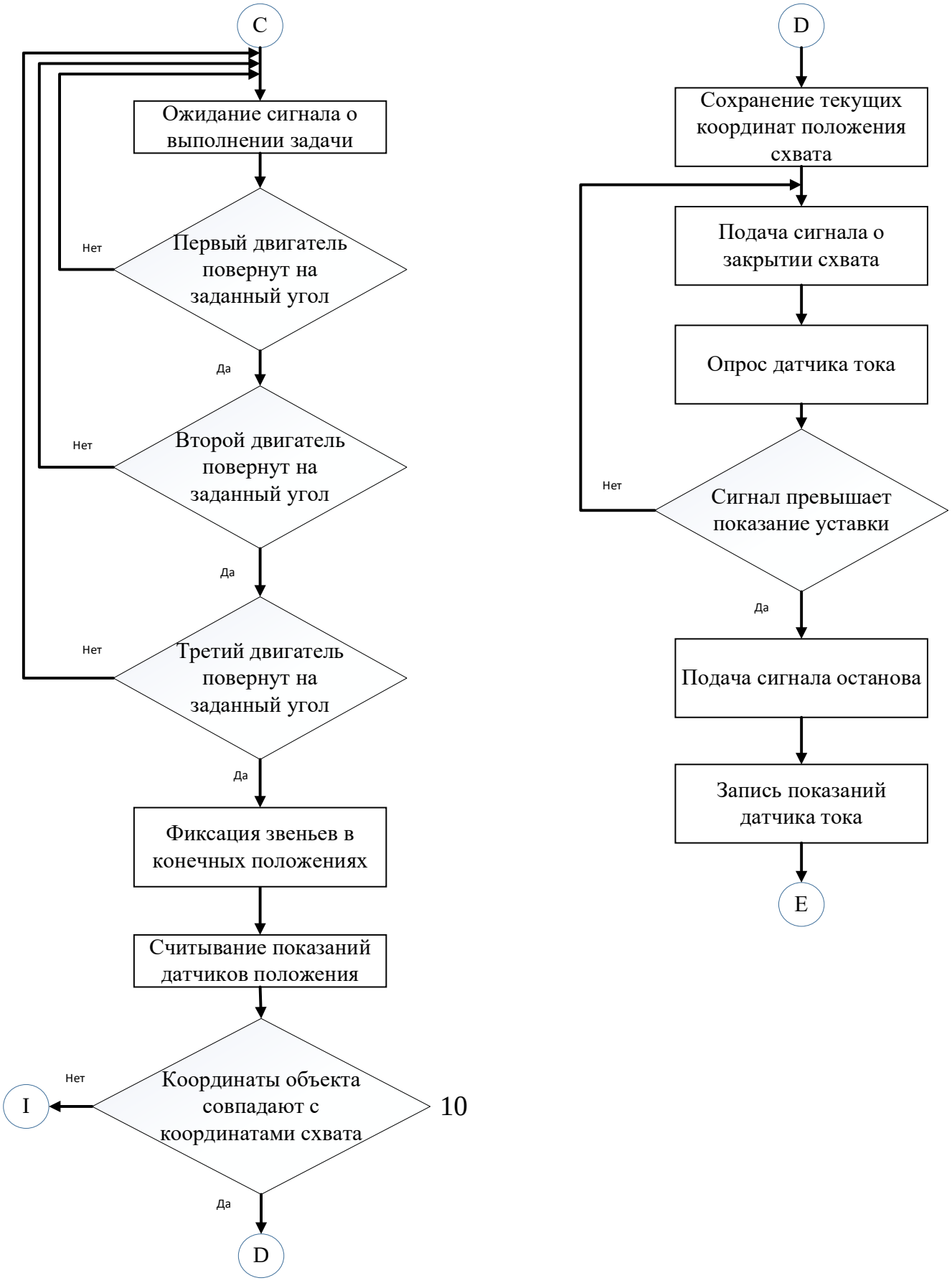


Рисунок 17 – Алгоритм работы системы управления (продолжение)

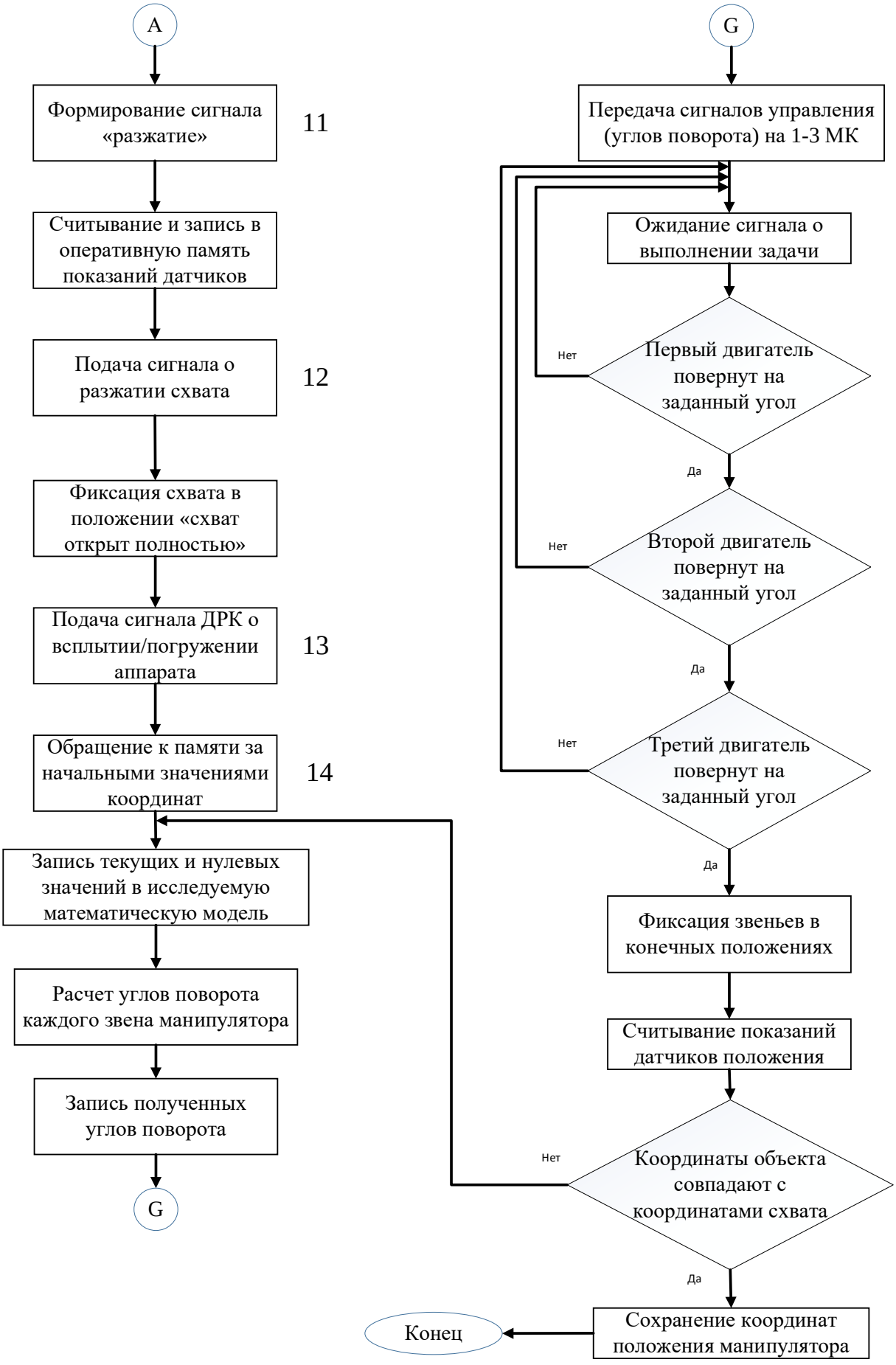


Рисунок 18 – Алгоритм работы системы управления (конец)

Пояснения к алгоритму работы СУ манипулятором (рисунки 16-18)***:***

1) Включение системы питания одноплатного компьютера (ОК).

2) Загрузка в оперативную память временных переменных для работы: длины звеньев l_i, последние сохраненные положения звеньев: x_i, y_i, z_i, φ_i.

3) Проверка поступившего сигнала: сигнала типа «захватить объект» (лог. 1) или сигнал типа «отпустить объект» (лог. 0).

4) Компьютер посылает сигнал на систему видеонаблюдения, которая производит определение конечных точек захватываемого груза.

5) Определение координат x^0_i, y^0_i, z^0_i.

6) Нахождение углов для матрицы, запись предустановленных значений (метод Денавита-Хартенберга).

7) Проверка положения схвата. Возможны три состояния: схват полностью открыт, схват открыт частично, схват полностью закрыт.

8) Подача произвольного сигнала, после чего схват либо полностью раскрывается, и, проходя проверку условий, фиксируется в данном положении, либо же сначала закрывается, проходит проверку условий и разжимается, фиксируясь в положении «открыт полностью».

9) Сохраненные рассчитанные углы поворотов с компьютера Raspberry Pi II подаются по шине на управляющие звеньями микроконтроллеры.

10) Проверка координат схвата, полученных в результате перемещения манипулятора (конечная точка) в сопоставлении с рассчитанными координатами. В случае несоответствия – переход к блоку «Подача сигналов на 1-3 МК».

11) Сигнал «разжатие» формируется для того, чтобы объект, который был транспортирован, был поставлен в конечной точке.

12) Открытие схвата: перевод в положение «схват открыт полностью».

13) Во избежание ситуации, что робот заденет дно и/или иной подводный объект, движительно-рулевому комплексу подается сигнал о всплытии аппарата.

14) Считывание данных – «походное положение» манипуляционной системы для передвижения аппарата под водой.

2.5.3 Алгоритм работы системы управления манипуляторами

Алгоритм работы системы управления манипуляторами представлен на рисунке 19. Основной задачей выполнения данного алгоритма является прием управляющих сигналов от оператора с АРМ, распределение сигналов управления между манипуляторами, проверка выполнения задачи. Результатом выполнения алгоритма является перемещение всех манипуляторов из текущих положений в заданные, а также осуществление операций захвата и последующей транспортировки габаритного объекта.

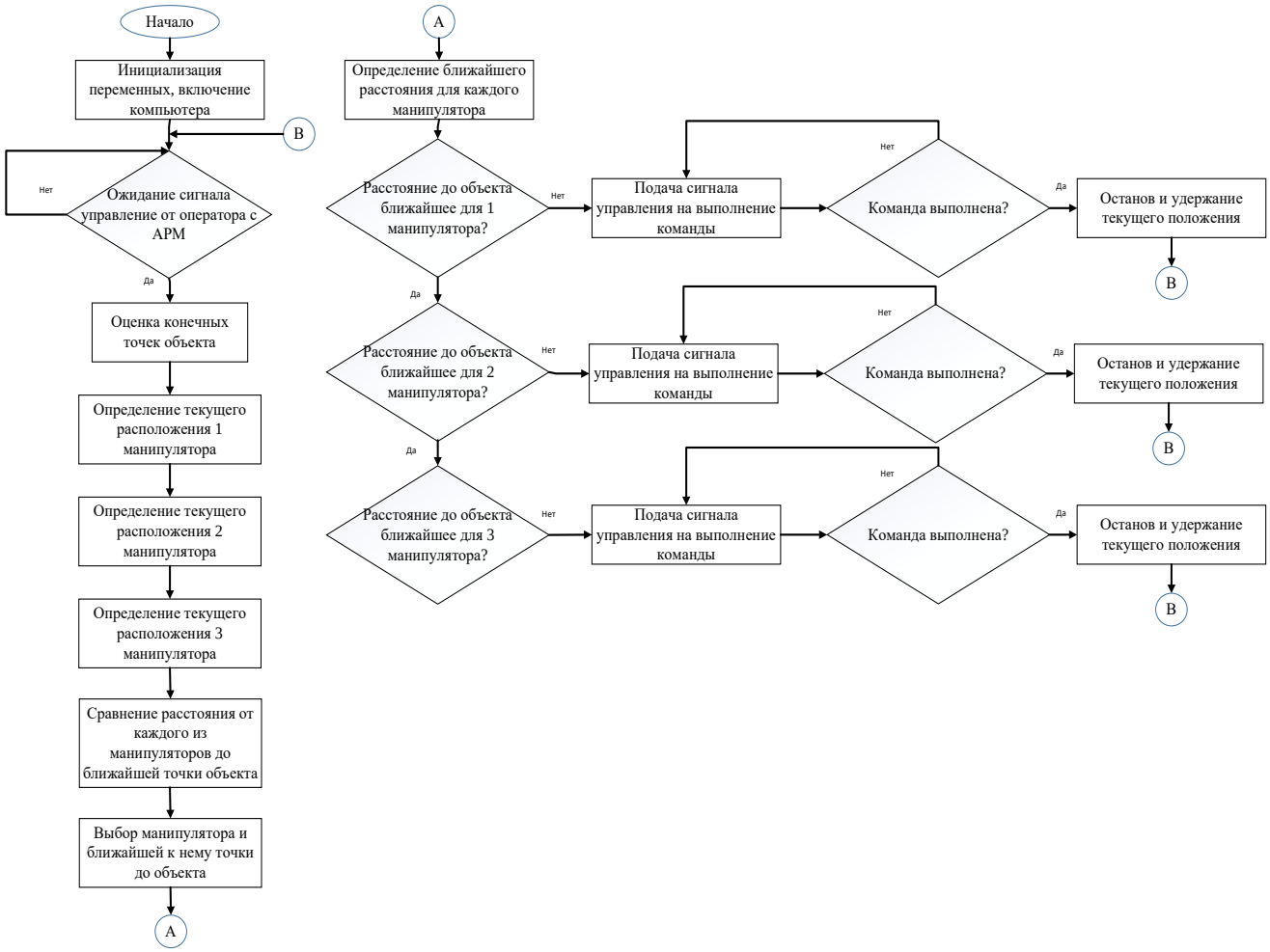


Рисунок 19 – Алгоритм работы системы управления манипуляторами

2.6 Конструкторская документация

Электрическая принципиальная схема для управления манипулятором по представленным в пункте 2.5 алгоритмам и спецификация к ней приведены в приложении Г.

3. РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА МАНИПУЛЯТОРА ПОДВОДНОГО АППАРАТА ODYSSEY

3.1 Описание проектируемого манипулятора

На этапе проектирования за основу был взят манипулятор, некогда представленный на платформе Kickstarter, но до сих пор не реализованный. Данный манипулятор был выбран на основе того, что в большинстве своем существующие манипуляторы (как и проектируемый) предполагают расположение двигателей непосредственно в суставах. При изготовлении подобные манипуляторы проще реализуются, но в тоже время их конечные двигатели должны поднимать не только полезную нагрузку, но и другие двигатели. Проект uArm [32] лишен этого недостатка, а все усилия передаются через тяги и основные двигатели располагаются в основании, и, более того, есть площадка для размещения инструмента, расположенная параллельно рабочей поверхности.

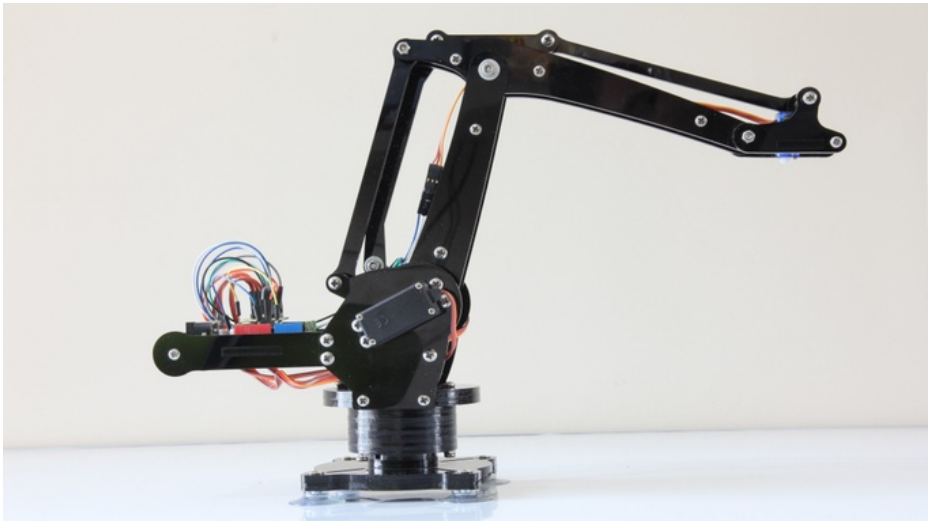


Рисунок 20 – Манипулятор uArm

Основываясь на всех этих преимуществах, данный конструктив был выбран для прототипирования и проверки работоспособности данной конструкции манипулятора для подводного аппарата. Так как манипулятор имеет три сервопривода (три степени свободы) в основании, то соответственно его перемещение происходит по всем трем осям.

Таким образом, в процессе работы были спроектированы его отдельные узлы, в дальнейшем изготовленные из оргстекла, закуплены все необходимые крепежные компоненты (Приложение Д), а также написаны программные коды для работы манипулятора в ручном режиме.

3.2 Характеристики и особенности проектируемого манипулятора

Поскольку манипулятор проектировался под конкретный подводный аппарат, то необходимо соблюсти все габаритные размеры. Характеристики проектируемого манипулятора следующие:

Высота: 300 мм.

Рабочая зона: от 140 мм до 300 мм вокруг основания.

Максимальная грузоподъемность при вытянутой руке: 200 г.

Потребляемый ток, макс.: 4А.

Параметр грузоподъемности будет выше в 2-3 раза при установке на нижнюю часть подводного аппарата и будет, по сути, являться величиной, пропорциональной моменту удержания выбранного и установленного двигателя.

Отличительной особенностью проектируемого манипулятора является наличие подшипников во всех подвижных частях (во всем манипуляторе использовано 11 подшипников, 10 из которых на вал 3мм и 1 на вал 30 мм).

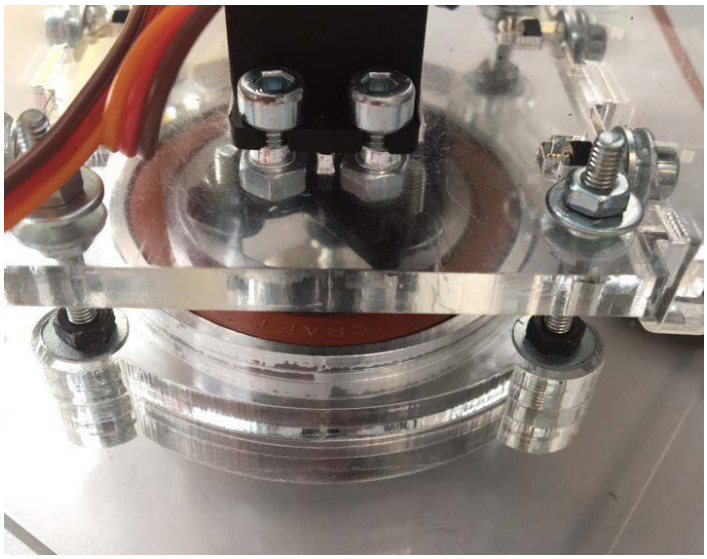


Рисунок 21 – Подшипник на вал 30 мм в основании

Помимо этого, все мощные сервоприводы, как и было ранее сказано, находятся в основании, а положение манипулятора изменяется на угол в 90 градусов, чего достаточно для выполнения необходимых операций. Более того, использование параллельных шарниров позволяет инструменту оставаться всегда параллельным/перпендикулярным поверхности основания.

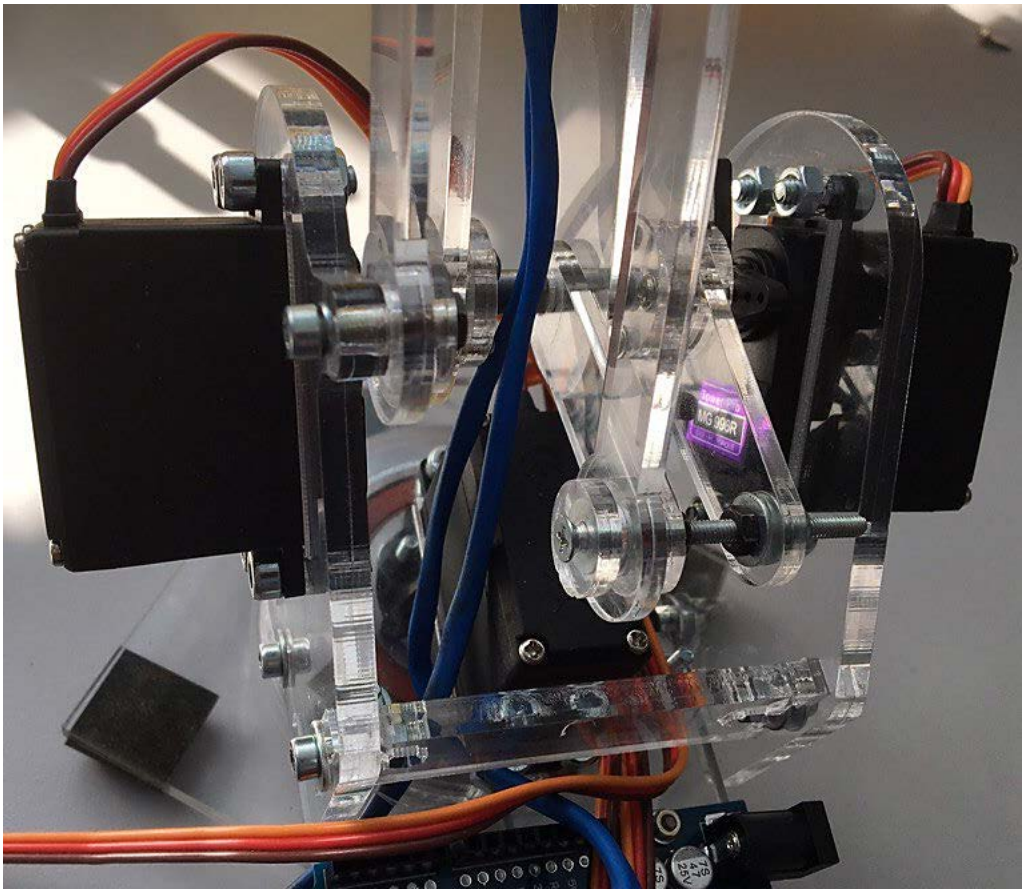


Рисунок 22 – Установка сервоприводов в основании

3.3 Сборка манипулятора

Пробный рабочий прототип манипулятора был собран из оргстекла, так как данный материал легок в обработке и его нетрудно достать. Резка деталей производилась на лазерном станке. Для изготовления манипулятора использовалось оргстекло с толщиной в 3мм и 5мм. Чертежи деталей приведены и полный список компонентов в приложении Д.

Рисунок 23 – Детали из оргстекла

Первоначально необходимо установить правый и левый сервопривода и диски на них. Установку сервоприводов необходимо осуществлять таким образом, чтобы выходной вал ротора был в части, близкой к скруглению боковой грани (рисунок 24). После установки сервоприводов необходимо соединить их с качалками.

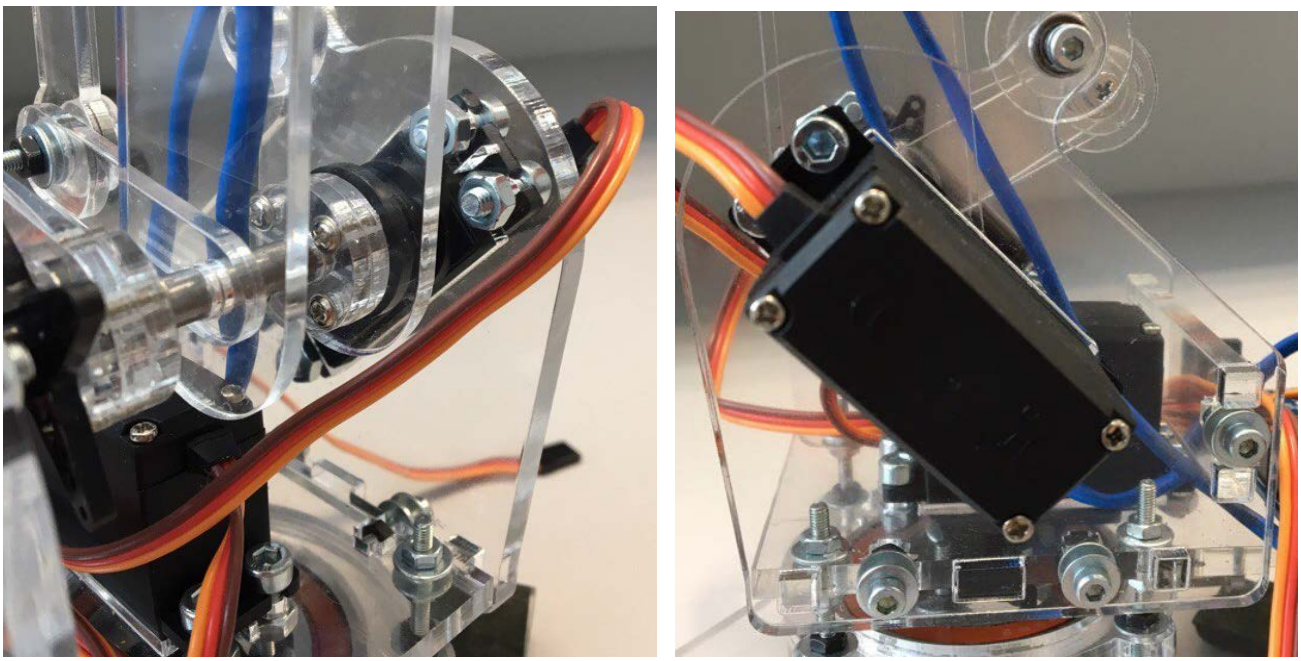


Рисунок 24 – Установка левого и правого серводвигателей

После установки сервоприводов производится сборка основания. Как и для сборки боковых частей, потребуется мощный сервопривод (для рассматриваемого примера – это MG996). В квадратное основание вставляются винты, на них одеваются шайбы и устанавливается подшипник с валом на 30 мм. После этого производится установка трех наружных колец, причем замкнутые кольца являются внешними. После этого рекомендуется сразу же поставить винты М3х35 в пазы колец и одеть их на подшипник. В оставшееся отверстие незамкнутого кольца вставить гайку М3 и закрутить винтом М3х20. После этого производится соединение основания с серводвигателем и закручивание последнего в установленную на внутреннем диаметре подшипника насадку (рисунок 25). После этого необходимо установить шайбы и закрутить гайки на винтах М3х35.

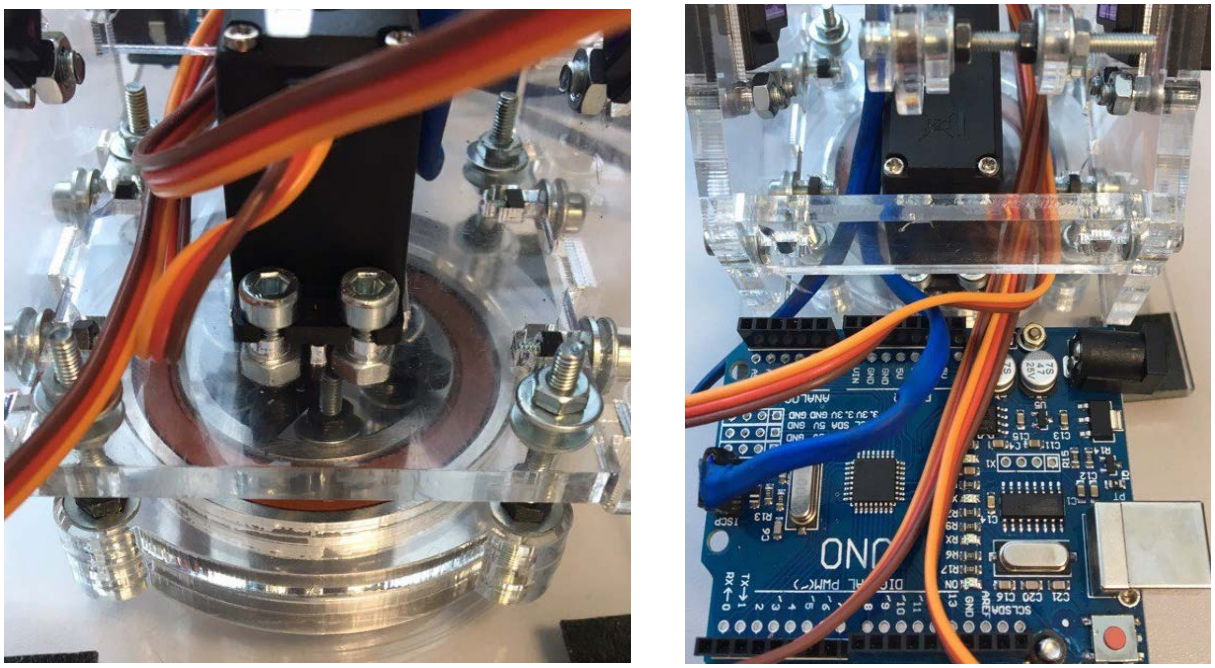
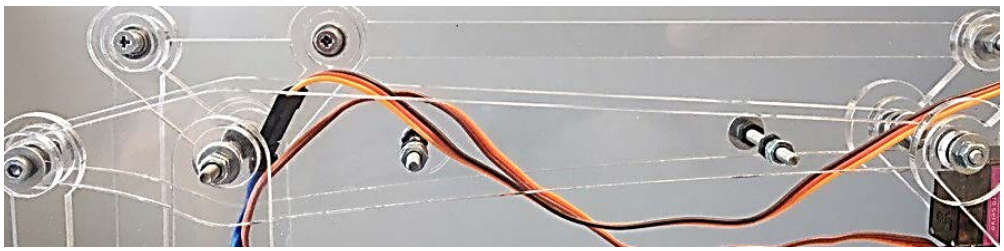


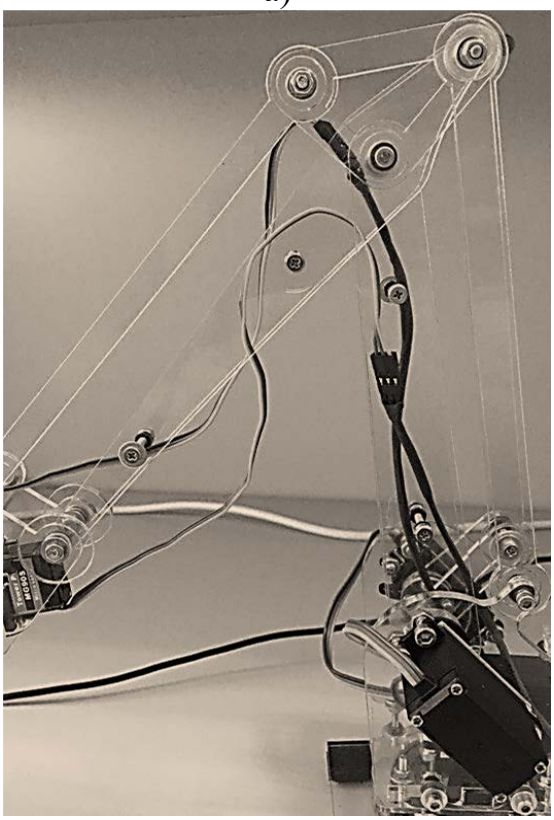
Рисунок 25 – Сборка основания

После сборки всего основания необходимо соединить с ним ранее собранные ребра жесткости с серводвигателями.

Следующим этапом является сборка плеч. При сборке плеч необходимо использовать 4 подшипника с валом на 3 мм и внешним диаметром 8 мм (рисунок 26, а). Также необходимо произвести установку дисков сервоприводов, установить шайбы из оргстекла. После этого производится установка первой и второй локтевых тяг, и треугольника, который их будет удерживать (рисунок 26, б).



а)



б)

Рисунок 26 – а) Сборка плеча, б) Установка первой и второй локтевой тяги

После сборки плеч и тяг необходимо соединить все вместе, установить штифт 6х30 в диски сервоприводов.

Окончательным этапом является сборка и установка самого схвата. Для самого схвата потребуется один сервопривод MG90S, а второй сервопривод будет использоваться для поворотной платформы. Необходимо произвести установку двигателей в пазы деталей, как показано на рисунке 27. После этого производится соединение сервоприводов с дисками. Сама «кисть» устанавливается следующим образом: закрутить при помощи гайки с нейлоновой вставкой (идет в комплекте с сервоприводами) таким образом, чтобы «палец» мог двигаться свободно и люфт был минимальным. Второй «палец» необходимо прикрутить к

диску серводвигателя так, чтобы его пазы встали в первый «палец», а при раскрытии/закрытии были задействованы все зубцы. После этого производится сборка схвата с кистевой тягой и вторым плечом.

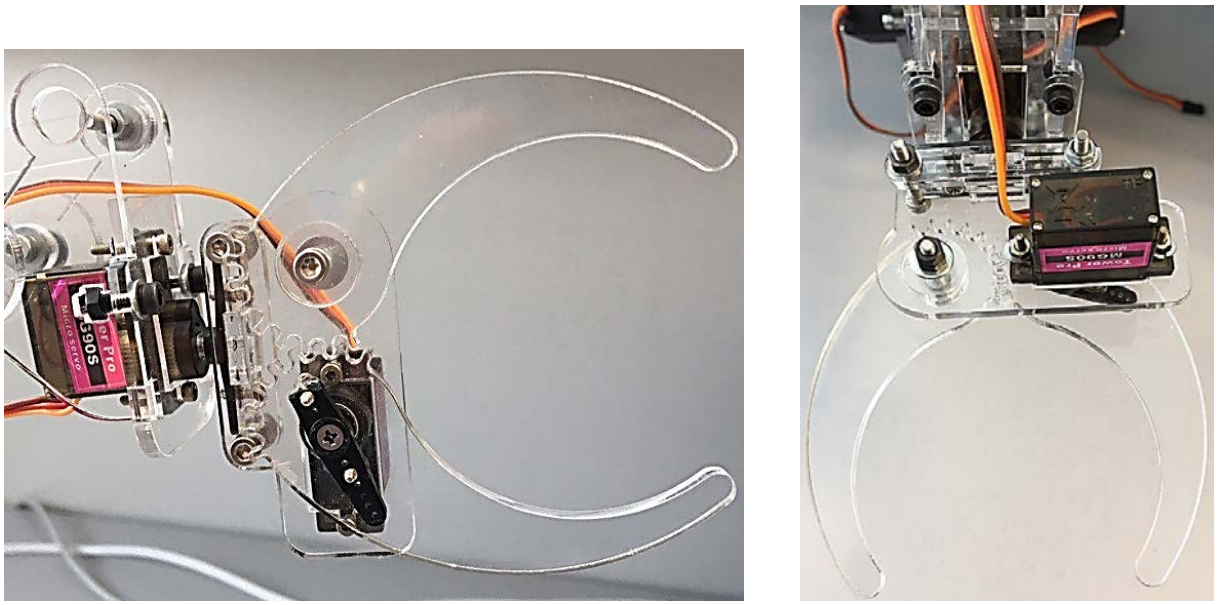


Рисунок 27 – Сборка схвата

После установки всех частей манипулятора необходимо только произвести сборку платы управления. Сам манипулятор представлен на рисунке 28.

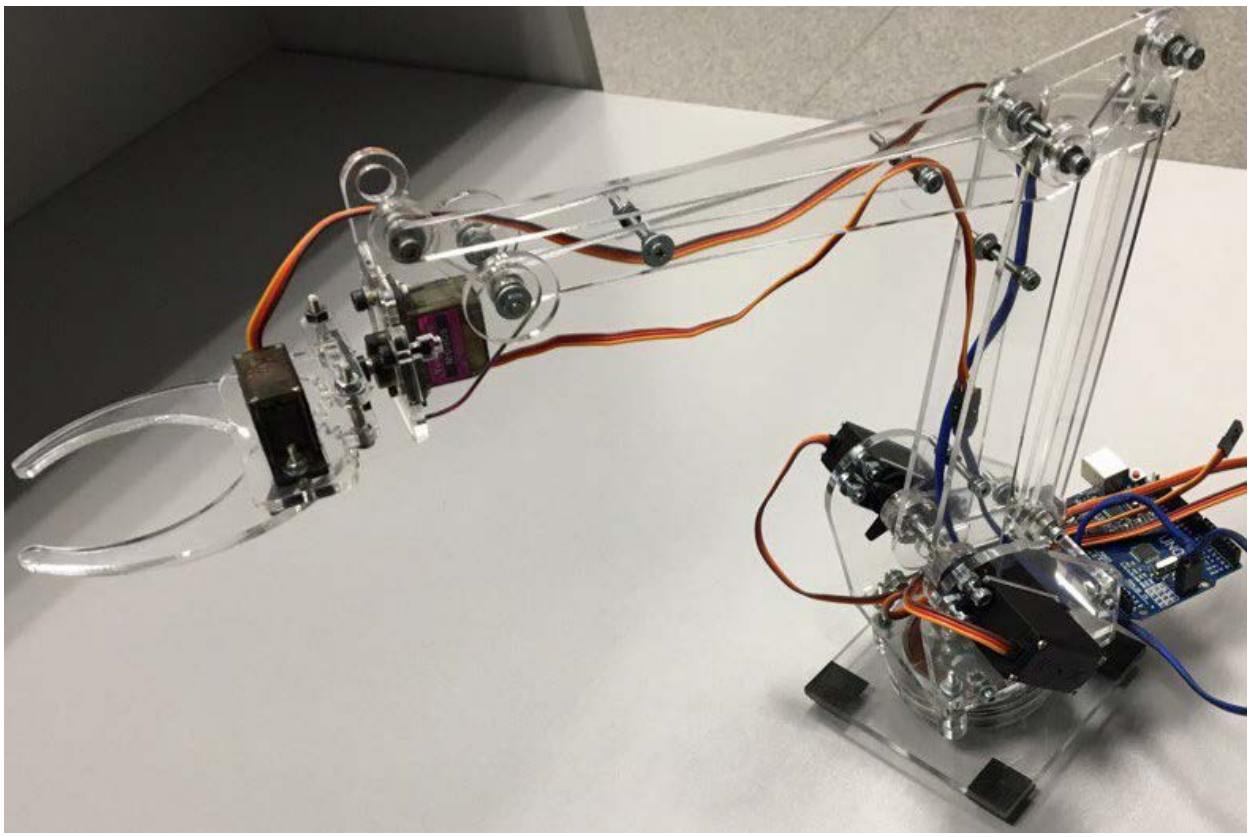


Рисунок 28 – Собранный манипулятор

3.4 Программное обеспечение для манипулятора

Принципиальная электрическая схема системы управления представлена в приложении Е. Первоначальная отладка работы системы производилась на плате Arduino Uno, после чего код был реализован на МК Atmega 8A. На данный момент реализовано три программы для трех разных ручных режимов работы манипулятора: демо-режим работы манипулятора, управление манипулятором при помощи потенциометров и кнопок, управление манипулятора при помощи мыши. Листинг кода для первого и второго режима приведен в приложении Ж, а листинг для третьего режима представлен ниже.

```
#include <Arduino.h> // Подключение библиотеки Arduino.h для работы со стандартными функциями и операциями
#include <Servo.h> // Подключение библиотеки Servo.h для работы с серводвигателями

void readSerial(void); //объявление функции чтения параметров, приходящих с серводвигателей
void dataToNormal(void);

int data[9];
int value[4];

// Объявление переменных типа Servo
Servo Stretch; //Создание переменной, изменение значений которой соответствуют вытягиванию манипулятора
Servo Rotation; //Создание переменной, изменение значений которой соответствуют повороту манипулятора вокруг оси Z
Servo Height; //Создание переменной, изменение значений которой соответствуют изменению высоты манипулятора
Servo HandRot; //Создание переменной, изменение значений которой соответствуют изменению положения платформы схвата
Servo Grip; //Создание переменной, изменение значений которой соответствуют смыканию/размыканию схвата

//Установка минимальных, максимальных и нормальных значений для вытягивания манипулятора
const int stretchMin = 80;
const int stretchMax = 150;
const int stretchNormal = 146;

//Установка минимальных, максимальных и нормальных значений для поворота манипулятора
const int rotationMin = 16;
const int rotationMax = 170;
const int rotationNormal = 80;

//Установка минимальных, максимальных и нормальных значений для изменения высоты манипулятора
const int heightMin = 35;
const int heightMax = 90;
const int heightNormal = 70;

//Установка минимальных, максимальных и нормальных значений для поворотной платформы схвата
```

```
const int handrotMin = 20;
const int handrotMax = 160;
const int handrotNormal = 116;

//Установка минимальных, максимальных и нормальных значений для положения схвата
const int gripMin = 115;
const int gripMax = 157;
const int gripNormal = 140;

int grip = gripNormal;

// Подключение переменных типа Servo к определенным пинам МК
void setup(){
    Stretch.attach(8);
    Rotation.attach(9);
    Height.attach(10);
    HandRot.attach(11);
    Grip.attach(12);

    Grip.write(gripNormal);
    Serial.begin(9600);
}

//Создание цикла чтения переменных положения сервоприводов
void loop(){
    readSerial();
    dataToNormal();

    if ( (value[0] <= stretchMax) & (value[0] >= stretchMin) ){
        Stretch.write(value[0]);
    }
    if ( (value[1] <= rotationMax) & (value[1] >= rotationMin) ){
        Rotation.write(value[1]);
    }
    if ( (value[2] <= heightMax) & (value[2] >= heightMin) ){
        Height.write(value[2]);
    }
    if ( (value[3] <= handrotMax) & (value[3] >= handrotMin) ){
        HandRot.write(value[3]);
    }
    if ( (data[8] == 0x01) & (grip <= gripMax) ) {
        Grip.write(grip++);
        data[8] = 0;
    }
    if ( (data[8] == 0x10) & (grip >= gripMin) ){
        Grip.write(grip--);
        data[8] = 0;
    }
}

//Цикл чтения переменных о текущих значениях положения серводвигателей
void readSerial(){
    if (Serial.available() == 11)                // Отправка пакета, состоящего из
11 бит
            if (Serial.read() == 0xFF)           // Первый неизменяемый бит 0xFF
                if (Serial.read() == 0xAA){      // Второй неизменяемый бит 0xAA
                    data[0] = Serial.read();     // Установка флага поворота
(Rotation): 0x00 или 0xFF
                    data[1] = Serial.read();     // Поворот
                    data[2] = Serial.read();
                    data[3] = Serial.read();     // Вытягивание манипулятора
```

```
                    data[4] = Serial.read();      // Установка флага изменения высоты
(Height): 0x00 0xFF
                    data[5] = Serial.read();      // Изменение высоты
                    data[6] = Serial.read();      // Установка флага поворота плат-
формы схвата (HandRot)
                    data[7] = Serial.read();      // Поворот схвата
                    data[8] = Serial.read();      // Осуществление сжатия схвата
                    data[9] = Serial.read();      // Осуществление разжатия схвата
                }
}


//Создание цикла для подачи сигналов на серводвигатели и осуществления манипуляций
void dataToNormal(){

    // Вытягивание схвата
    value[0] = stretchNormal - data[3];

    // Поворот манипулятора
    value[1] = data[0] - data[1] + rotationNormal;

    // Изменение высоты манипулятора
    value[2] = data[4] - data[5] + heightNormal;

    // Поворот платформы схвата манипулятора
    value[3] = data[6] - data[7] + handrotNormal;
}
```

Данная программа работает совместно с терминальной программой от компании uFactory [33], занимающейся созданием промышленных манипуляторов. Программа-терминал находится на официальном сайте uFactory в открытом доступе. Суть программы, представленной выше, состоит в том, чтобы подавать необходимые сигналы на соответствующие привода и производить изменение положения манипулятора, а терминальная программа принимает и обрабатывает сигналы с компьютерной мышки. Таким образом, двигая мышь по поверхности, изменяется положение манипулятора в плоскости XY; вращение колесика вперед-назад приводит к изменению высоты, а нажатие левой/правой кнопки мыши позволяет сжимать или же разжимать схват соответственно. При нажатии правой кнопки мыши и колесика происходит поворот схвата манипулятора. Терминальная программа отправляет в COM-порт 11 байт, где первый всегда 0xFF, второй 0xAA, а оставшиеся служат сигналами для сервоприводов.

Собранная и спаянная плата представлена на рисунке 29. На плате присутствуют потенциометры, необходимые для регулировки положения манипулятора при одном из ручных режимов работы, кнопки, необходимые для осуществления захвата объекта схватом, сам микроконтроллер Atmega 8A, PLS-разъёмы для подсоединения двигателей, два порта USB-B для обеспечения питания контроллера и двигателей, кварцевый резонатор на 16 MHz, а также конденсаторы и резисторы, служащие для правильной работы МК и светодиоды, сигнализирующие о выполнении той или иной операции.

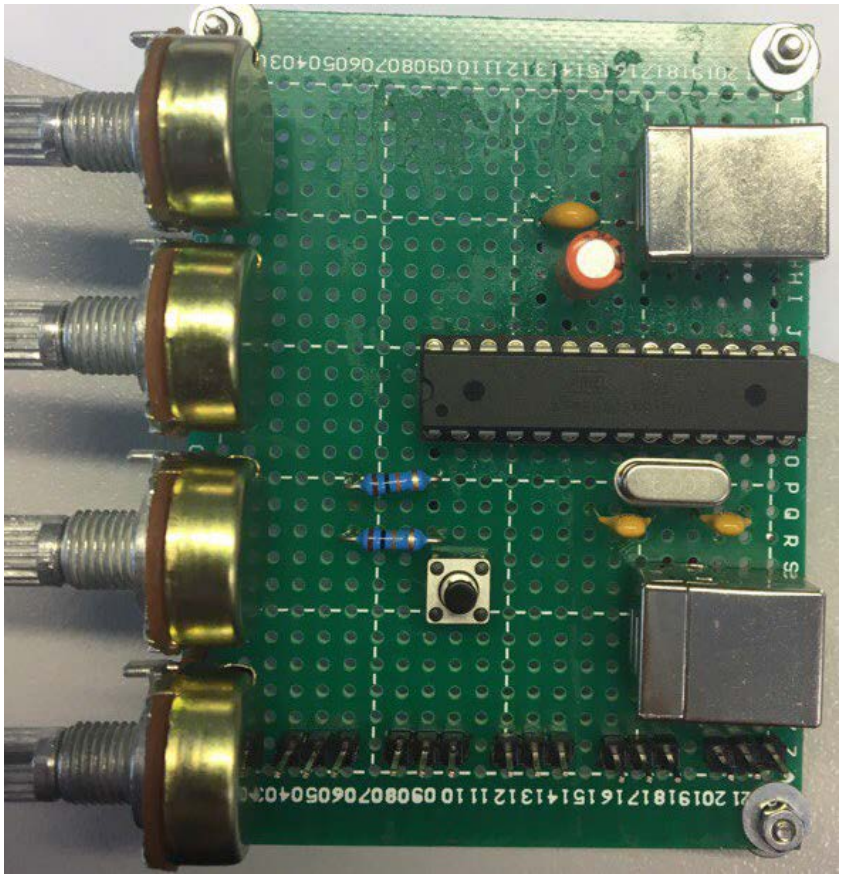


Рисунок 29 – Спаянная плата управления манипулятором

3.5 Конструкторская документация

Принципиальная схема разработанной части системы управления манипулятором представлена в приложении Е.

Также в приложении Е представлен перечень элементов, составленный в соответствии с ГОСТ 2.701–2008 ЕСКД. Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению [31].

На принципиальной схеме изображён микроконтроллер Atmega 8A, потенциометры, светодиоды (для сигнализации о выполнении тех или иных команд), сервоприводы, кварцевый резонатор и кнопки для подачи сигналов управления на схват.

На микроконтроллер, потенциометры и кнопки подаётся постоянное напряжение 5В, 2А, для работы же пяти серводвигателей используется питание в 5В и 4А.

К контроллеру питание подключается через выводы с пометкой VCC и AVCC (напряжение питания для АЦП), выводы с пометкой GND заземляются. Порт D задействован для подключения части периферийных устройств, в частности – кнопок для подачи сигнала на сжатие/разжатие схвата (PD0 и PD1 соответственно). Выводы PD5 и PD6 необходимы для подачи управляющего сигнала на поворотную платформу схвата и сам схват соответственно. Выводы порта B с пометками XTAL1 и XTAL2 необходимы для подключения кварцевого резонатора с тактовой частотой 16 МГц. Выводы PB1-PB3 используются для подачи ШИМ-сигнала управления на двигатели в основании. Выводы порта C являются аналоговыми входами и настроены на прием сигналов с потенциометров для последующей их подачи на сервоприводы. Пин PC6 является пином перезагрузки МК и к нему подключена кнопка, позволяющая производить данную операцию.

На схеме также представлен разъём XP1 с указанием заземлений и выводов питания, необходимых для корректной работы схемы.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
8ЕМ51	Булуев Илья Иванович

Институт	Институт кибернетики	Кафедра	СУМ
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	Мехатроника и робототехника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	
2. Разработка устава научно-технического проекта	
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	
Перечень графического материала *(с точным указанием обязательных чертежей):*	
1.	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент каф. Менеджмента ИСГТ	Конотопский В.Ю.	к.э.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЕМ51	Булуев Илья Иванович		

4.1 Организация и планирование работ

Для оценки процесса реализации проекта необходимо составить линейный график, так как исполнителями являются НР и С. Для каждого из выделенных этапов определим его исполнителей и долю участия каждого из исполнителей в его выполнении. Полученные результаты сведем в таблицу 4.

Таблица 4 – Перечень выполняемых работ с указанием доли участия исполнителей

Этапы работы	**Исполнители**	**Загрузка исполнителей**
1. Постановка целей и задач исследования	НР, С	НР – 80% С – 20%
2. Разработка и утверждение технического задания (ТЗ)	НР, С	НР – 20% С – 80%
3. Подбор источников и изучение основ проектирования, программирования и механики манипуляторов	С	С – 100%
4. Разработка календарного плана выполнения работ	НР, С	НР – 30% С – 70%
5. Обсуждение литературы по тематике	НР, С	НР – 30% С – 100%
6. Выбор структурной схемы устройства	НР, С	НР – 20% С – 100%
7. Составление принципиально-электрической схемы устройства	НР, С	НР – 10% С – 100%
8. Расчет принципиальной схемы устройства	НР, С	НР – 5% С – 100%
9. Оформление расчетно-пояснительной записки	С	С – 100%

10. Оформление графического материала	С	С – 100%
11. Подведение итогов	НР	НР – 100%

Дадим краткое описание каждому из этапов работ с указанием результатов. Первым этапом является получение исходных данных, которые выдаются в соответствии с планом работ лаборатории «Телекоммуникации, приборостроения и морской геологии» ИК, ТПУ. Здесь производится четкое распределение нагрузки и обязанностей по выполнению тех или иных видов работ научными руководителями и студентами. На этом этапе также осуществляется постановка (в общих формулировках) цели исследования студенту научным руководителем. По окончанию изучения всех предложенных материалов, необходимых для достижения поставленной цели, студент просматривает дополнительные источники и предлагает максимально детальный план работ. Данный план корректируется и подтверждается в последствие научным руководителем. Основными пунктами данного плана являются задачи, прописанные предварительно студентом.

Результатом второго этапа станет техническое обоснование целесообразности проведения исследований, ожидаемых технических характеристик и экономического эффекта.

Результатом выполнения третьего этапа является глубокое понимание вопроса по изучаемой тематике, подбор нужного материала для исследования, простроение направления последующей работы.

Календарный план, являющийся четвертым этапом, прописывается на срок в два года, что соответствует сразу двум требованиям – требованиям по подаваемому гранту «УМНИК», а также по сроку обучения в магистратуре.

В пятом этапе происходит формирование основных концепций и идей, закладываемых в создаваемую установку, а также тип создаваемого продукта. Результатом выполнения является часть конструкторской документации, содержащей в себе все основные элементы по проектированию устройства и СУ.

Шестой, седьмой и восьмой этапы тесно взаимосвязаны между собой, т.к. все схемы являются взаимосвязанными и необходимы для полного комплекта конструкторской документации. Результатом станут чертежи и схемы, используемые при проектировании финального устройства.

Девятый и десятый этапы направлены на оформление всего изученного, смоделированного и изготовленного материала в текстовом формате для использования в качестве лабораторных работ/материала для защиты/материала для продолжения исследований в данном направлении.

На одиннадцатом этапе инженер предоставляет свои результаты на оценку руководителю и получает обратную связь о проделанной им работе.

4.1.1 Продолжительность этапов работ

Так как отсутствует нормативная база по проводимым работам, а также достоверная информация о процессе выполнения подобных работ иными исполнителями, воспользуемся экспертным способом оценки продолжительности выполнения запланированных работ.

Для этого, полагаясь на собственный опыт, произведем оценку минимального и максимального времени выполнения каждого из этапов. Рассчитаем ожидаемое время выполнения работ, воспользовавшись формулой

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot t_{\min} + 2 \cdot t_{\max}}{5},$$

где $t_{ожі}$ – ожидаемое время выполнения i-го этапа работ в чел.-дн., t_{min} – минимальная продолжительность работы, дн.; t_{max} – максимальная продолжительность работы, дн.

Ожидаемое, минимальное и максимальное время исполнения в предложенной выше формуле, оцениваются в рабочих днях на человека. Произведем перевод этих величин в календарные дни, воспользовавшись следующей формулой:

$$T_{\text{КД}} = T_{\text{РД}} \cdot T_{\text{К}} ,$$

где $T_{\text{КД}}$ – продолжительность выполнения этапа в календарных днях; $T_{\text{К}}$ – коэффициент календарности, позволяющий перейти от длительности работ в рабочих днях к их аналогам в календарных днях, и рассчитываемый по формуле

$$\text{Т}_{\text{К}} = \frac{\text{Т}_{\text{КАЛ}}}{\text{Т}_{\text{КАЛ}} - \text{Т}_{\text{ВД}} - \text{Т}_{\text{ПД}}}$$

где $T_{\text{КАЛ}}$ – календарные дни ($T_{\text{КАЛ}}$ = 365); $T_{\text{ВД}}$ – выходные дни ($T_{\text{ВД}}$ = 52); $T_{\text{ПД}}$ – праздничные дни ($T_{\text{ПД}}$ = 10).

$$\text{Т}_{\text{К}} = \frac{365}{365-92-26} = 1{,}48$$

В свою очередь рабочие дни рассчитываются по следующей формуле:

$$T_{\text{РД}} = \frac{t_{\text{ож}}}{K_{\text{ВН}}} \cdot K_{\text{Д}} ,$$

$K_{ВН}$ – коэффициент выполнения работ, учитывающий влияние внешних факторов на соблюдение предварительно определенных длительностей, в частности, возможно $K_{вн}$ = 1; $K_{Д}$ – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсацию непредвиденных задержек и согласование работ ($K_{Д}$ = 1–1,2; в этих границах конкретное значение принимает сам исполнитель).

Для простоты расчетов примем $K_{Д}$ и $K_{ВН}$, равными единице. Тогда формула для расчета календарных дней преобразуется в следующую:

$$T_{\text{КД}} = T_{\text{РД}} \cdot T_{\text{К}} = \ t_{\text{ож}} \cdot T_{\text{К}} = \frac{3t_{min} + 2t_{max}}{5} \cdot 1{,}48$$

Воспользовавшись данными из таблицы 4, приведенными выше формулами, произведем расчет продолжительности выполнения работ научным руководителем и студентом в календарных днях. Результаты расчетов представлены в таблице 5. На основе данной таблице составим линейный график работ, представленный в таблице 6.

Таблица 5 – Расчет трудозатрат на выполнение проекта

Этап	Исполнители	Продолжительность работ, дни			Трудоемкость работ по исполнителям чел.-дн.			
					$T_{РД}$		$T_{КД}$	
		t_{min}	t_{max}	$t_{ож}$	НР	С	НР	С
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**
1. Постановка целей и задач исследования	НР, С	2	4	2,8	2,24	0,616	3,3152	0,91168
2. Разработка и утверждение технического задания (ТЗ)	НР, С	5	8	6,2	1,24	5,456	1,8352	8,07488
3. Подбор источников и изучение основ проектирования, программирования и механики манипуляторов	С	30	40	34	0	37,4	0	55,352
4. Разработка календарного плана выполнения работ	НР, С	2	4	2,8	0,84	2,156	1,2432	3,19088
5. Обсуждение литературы по тематике	НР, С	3	6	4,2	1,26	4,62	1,8648	6,8376
6. Выбор структурной схемы устройства	НР, С	7	14	9,8	1,96	10,78	2,9008	15,9544
7. Составление принципиально-электрической схемы устройства	НР, С	6	9	7,2	0,72	7,92	1,0656	11,7216
8. Расчет принципиальной схемы устройства	НР, С	8	14	10,4	0,52	11,44	0,7696	16,9312
9. Оформление расчетно-пояснительной записки	С	12	23	16,4	0	18,04	0	26,6992
10. Оформление графического материала	С	5	8	6,2	0	6,82	0	10,0936
11. Подведение итогов	НР, С	3	5	3,8	3,8	0	5,624	0
Итого:				**101**	**10,34**	**104,632**	**15,3032**	**154,85536**

Таблица 6 – Линейный график работ

Этап	**НР**	**С**	Октябрь			Ноябрь			Декабрь			Март			Апрель			Май
			10	**20**	**30**	**40**	**50**	**60**	**70**	**80**	**90**	**100**	**110**	**120**	**130**	**140**	**150**	**160**
1	3,32	0,91																
2	1,84	8,07																
3	0	55,35																
4	1,24	3,19																
5	1,86	6,84																
6	2,90	15,95																
7	1,07	11,72																
8	0,77	16,93																
9	0	26,70																
10	0	10,09																
11	5,62	0																

НР – ; С –

4.1.2 Расчет накопления готовности проекта

Зная трудоемкость проекта в целом, а также трудоемкости отдельных его этапов, можно просчитать нарастание технической готовности проекта по мере выполнения его этапов. Степень готовности будет рассчитывать по следующей формуле:

$$\text{СГ}_i = \frac{\text{ТР}_i^{\text{Н}}}{\text{ТР}_{\text{общ.}}} = \frac{\sum_{k=1}^{i} \text{ТР}_k}{\text{ТР}_{\text{общ.}}} = \frac{\sum_{k=1}^{i} \sum_{j=1}^{m} \text{ТР}_{km}}{\sum_{k=1}^{I} \sum_{j=1}^{m} \text{ТР}_{km}},$$

- где TP_i^H − накопленная трудоемкость i-го этапа проекта по его завершении; $TP_{общ.}$ – общая трудоемкость проекта; TP_i^H − накопленная трудоемкость i-го этапа проекта по его завершении; TP_{ij} (TP_{kj}) − трудоемкость работ, выполняемых j-м участником на i-м этапе, здесь $\text{j} = \overline{1, \text{m}}$ − индекс исполнителя, $m = 2$.

Таблица 7 – Нарастание технической готовности работы и удельный вес каждого этапа

Этапы работы	TP_i, %	$СГ_i$, %
1. Постановка целей и задач исследования	3,11	3,11
2. Разработка и утверждение технического задания (ТЗ)	2,95	6,06
3. Подбор источников и изучение основ проектирования, программирования и механики манипуляторов	19,1	25,16
4. Разработка календарного плана выполнения работ	2,14	27,3
5. Обсуждение литературы по тематике	1,34	28,64
6. Выбор структурной схемы устройства	5,67	34,31
7. Составление принципиально-электрической схемы устройства	11,34	45,65
8. Расчет принципиальной схемы устройства	9,58	55,23
9. Оформление расчетно-пояснительной записки	16,32	71,55
10. Оформление графического материала	21,52	93,07
11. Подведение итогов	6,93	100

4.2 Расчет сметы затрат на выполнение проекта

Расчет затрат для выполнения комплекса работ по проекту производится по следующим статьям:

- материалы и покупные изделия;
- заработная плата;
- социальный налог;
- расходы на электроэнергию;
- амортизационные отчисления;
- командировочные расходы;
- оплата услуг связи;
- арендная плата за пользование имуществом;
- прочие услуги (сторонних организаций);
- прочие (накладные) расходы.

В процессе выполнения работ выполнения работ по проекту исполнителям не требуется производить оплату услуг сторонних организаций, так как они являются подразделениями и/или подрядными организациями ТПУ, а также нет необходимости производить оплату за аренду имущества. Исполнители также не производят оплату командировок, услуг связи. Таким образом, касательно проекта, необходимо произвести расчет материалов и покупных изделий, заработную плату исполнителей, социальный налог, расходы на электроэнергию, амортизацию и накладные расходы.

4.2.1 Расчет затрат на материалы и покупные изделия

Работа над проектом заключается в проведении теоретических исследований в своем начале и практических – в конце. Для теоретических исследований необходимо наличие ПП MatLab, Autodesk Inventor Professional, Atmel Studio,

MS Office, MathCAD. Лицензии на все ПП, кроме Atmel Studio, приобретены ТПУ и доступны в открытом доступе для студентов, следовательно, затраты на использование данных программ не учитываются. ПП Atmel Studio является программой общего доступа и может быть скачана любым разработчиком. Так как затрат на все программное обеспечение удалось избежать, то материальные затраты в данной части состоят только из расходов на канцелярские принадлежности и расходные материалы для принтера.

При проведении практических исследований необходимо было произвести закупку такого оборудования, как двигатели, ребра жесткости, металл-конструктор, мелкая электроника. Все оборудование, за счет которого производилась работа по сборке устройства было личное, либо же предоставленное лабораторией «Телекоммуникации, приборостроения и морской геологии» ТПУ.

В материальные затраты также входят транспортно-заготовительные расходы (ТЗР), которые обуславливаются затратами на совершение сделок купли-продажи материалов, их доставку к месту использования. Обычно ТЗР составляют от 5% до 20% от общей цены материалов. Положим норму ТЗР равной 10%.

С учетом вышесказанного, составим таблицу, в которой учтены затраты на первый и второй этапы работы.

Таблица 8 – Расчет затрат на материалы

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Кол-во	Сумма
Затраты на этапе теоретических исследований			
Бумага для принтера, упак. 500 листов	257	2	514
Тетрадь общая, формат А4	93	3	279
Мультифоры, упак. 100 шт.	100	2	200
Скобы для степлера, упак. 500 шт.	84	1	84
Итого			1077
Итого (с учетом ТЗР)			1184,7
Затраты на этапе практических исследований			
Плата макетная, шт.	341	2	682
Электронные компоненты	2390	-	2390
Двигатели, шт.	3150	4	12600
Метал.конструктор	1590	2	3180
Итого			18852
Итого (с учетом ТЗР)			20737,2

Общие затраты	
Итого	19929
Итого (с учетом ТЗР)	**21921,9**

4.2.2 Расчет заработной платы

Данная статья расходов включает в себя заработную плату студента (исполнитель проекта) и научного руководителя, а также премии, входящие в фонд заработной платы. Расчет заработной платы выполняется на основе трудоемкости выполнения каждого этапа и величины месячного оклада исполнителя. Величина месячных окладов (*МО*) для сотрудников ТПУ находится в общем доступе и её можно найти на портале, либо же взять из приложения 1. Оклад студента принимается равным окладу соответствующего специалиста низшей квалификации в организации, в которой выполняются подобные виды работ или же там, где студент проходил преддипломную практику.

Для расчета заработной платы студента примем величину месячного оклада, равную окладу младшего научного сотрудника на пол ставки, т.е. $МО_С$ = 7437,225 руб.; а величина заработной платы руководителя – величина месячного оклада доцента, д.т.н. $МО_{НР}$ = 27484,86.

Для дальнейшего расчета зарплаты необходимо вычислить среднедневную ставку с учетом среднего количества рабочих дней в месяце. В 2017 году 247 рабочих дней, следовательно, количество рабочих дней в месяце равно 20,6. Таким образом, среднедневная тарифная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$ЗП_{дн} = МО/20{,}6$$

Для студента эта величина составит примерно 361 рубль, а для научного руководителя 1334,22 рубля в день. Зная среднедневную оплату труда, на можно произвести расчет основной заработной платы за период выполнения работ. Затем, учитывая премии, дополнительную заработную плату и районный коэффициент, можно рассчитать полную заработную плату по следующей формуле:

$$ЗП_{полн} = ЗП_{дн} * Т_{РД} * К_{ПР} * К_{ДОП} * К_{Р}$$

где $Т_{РД}$ – трудоемкость проекта для сотрудника в рабочих днях; $К_{ПР}$ = 1,1 – коэффициент премирования; $К_{доп}$ = 1,13 – коэффициент дополнительной заработной платы для пятидневной рабочей недели; $К_{р}$ = 1,3 – районный (северный) коэффициент. Выполнив расчеты по приведенным формулам, результаты приведены в таблице 9.

Таблица 9 – Затраты на заработную плату

Исполнитель	**Оклад, руб./мес.**	**Среднедневная ставка, руб./день**	**Затраты времени, раб. дни**	**Коэффициент**	**Фонд з/платы, руб.**
НР	27484,86	1334,22	15	1,62	**32421,5**
С	7437,225	361	155		**90647,1**
Итого					**155490,6**

4.2.3 Расчет затрат на электроэнергию

Данная статья учитывает затраты на электроэнергию, которая потребляется всем оборудованием в течение работы над проектом. Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле:

$$С_{эл.об.} = Р_{об} \cdot t_{об} \cdot Ц_{Э},$$

где $Р_{ОБ}$ – мощность, потребляемая оборудованием, кВт; $Ц_{Э}$ – тариф на 1 кВт·час ($Ц_{Э}$ = *5,782 руб/кВт·ч*); $t_{об}$ – время работы оборудования, час. Время работы оборудования определяется по формуле:

$$t_{об} = Т_{РД} * К_{t},$$

где $К_{t} \leq 1$– коэффициент использования оборудования по времени, равный отношению времени его работы в процессе выполнения проекта к $Т_{РД}$, определяется исполнителем самостоятельно. В ряде случаев возможно определение $t_{об}$ путем прямого учета, особенно при ограниченном использовании соответствующего оборудования.

Для выполнения работ студентом использовался персональный компьютер и паяльная станция. Определим затраты на потребленную оборудованием электроэнергию и сведем результаты расчетов в таблицу 10.

Таблица 10 – Затраты на электроэнергию

Наименование оборудования	Мощность оборудования, кВТ	K_t	Время работы оборудования, ч	Затраты на электроэнергию
Персональный компьютер	0,35	0,9	1054,3	1920,23
Паяльная станция	0,35	0,1	84	16,99
Принтер	0,25	0,005	1240	8,96
Итого				**1946,18**

4.2.4 Расчет затрат на социальный налог

Затраты на единый социальный налог (ЕСН), который включает в себя отчисления в пенсионный фонд, на социальное и медицинское страхование, составляют 30% от полной заработной платы по проекту и рассчитывается по формуле $С_{СОЦ} = С_{ЭЛ} * 0,3$. Итак, для проведения исследования затраты на социальный налог составляют $С_{СОЦ} = 155490,6*0,3 =$ **46647,18** руб.

4.2.5 Расчет амортизационных расходов

Расчет амортизационных расходов производится по следующей формуле:

$$С_{АМ} = \frac{Н_А * Ц_{ОБ} * t_{рф} * n}{F_Д},$$

где H_A – годовая норма амортизации единицы оборудования; $Ц_{ОБ}$ – балансовая стоимость единицы оборудования с учетом ТЗР, $F_Д$ – действительный годовой фонд времени работы соответствующего оборудования, берется из специальных справочников или фактического режима его использования в текущем календарном году, $t_{рф}$ – фактическое время работы оборудования в ходе выполнения проекта, учитывается исполнителем проекта; n – число задействованных однотипных единиц оборудования.

При работе над проектом использовались по 1 единице оборудования: персональный компьютер, принтер, паяльная станция. Первые два типа оборудования входят в одну группу – вычислительная техника, следовательно, они

имеют одинаковый срок полезного использования, равный 2-3 годам. Так как компьютер эксплуатировался более 4 лет уже к началу работ, то срок его полезного использования истек, следовательно, амортизационные расходы на данный вид оборудования равны нулю. Принтер эксплуатировался к началу проведения работ более 7 лет, следовательно, амортизационные расходы на него тоже нулевые. Паяльная станция была приобретена к началу выполнения работ 1 год назад и данный тип оборудования входит в пятую группу – специальное технологическое оборудование для производства электронной и радиотехники. Срок полезного использования составляет с 7 до 10 лет. Зададим конкретное значение СА, равное 8 годам.

Таким образом, амортизационные расходы на использование оборудования (паяльной станции) составят:

$$\mathrm{С_{АМ}} = \frac{\mathrm{Н_А} * \mathrm{Ц_{ОБ}} * t_{\mathrm{рф}} * n}{F_{\mathrm{Д}}} = \frac{0{,}125 * 6500 * 84 * 1}{8 * 247} = \mathbf{34{,}54}\ \text{руб.}$$

4.2.6 Расчет прочих (накладных) расходов

В статье «Прочие расходы» отражены расходы на выполнение проекта, которые не учтены в предыдущих статьях, их следует принять равными 10% от суммы всех предыдущих расходов, т.е.

$$С_{\text{проч.}} = (С_{\text{мат}} + С_{\text{зп}} + С_{\text{соц}} + С_{\text{эл.об.}} + С_{\text{ам}}) \cdot 0{,}1 = (21921{,}9 + 155490{,}6 + 1946{,}18 + 46647{,}18 + 34{,}54) \cdot 0{,}1 = 226040{,}4 \cdot 0{,}1 = \mathbf{22604{,}04\ руб}.$$

4.2.7 Расчет общей себестоимости разработки

Рассчитав сумму всех расходов на выполнение запланированных работ, произведем расчет общей себестоимости проекта. Результаты расчетов представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Расчет общей себестоимости проекта

Статья затрат	Обозначение	Сумма, руб.
Материалы и покупные изделия	$C_{мат}$	21921,9
Заработная плата	$C_{зп}$	155490,6
Отчисления в социальные фонды	$C_{соц}$	46647,18
Расходы на электроэнергию	$C_{эл.}$	1946,18
Амортизационные отчисления	$C_{ам}$	34,54
Прочие расходы	$C_{проч}$	22604,04
ИТОГО:		**248644,44**

Таким образом, затраты на разработку составили C = **248644,44** руб.

4.2.8 Расчет прибыли, НДС и цены разработки НИР

Так как информация для применения сложных методов расчеты прибыли отсутствует, то прибыль может варьироваться в пределах от 5% до 20% от себестоимости продукта. Заложим в проект прибыль, равную 13% от себестоимости. Таким образом

$$P = 0{,}13 * C = \mathbf{32323{,}78} \text{ руб.}$$

Рассчитаем НДС как 18% от суммы затрат на разработку и заложенной прибыли, т.е.:

$$НДС = (P + C) * 0{,}18 = 50574{,}28 \text{ руб.}$$

Цена разработки НИР – это сумма трех составляющих: полной себестоимости проекта, прибыли и НДС, т.е.:

$$Ц_{НИР} = 248644{,}44 + 32323{,}78 + 50574{,}28 = \mathbf{331542{,}5} \text{ руб.}$$

4.3 Оценка экономической эффективности проекта

Результатом проведения НИР является создание системы управления манипуляторами подводного аппарата, алгоритмов работы связной системы манипуляторов. Положительные эффекты, которые достигаются благодаря внедре-

нию данной разработки в производственный процесс, – сокращение затрат использования человеческого ресурса при проведении мониторинговых, ремонтных работ под водой, транспортировке малых грузов, прокладке кабелей и т.д. Таким образом, создаваемая система позволит ускорить вышеописанные процессы, а также может привести к сокращению использования водолазов с целью проведения ремонтных/транспортных/поисковых/исследовательских работ на глубинах до 50 м.

Более того, внедрение подобной системы позволит снизить не только затраты, связанные с проведением водолазных работ, но и увеличит само время работы, так как аппарату нет необходимости «отдыхать».

Следовательно, применение разработанной системы для существующих или создающихся ТНПА позволит предприятиям сократить расходы по двум основным статьям: расходы на заработную плату и материалы для проведения подводных работ. Также длина производственного цикла будет сокращена при увеличении его эффективности. По типу экономических эффектов, результат создаваемой разработки относится к коммерческому типу эффекта. Косвенный социальный положительный эффект, возникающий при использовании подобной системы на ТНПА, заключается в повышении безопасности работ, проводимых под водой.

В рамках выполнения данного проекта планируется создать прототип манипуляционной системы, протестировать систему управления, в случае необходимости произвести устранение неполадок. Данный проект не предполагает какой-либо коммерциализации, а лишь создание лабораторного образца, используемого для испытаний технологического оборудования.

Для получения качественной оценки экономической эффективности разработанного проекта, необходимо проведение специального комплексного исследования, которое выходит за рамки представленной работы.

4.3.1 Оценка научно-технического уровня НИР

Произведем оценку научно-технического уровня разработки при помощи вычисления интегрального индекса научно-технического уровня $I_{НТУ}$. Расчет данного индекса производится как взвешенная сумма количественных оценок НИР по трем признакам: уровень новизны, теоретический уровень и возможность реализации.

Критерии оценки уровня приведены в таблице 12; критерии оценки теоретического уровня – в таблице 13; критерии оценки возможности реализации – в таблице 14.

Таблица 12 – Критерии оценки уровня новизны НИР

Уровень новизны	**Характеристика уровня новизны – n_1**	**Баллы**
Принципиально новая	Новое направление в науке и технике, новые факты и закономерности, новая теория, вещество, способ	8 – 10
Новая	По-новому объясняются те же факты, закономерности, новые понятия дополняют ранее полученные результаты	5 – 7
Относительно новая	Систематизируются, обобщаются имеющиеся сведения, новые связи между известными факторами	2 – 4
Не обладает новизной	Результат, который ранее был известен	0

Таблица 13 – Критерии оценки теоретического уровня НИР

Теоретический уровень полученных результатов – n_2	**Баллы**
Установка закона, разработка новой теории	10
Глубокая разработка проблемы, многоспектральный анализ взаимодействия между факторами с наличием объяснений	8
Разработка способа (алгоритм, программа и т. д.)	6
Элементарный анализ связей между фактами (наличие гипотезы, объяснения версии, практических рекомендаций)	2
Описание отдельных элементарных факторов, изложение наблюдений, опыта, результатов измерений	0,5

Таблица 14 – Критерии оценки возможности реализации НИР по времени

Время реализации – n_3	**Баллы**
В течение первых лет	10
От 5 до 10 лет	4
Свыше 10 лет	2

Разработанные в ходе выполнения НИР система управления, алгоритма, являются новыми способами решения существующих задач, а в некоторых аспектах превосходят существующие на рынке технические решения. Таким образом, уровень новизны НИР составит 7 баллов. Теоретический уровень разработки новых способов и алгоритмов, следуя таблице 10, оценивается в 6 баллов. Возможность реализации можно оценить в 10 баллов, так как работа выполняется в рамках проекта и имеет четкие и ограниченные сроки по выполнению.

Таким образом, произведем расчет интегрального индекса НТУ НИР:

$$I_{НТУ} = \sum_{i=1}^{3} k_i \cdot n_i = 0{,}4 \cdot 7 + 0{,}1 \cdot 6 + 0{,}5 \cdot 10 = 8{,}4$$

Так как индекс НТУ равен 8,4 балла, то это означает, что НТУ соответствует высокому уровню проведенной НИР.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
8ЕМ51	Булуев Илья Иванович

Институт	Кибернетики	Кафедра	СУМ
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	Мехатроника и робототехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	*Объектом исследования является процесс проектирования манипуляционной системы, устанавливаемой на подводный аппарат «Odyssey». Процесс проектирования выполняется при помощи компьютера и паяльной станции. Система включает в себя три манипулятора, каждый из которых имеет 3 степени подвижности и захват. Основные задачи – разработка СУ, алгоритма работы системы и проектирование манипуляторов.*
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Производственная безопасность 1.1. Анализ вредных факторов при разработке и эксплуатации: – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты; 1.2. Анализ опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности: – механические опасности (источники, средства защиты; – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты).	*Анализ вредных факторов:* • освещённость рабочей зоны; • уровень шума; • уровень электромагнитных излучений; • напряжённость электрического поля; • параметры микроклимата. *Анализ опасных факторов:* • электрический ток (источником является ПК); • термическая опасность (источником является паяльная станция).
2. Экологическая безопасность: – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.	Воздействие объекта на атмосферу, гидросферу не происходит. В работе проведён анализ воздействия на литосферу (образование отходов при поломке ПК, отходов при пайке).
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	В аудиторном помещении возможно ЧС техногенного характера – пожар (возгорание).

– перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.	
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	Рабочее место при выполнении работ в положении сидя должно соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.032-78. Требования к организации оборудования рабочих мест с ПК регулируется в СанПиН 2.2.2/2.4.1340 – 03.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент каф. ЭБЖ	Пустовойтова Марина Игоревна	к.х.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЕМ51	Булуев Илья Иванович		

Введение

Объектом исследования является процесс проектирования манипуляционной системы, устанавливаемой на подводный аппарат «Odyssey». Система включает в себя три манипулятора, каждый из которых имеет 3 степени подвижности и схват. Основными задачами работы являются разработка СУ, алгоритма работы системы, кода программы и проектирование манипуляторов. Процесс проектирования выполняется с использованием ПК и паяльной станции.

Результат выполнения работы представляет собой прототип системы манипулирования подводного аппарата, алгоритмов и программного обеспечения, применяемого инженерами-проектировщиками при разработке телеуправляемых и автономных необитаемых подводных аппаратов.

Работа с объектом исследования, т.е. системой манипуляторов, осуществляется с применением персональных компьютеров (ПК) в соответствующих помещениях, а также использование паяльной станции и средств для пайки для разводки и сборки макетной платы управления.

В данном разделе рассматриваются особенности организации рабочего места и рабочей среды специалиста, осуществляющего создание вышеописанной системы. Конечная система представляет из себя совокупность электрической и механической частей, а также разработанного программного обеспечения.

Предполагается, что проектирование механической, электрической частей системы, а также разработка программного обеспечения осуществляется в закрытом, отапливаемом и вентилируемом помещении, на рабочем месте, оснащенном персональным компьютером и паяльной станцией со средствами, предназначенными для пайки.

Возможными пользователями данного решения являются, в первую очередь, научно-исследовательские центры, занимающиеся исследованиями мирового океана, нефте- и газодобывающие кампании (осуществление мониторинга подводных нефте- и газотрубопроводов, прокладка силовых кабелей и т.п.), а также университеты, занимающиеся проблемами морских технологий, где весь

комплекс аппарата, либо же манипуляционная система в отдельности, могут стать наглядным стендом для практической работы.

5.1 Производственная безопасность

Согласно ГОСТ 12.0.003-74 опасные и вредные производственные факторы делятся на 4 основные группы:

– физические;

– химические;

– биологические;

– психофизические.

Так как большая часть работы связана с проектированием систем автоматического управления, то стоит выделить те физические факторы, воздействующие на человека, решающего инженерные задачи с использованием ПК, к которым относятся:

– освещённость рабочей зоны, отсутствие или недостаток естественного света;

– уровень шума;

– уровень электромагнитных излучений;

– влажность воздуха (микроклимат);

– напряжённость электрического поля.

Все вышеперечисленные факторы относятся к группе вредных факторов. Среди опасных же можно выделить электрический ток и термическую опасность.

5.1.1 Освещённость рабочей зоны

Освещение рабочего места специалиста по проектированию и разработке САУ складывается из естественного и искусственного освещения. Естественное освещение достигается установкой оконных проемов с коэффициентом естественного освещения КЕО не ниже 1,2% в зонах с устойчивым снежным покровом и не ниже 1,5% на остальной территории. Световой поток из оконного проема должен падать на рабочее место оператора с левой стороны.

Работа за ПК относится к зрительным работам высокой точности для любого типа помещений [34]. Столбцы таблицы 15 содержат следующие сведения:

1-характеристика зрительных работ;

2-наименьший или эквивалентный размер объекта различения, мм;

3-разряд зрительной работы;

4-подразрядзрительной работы;

5-относительная продолжительность зрительной работы, %;

6-освещенность на рабочей поверхности от системы общего искусственного освещения, лк;

7-цилиндрическая освещенность, лк;

8-показатель дискомфорта;

9-коэффициент пульсации освещенности, %;

10-КЕО при верхнем освещении, %;

11-КЕО при боковом освещении, %.

Таблица 15 – Нормирование освещённости для работы за ПК [34]

1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**
Высо-	От 0,3	Б	1	Более 70	300	100	40	15	3,0	1,0
кой точ-	От 0,5		2	Менее 70	200	75	60	20	2,5	0,7
ности										

Искусственное освещение в помещениях эксплуатации компьютеров должно осуществляться системой общего равномерного освещения.

Искусственное освещение выполняется посредством электрических источников света двух видов: ламп накаливания и люминесцентных ламп. Люминесцентные лампы отличаются от ламп накаливания более высокими эксплуатационными характеристиками: близостью спектрального состава светового потока к естественному освещению, более длительным сроком службы, более высоким коэффициентом полезного действия.

Требования к освещению на рабочих местах, оборудованных ПК представлены в таблице 16.

Таблица 16 – Требования к освещению на рабочих местах, оборудованных ПК[35]

Освещенность на рабочем столе	300-500 лк
Освещенность на экране ПК	не выше 300 лк
Блики на экране	не выше 40 кд/м^2
Прямая блесткость источника света	200 кд/м^2
Показатель ослеплённости	не более 20
Показатель дискомфорта	не более 15
Отношение яркости:	
– между рабочими поверхностями	3:1–5:1
– между поверхностями стен и оборудования	10:1
Коэффициент пульсации:	не более 5%

Работа за паяльной станцией относится к зрительным работам при пайке материалов толщиной 0.5 – 1.5 мм, что определяет разряд зрительной работы: IIIб [36].

Таблица 17 – Рекомендуемые показатели освещения при пайке [36]

Освещенность, лк		**Показатель ослепленности**	**Коэффициент пульсации, %, не более**
комбинированное освещение	**общее освещение**		
1250	400	40	10/15

5.1.2 Уровень шума

При выполнении работ, описанных выше, специалист может оказаться под шумовым воздействием со стороны оборудования, находящегося в рабочем помещении: персональные компьютеры, печатающие устройства, оборудование поддержки микроклимата (кондиционеры, вентиляция) и прочее.

Работы, выполняемые специалистом, оцениваются как научная деятельность, конструирование и проектирование, программирование, следовательно, согласно СН2.2.4/2.1.8.562-96 эквивалентный уровень шума в рабочем помещении недолжен превышать 50дБА.

Таблица 18 – Эквивалентные уровни звука для проектно-конструкторских бюро, лабораторий для теоретических работ [37]

Вид трудовой деятельности, рабочее место	**Эквивалентные уровни шума, дБА**
Творческая деятельность, руководящая работа с повышенными требованиями, научная деятельность, конструирование и проектирование, программирование, преподавание и обучение, врачебная деятельность. Рабочие места в помещениях дирекции, проектно-конструкторских бюро, расчетчиков, программистов вычислительных машин, в лабораториях для теоретических работ и обработки данных, приема больных в здравпунктах	80

Наиболее эффективная защита от производственного шума создается с помощью специальных архитектурно-строительных решений на этапе проектирования здания, планировки офиса и рабочих мест в нём.

В качестве дополнительных мер по защите от шума можно применять различные звукоизолирующие кожухи, акустические экраны, звукопоглощающие отделочные материалы. На рисунке 30 показан пример использования акустических экранов в вычислительных центрах.

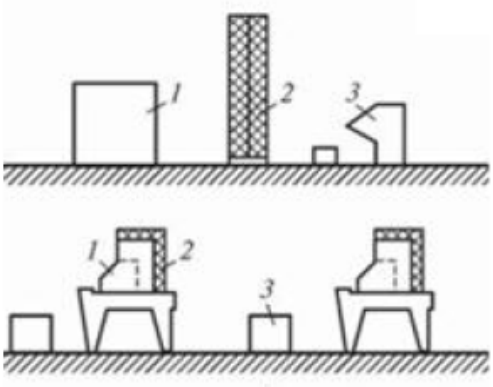


Рисунок 30 – Пример защиты от производственного шума в вычислительных центрах (1 – шумное оборудование, 2 – защитный экран, 3 – рабочее место)

5.1.3 Уровень электромагнитных излучений; напряжённость электрического поля

Источником электромагнитного поля и электромагнитных излучений на рабочем месте является компьютер, в частности экран монитора компьютера. Электромагнитное поле, создаваемое ПК, имеет сложный спектральный состав в диапазоне частот от 0 Гц до 1000 МГц, и в том числе мощность экспозиционной дозы мягкого рентгеновского излучения в любой точке на расстоянии 0,05 м от экрана при любых положениях ПК не должна превышать 100 мкР/час [38].

Время работы на персональном компьютере по санитарным нормам не должно превышать 4 часа.

Допустимые значения параметров неионизирующих электромагнитных излучений от монитора компьютера представлены в таблице 19.

Таблица 19 – Допустимые значения параметров неионизирующих электромагнитных излучений [38]

Наименование параметра	**Допустимые значения**
Напряженность электрической составляющей электромагнитного поля на расстоянии 50см от поверхности видеомонитора	10 В/м
Напряженность магнитной составляющей электромагнитного поля на расстоянии 50см от поверхности видеомонитора	0,3 А/м
Напряженность электростатического поля не должна превышать: – для взрослых пользователей – для детей дошкольных учреждений и учащихся средних специальных и высших учебных заведений	 20 кВ/м 15 кВ/м

Предельно-допустимые нормы ЭМП представлены в таблице 20.

Таблица 20 – Предельно допустимые нормы ЭМП [39]

Напряжённость электрического поля	
в диапазоне частот 5 Гц–2 кГц	25 В/м
в диапазоне частот 2 кГц–400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	
в диапазоне частот 5 Гц–2 кГц	250 нТл
в диапазоне частот 2 кГц–400 кГц	25 нТл

Ряд мероприятий, позволяющих уменьшить влияние вредных факторов на работника при работе за ПК: каждый час необходимо делать перерыв, для выполнения гимнастики для глаз, а также выполнять несколько упражнений на расслабление, которые могут уменьшить напряжение, накапливающееся в мышцах при длительной работе за компьютером.

5.1.4 Параметры микроклимата

При рассмотрении данного раздела, воспользуемся СанПиН 2.2.4.549-96 для определения оптимальных параметров микроклимата в зависимости от периода года и интенсивности энергозатрат.

Таблица 21 - Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений [39]

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, ^{o}C	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Ia (до 139)	22-24	40-60	0,1
Тёплый	Ia (до 139)	23-25		0,1
Холодный	IIб (233-290)	17-19		0,2
Теплый	IIб (232-290)	19-21		0,2

Выполняемые работы за компьютером по интенсивности энергозатрат попадают в категорию Iа, так как выполняются сидя и без значительных физических напряжений. Таким образом, оптимальными нужно считать параметры микроклимата, соответствующие категории Iа в таблице 21.

Для поддержания оптимальных параметров микроклимата необходимо применять системы отопления, вентиляции и кондиционирования, увлажнители воздуха. Кроме упомянутых средств защиты, согласно СанПиН2.2.2/2.4.1340-03, в рабочих помещениях с ПЭВМ необходимо ежедневно проводить влажную уборку и каждый час проветривать помещение.

Выполняемые работы за паяльной станцией по интенсивности энергозатрат попадают в категорию IIб, так как выполняются сидя и имеют высокую напряженность зрительных работ. Таким образом, оптимальными нужно считать параметры микроклимата, соответствующие категории IIб в таблице 21.

5.1.5 Вредные вещества, проникающие в организм человека через органы дыхания

При пайке происходит выделение паров свинца (при температуре свыше 500^{o}C) и олова (при температуре свыше 232^{o}C) из припоя.

Предельно-допустимые концентрации веществ указаны в таблице 22.

Таблица 22 – ПДК вредных веществ в воздухе рабочей зоны [46]

Наименование вещества	**Величина ПДК, мг/м^3**	**Класс опасности**	**Особенности действия на организм**
Свинцово-оловянный припой	0.05	1	Возникновение болезней органов дыхания, системы кровообращения, мочеполовой системы, кожи и подкожной клетчатки.

Чтобы избежать образования паров олова в помещении, необходимо подвергать его постоянному проветриванию, либо же использовать вентилятор.

Специалисту, занимающемуся пайкой, необходимо пить ежедневно стакан сливового сока, а через час любой кисломолочный продукт, например, кефир [42].

5.1.6 Электрический ток (источник: ПК)

Электробезопасность представляет собой систему организационных и технических мероприятий, а также средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статистического электричества.

Токи статического электричества, наведенные в процессе работы компьютера на корпусах монитора, системного блока, клавиатуры, а также при работе за паяльной станцией, могут приводить к разрядам при прикосновении к этим элементам. Такие разряды опасности для человека не представляют, но могут привести к выходу из строя вышеописанного оборудования.

На рабочем месте пользователя размещены дисплей, клавиатура и системный блок. Использование паяльной станции со всеми необходимыми принадлежностями предполагается отдельно, когда на рабочем месте могут присутствовать все элементы ПК, но они находятся на расстоянии не менее вытянутой руки сидящего работника.

Перед началом работы следует убедиться в отсутствии свешивающихся со стола или висящих под столом проводов электропитания, в целостности вилки и провода электропитания, в отсутствии видимых повреждений аппаратуры и рабочей мебели, в отсутствии повреждений и наличии заземления приэкранного фильтра.

Методы защиты от воздействия статического электричества:

– влажная уборка, чтобы уменьшить количество пылинок в воздухе и на предметах офиса;

– использование увлажнителей воздуха;

– защитное заземление;

– применение средств индивидуальной защиты, таких как антистатические спреи и браслеты.

Допустимый ток частотой 50 Гц при длительности воздействия более10 секунд составляет 2 мА, а при длительности 10 секунд и менее – 6 мА. Для переменного тока эта величина соответственно равна 10 и 15 мА.

Методы защиты от опасности поражения электрическим током:

– электрическая изоляция токоведущих частей (сопротивление изоляции должно быть не менее 0,5 МОм);

– ограждение токоведущих частей, которые работают под напряжением;

– использование малых напряжений, например, не более 50 В;

– электрическое разделение сетей на отдельные короткие участки;

– защитное заземление и зануление;

– применение средств индивидуальной защиты, таких как плакаты и знаки безопасности, изолирующие подставки, указатели напряжения.

5.1.7 Термическая опасность (источником является паяльная станция)

Работы, связанные с пайкой и лужением, относятся к огневым работам и выполняются в соответствии с требованиями пожарной безопасности.

Один из основных опасных факторов, возникающих при паяльных и лудильных работах – ожоги брызгами расплавленного металла и флюса.

Основным условием при пайке и лужении является проведение их в ваннах с расплавленным припоем. Рабочий должен снабжаться защитными очками, рукавицами и фартуком, что является основной мерой безопасности и предотвращения термических и химических ожогов при попадании расплавленного металла или флюса на кожу [40].

5.2 Экологическая безопасность

Обеспечение экологической безопасности технологического процесса состоит в проведении мероприятий, направленных на охрану атмосферы, гидросферы и литосферы от вредных выбросов, образующихся в течение технологического процесса.

Очевидно, что процесс проектирования СУ не является источником образования каких-либо видов отходов, соответственно, не оказывает негативного влияния на состояние окружающей среды. Однако, помимо проектирования СУ, в работе используется ПК, паяльная станция. Рассмотрим влияние негативных факторов, сопутствующих эксплуатации ПК, работа на паяльной станции, на окружающую среду.

При использовании ПК могут возникнуть следующие виды негативного воздействия на окружающую среду:

- выбросы в атмосферу углекислого газа и образование тепла при пожаре;
- загрязнение почвы при утилизации старого ПК.

ПК после завершения использования (срока эксплуатации) можно отнести к отходам электронной промышленности. Переработка такого рода отходов осуществляется разделением на однородные компоненты, химическим выделением пригодных для дальнейшего использования компонентов и направлением их для дальнейшего использования: кремний, алюминий, золото, серебро, редкие металлы.

Пластмассовые части ПК утилизируются при высокотемпературном нагреве без доступа воздуха. ПК может содержать: тяжелые металлы, печатные платы с замедлителями горения, которые при горении могут выделять опасные диоксиды. Для опасных отходов используют теплоту сжигания, то есть специальные печи, такой способ не исключает образования токсичных выбросов.

Отходы, которые не подлежат переработке, утилизации ивторичному использованию, подлежат захоронению на полигонах или впочве. Большое значение имеют нормативы предельно допустимых концентраций токсичных веществ в почве (ПДКп, мг/кг) в соответствии с [41].

При пайке могут возникнуть следующие виды негативного воздействия на окружающую среду:

- при перегреве припоя свыше температуры 500^{o}C происходит образование паров свинца.

- при перегреве припоя свыше температуры 232^{o}C происходит образование паров олова.

Для избежания перегрева паяльника следует ознакомиться с его техническими характеристиками и необходимым напряжением питания для него. Обычно ситуации перегревания паяльника возникает при подключении к сети питания с напряжением, значительно выше номинального. В таких случаях необходимо использовать понижающие трансформаторы, чтобы добиться необходимого напряжения. Менее безопасным является способ периодического включения/отключения паяльника.

Наиболее безопасным способом избегания перегревания является использование паяльных станций, которые имеют возможность нагрева до определённой температуры. При использовании таких паяльных станций выделение паров свинца из припоя сводится к нулю.

5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Наиболее вероятной ЧС, которая может возникнуть на рабочем месте – пожар (взрыв), следовательно, основным пунктом, рассматриваемом в данном разделе являются меры противопожарной защиты.

5.3.1 Пожарная безопасность

Компьютерный класс по пожарной безопасности относится к категории В, в нём находятся горючие материалы и вещества в холодном состоянии [44]. По степени огнестойкости данное помещение относится к 3-й степени огнестойкости [45]. Возможные причины пожара: перегрузка в электросети, короткое замыкание, разрушение изоляции проводников.

Для локализации или ликвидации загорания на начальной стадии используются первичные средства пожаротушения:

– огнетушащие вещества (вода, песок, земля);

– огнетушащие материалы (грубошерстные куски материи – кошмы, асбестовые полотна, металлические сетки с малыми ячейками и т. п.);

– немеханизированный ручной пожарный инструмент (багры, крюки, ломы, лопаты и т. п.);

– пожарный инвентарь (бочки и чаны с водой, пожарные ведра, ящики и песочницы с песком);

– пожарные краны на внутреннем водопроводе противопожарного водоснабжения в сборе с пожарным стволом и пожарным рукавом;

– огнетушители [45].

Первичные средства пожаротушения обычно применяют до прибытия пожарной команды.

Здание должно соответствовать требования пожарной безопасности, а именно, наличие охранно-пожарной сигнализации, плана эвакуации (рис. 2), порошковых огнетушителей с поверенным клеймом, табличек с указанием направления к запасному (эвакуационному) выходу.

Углекислотные огнетушители ОУ-3, ОУ-5 предназначены для тушения загораний веществ, горение которых не может происходить без доступа воздуха, загораний электроустановок, находящихся под напряжением не более 1000В, жидких и газообразных веществ (класс В, С).

Огнетушители не предназначены для тушения загорания веществ, горение которых может происходить без доступа воздуха (алюминий, магний и их сплавы, натрий, калий), такими огнетушителями нельзя тушить дерево.

На рисунке 31 представлен план эвакуации при пожаре и других ЧС.

Рисунок 31 – План эвакуации людей при пожаре и других ЧС (шестой этаж)

В общественных зданиях и сооружениях на каждом этаже должно размещаться не менее двух переносных огнетушителей. Огнетушители следует располагать на видных местах вблизи от выходов из помещений на высоте не более 1,35 м. Размещение первичных средств пожаротушения в коридорах, переходах не должно препятствовать безопасной эвакуации людей.

5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

5.4.1 Правовые нормы трудового законодательства

Законодательством РФ регулируются отношения между организацией и работниками, касающиеся оплаты труда, трудового распорядка, социальных отношений, особенности регулирования труда женщин, детей, людей с ограниченными способностями и др.

Продолжительность рабочего дня не должна превышать 40 часов в неделю. Для работников до 16 лет – не более 24 часов в неделю, от 16 до 18лет – не более 35 часов, как и для инвалидов I и II группы. Для работников, работающих на местах, отнесенных к вредным условиям труда 3 и 4 степени– не более 36 часов.

Возможно установление неполного рабочего дня для беременной женщины; одного из родителей (опекуна, попечителя), имеющего ребенка в возрасте до четырнадцати лет (ребенка-инвалида в возрасте до восемнадцати лет) [43]. Оплата труда при этом производится пропорционально отработанному времени. Ограничений продолжительности ежегодного основного оплачиваемого отпуска, исчисления трудового стажа и других трудовых прав при этом не имеется.

При работе в ночное время, продолжительность рабочей смены должна составлять на один час меньше. К работе в ночные смены не допускаются беременные женщины; работники, не достигшие возраста 18 лет; женщины, имеющие детей в возрасте до трех лет, инвалиды, работники, имеющие детей-инвалидов, а также работники, осуществляющие уход за больными членами их семей в соответствии с медицинским заключением, матери и отцы – одиночки детей до пяти лет [43].

Организация обязана предоставлять ежегодные отпуска продолжительностью 28 календарных дней. Для работников, занятых на работах с опасными или вредными условиями, предусматривается дополнительный отпуск.

Работнику в течение рабочего дня должен предоставляться, перерыв не более 2 часов и не менее 30 минут, который в рабочее время не включается. Всем работникам предоставляются выходные дни, работа в выходные дни производится только с посменного согласия работника.

Организация выплачивает заработную плату работникам. Возможно удержание заработной платы, в случаях, предусмотренных ТК РФ ст. 137. В случае задержки заработной платы более чем на 15 дней работник имеет право приостановить работу, письменно уведомив работодателя.

Законодательством РФ запрещены дискриминация по любым признакам, а также принудительный труд.

5.4.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

В данном разделе рассмотрим основные требования по эргономике рабочего места при выполнении работ сидя. Данные требования регламентируются ГОСТ 12.2.032-78 «Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования». В ГОСТе указаны такие параметры, как высота сидения, ширина пространства для ног, высота рабочей поверхности для человека, выполняющего работы в сидячем положении.

Предъявляемые требования к расположению и компоновке рабочего места:

«Высота рабочей поверхности стола для взрослых пользователей должна регулироваться в пределах (680÷800) мм, при отсутствии такой возможности высота рабочей поверхности стола должна составлять725 мм [35].

Модульными размерами рабочей поверхности стола для ПК, на основании которых должны рассчитываться конструктивные размеры, следует считать: ширину 800, 1000, 1200 и 1400 мм, глубину 800 и 1000 мм при нерегулируемой его высоте, равной 725 мм [35].

Рабочий стол должен иметь пространство для ног высотой не менее 600 мм, шириной – не менее 500 мм, глубиной на уровне колен – не менее 450мм и на уровне вытянутых ног – не менее 650 мм [35].

Конструкция рабочего стула должна обеспечивать:

– ширину и глубину поверхности сиденья не менее 400 мм;

– поверхность сиденья с закругленным передним краем;

– регулировку высоты поверхности сиденья в пределах (400÷550) мм и углам наклона вперед до 15 град, и назад до 5 град.;

– высоту опорной поверхности спинки (300±20) мм, ширину – не менее 380 мм и радиус кривизны горизонтальной плоскости –400 мм;

– угол наклона спинки в вертикальной плоскости в пределах ±30 градусов;

– регулировку расстояния спинки от переднего края сиденья в пределах (260÷400) мм;

– стационарные или съемные подлокотники длиной не менее 250мм и шириной – (50÷70) мм;

– регулировку подлокотников по высоте над сиденьем в пределах (230±30) мм и внутреннего расстояния между подлокотниками в пределах (350÷500) мм [35].

Рабочее место пользователя ПК следует оборудовать подставкой для ног, имеющей ширину не менее 300 мм, глубину не менее 400 мм, регулировку по высоте в пределах до 150 мм и по углу наклона опорной поверхности подставки до 20°. Поверхность подставки должна быть рифленой и иметь по переднему краю бортик высотой 10 мм [35].

Клавиатуру следует располагать на поверхности стола на расстоянии (100÷300) мм от края, обращенного к пользователю или на специальной, регулируемой по высоте рабочей поверхности, отделенной от основной столешницы [35].

Экран видеомонитора должен находиться от глаз пользователя на расстоянии (600÷700 мм), но не ближе 500 мм [35].

Паяльную станцию следует располагать по правую сторону на поверхности стола на расстоянии (300÷500) мм от края, обращённого к рабочему. Все материалы для пайки должны располагаться на противоположной части рабочего места на расстоянии, не превышающем длину руки рабочего.

Рекомендуется работать в помещении, где окна выходят на север или северо-восток. Местное освещение не должно создавать блики на поверхности экрана дисплея. Недопустим яркий нерассеянный верхний свет (с потолка). Сдерживать поток избыточного света от окон следует с помощью жалюзи (или тканевых штор); чистота обязательна при работе за компьютером. Влажную

уборку помещения следует проводить ежедневно. Недопустима запыленность воздуха, пола, рабочей поверхности стола и техники. Помещение должно быть оборудовано системами вентиляции, кондиционирования и отопления. Запрещается работа на компьютере и за паяльной станцией в подвальных помещениях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения магистерской диссертации были достигнуты результаты, перечисленные ниже.

- Проведён аналитический обзор литературы по существующим манипуляционным системам подводных аппаратов
- Разработана структурная, функциональная и электрическая принципиальная схемы манипуляционной системы подводного аппарата.
- На основе анализа существующих технических решений и технического задания проведён выбор элементов системы.
- Составлен алгоритм работы одноплатного компьютера Raspberry Pi II B, микроконтроллера Atmega 8A.

Разработана и изготовлена электрическая часть устройства в виде платы с МК Atmega 8A, создан экспериментальный образец манипулятора по 3D-модели, что позволяет решать следующие задачи:

- захват и удержание объектов манипулирования массой до 200г на вытянутом манипуляторе;
- осуществляется компьютерное управление манипулятором, что является имитацией реального АРМ оператора;
- манипулирование в рабочей зоне от 140мм до 300мм вокруг основания.

Спроектированный манипулятор также имеет некоторые преимущества перед существующими аналогами, которые представлены в настоящее время на российском и зарубежном рынках:

1) наличие подшипников во всех подвижных частях манипулятора;
2) простота сборки при учете её последовательности;
3) расположение двигателей в основании манипулятора, что позволило уменьшить их мощность и массу;
4) изменение положения манипулятора происходит по трем осям и все двигатели обеспечивают поворот не менее чем на 90 градусов;

5) схват всегда остается параллельным, либо же перпендикулярным основанию за счет соблюдения параллельности тяг и плеч, а также параллельных шарниров.

В перспективе планируется изготовить манипуляционную систему на основе высокопрочных легких материалов, произвести эксперименты в реальных условиях на борту необитаемого телеуправляемого подводного аппарата Odyssey, а также использовать готовую манипуляционную систему в качестве лабораторного стенда. В рамках работы над проектом по программе «УМНИК-НТИ» будет подан патент "Способ захвата и удержания объектов с сохранением стабилизации подводного робота" во втором квартале 2018 года.

Изготовленный прототип может быть использован для проведения тестовых испытаний подводного оборудования в условиях лаборатории «Телекоммуникации, приборостроения и морской геологии» Института кибернетики, Томского политехнического университета.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СТУДЕНТА

1. Булуев И.И. Проектирование системы автоматической калибровки глубоководного магнитометра // Актуальные вопросы науки, технологии и производства. – 2014 г. – № 2. С. 32–35.

2. Булуев И.И. Создание системы калибровки датчиков для подводных роботов: проектирование и программирование // Ресурсоэффективным технологиям – энергию и энтузиазм молодых. 22–24 апреля 2015 г., г. Томск, ТПУ, С. 356 – 360.

3. Buluev I. I. Simulation for pid–controller of the exoskeleton [Electronic resorces] // Современные техника и технологии: сборник трудов XX международной научно–практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых: в 3 т., Томск, 14–18 Апреля 2014. – Томск: ТПУ, 2014 – Т. 1 – С. 374–377. – URL: http://www.lib.tpu.ru/fulltext/c/2014/C01/V1/C01_V1.pdf

4. Buluev I. I. Transmission system for automatic calibration test of deep–water magnetometer [Electronic resorces] // Молодежь и современные информационные технологии: сборник трудов XII Всероссийской научно–практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых: в 2 т., Томск, 12–14 Ноября 2014. – Томск: ТПУ, 2014 – Т. 1 – С. 376–377. – URL: http://www.lib.tpu.ru/fulltext/c/2014/C04/V1/C04_V1.pdf

5. Fedorov E. A., Buluev I. I. Use of highly sensitive hall sensors in magnetometers [Electronic resorces] // Молодежь и современные информационные технологии: сборник трудов XII Всероссийской научно–практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых: в 2 т., Томск, 12–14 Ноября 2014. – Томск: ТПУ, 2014 – Т. 1 – С. 317–318. – URL: http://www.lib.tpu.ru/fulltext/c/2014/C04/V1/C04_V1.pdf

6. Maslov V. E., Buluev I. I. Application of Bioloid Robot for Educational Purposes [Electronic resorces] // Молодежь и современные информационные технологии: сборник трудов XI Международной научно–практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск, 13–16 Ноября 2013. – Томск: ТПУ, 2013 – С. 495–496. – URL: http://www.lib.tpu.ru/fulltext/c/2013/C04/C04.pdf

7. Булуев И. И. ROBOTIS BIOLOID: нестандартный взгляд на промышленное применение робота [Электронный ресурс] // Современные техника и технологии: сборник трудов XX международной научно–практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых: в 3 т., Томск, 14–18 Апреля 2014. – Томск: ТПУ, 2014 – Т. 2 – С. 155–156. – URL: http://portal.tpu.ru/files/conferences/ctt/proceedings/ctt–2014–2–Tom.pdf

8. Булуев И. И. ROBOTIS BIOLOID: нестандартный взгляд на промышленное применение робота [Электронный ресурс] // Ресурсоэффективным технологиям – энергию и энтузиазм молодых: сборник научных трудов V Всероссийской конференции студентов элитного технического образования, Томск, 25–27 Марта 2014. – Томск: ТПУ, 2014 – С. 127–129. – URL: http://www.lib.tpu.ru/fulltext/c/2014/C08/C08.pdf

9. Булуев И. И., Вехтер Е. В. Компьютерная графика: из мечты – в реальность [Электронный ресурс] // Молодежь и современные информационные технологии: сборник трудов X Международной научно–практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных, Томск, 13–16 Ноября 2012. – Томск: Изд–во Томского политехнического университета, 2012 – С. 434–436. – URL: http://msit.tpu.ru/files/conf_2012.pdf

10. Булуев И. И. Имитационное моделирование робототизированного экзо–скелета с ПИД–регулятором. // Перспективы развития информационных технологий: труды Всероссийской молодежной научно–практической конференции, Кемерово, 29–30 Мая 2014. – Кемерово: ГОУ КузГТУ, 2014 – С. 24–25

11. Булуев И. И., Маслов В. Е. ROBOTIS BIOLOID в учебных и образовательных целях [Электронный ресурс] // Ресурсоэффективным технологиям – энергию и энтузиазм молодых: сборник научных трудов V Всероссийской конференции студентов элитного технического образования, Томск, 25–27 Марта 2014. – Томск: ТПУ, 2014 – С. 182–184. – URL: http://www.lib.tpu.ru/fulltext/c/2014/C08/C08.pdf

12. Булуев И. И. Привод для системы автоматической калибровки глубоководного магнитометра [Электронный ресурс] // Молодежь и современные информационные технологии: сборник трудов XII Всероссийской научно–практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых: в 2 т., Томск, 12–14 Ноября 2014. – Томск: ТПУ, 2014 – Т. 1 – С. 374–375. – URL: http://www.lib.tpu.ru/ fulltext/c/ 2014/C04/V1/C04_V1.pdf

13. Булуев И. И. Проектирование системы автоматической калибровки глубоководного магнитометра // Международный союз ученых "Наука. Технологии. Производство" – 2014 – №. 2. – С. 32–35

14. Булуев И. И. Робототехнический спектакль «Приключения Буратино». // Перспективы развития информационных технологий: труды Всероссийской молодежной научно–практической конференции, Кемерово, 29–30 Мая 2014. – Кемерово: ГОУ КузГТУ, 2014 – С. 22–23

15. Булуев И. И., Федоров Е. А. Имитационное моделирование роботизированного экзоскелета с ПИД–регулятором // Технологии Microsoft в теории и практике программирования: сборник трудов XI Всероссийской научно–практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск, 23–24 Апреля 2014. – Томск: Томский политехнический университет, 2014 – С. 13–15

16. Булуев И. И., Федоров Е. А. Программирование движений Bioloid в среде RoboMotion // Технологии Microsoft в теории и практике программирова-

ния: сборник трудов XI Всероссийской научно–практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск, 23–24 Апреля 2014. – Томск: Томский политехнический университет, 2014 - С. 16-18

17. Булуев И. И., Федоров Е. А. BOXNEP - модульный подводный робот перспективных технологий // Технологии Microsoft в теории и практике программирования: сборник трудов XIII Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск, 22-23 Апреля 2016. - Томск: ТПУ, 2016 - С. 242-244

18. Buluev I. I. "BOXNEP" advanced modular underwater robot // Ресурсоэффективным технологиям - энергию и энтузиазм молодых: сборник научных трудов VII Всероссийской конференции, Томск, 27-29 Апреля 2016. - Томск: Изд-во ТПУ, 2016 - С. 244-246

19. Булуев И. И. Система калибровки магнитометра: особенности разработки и проектирования устройства // Молодежь и современные информационные технологии: сборник трудов XIII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск, 9-13 Ноября 2015. - Томск: ТПУ, 2016 - Т. 1 - С. 168-170

20. Булуев И.И. Подводный робот Odyssey // Robotics Expo 2016, Москва, 4 ноября 2016. – Москва, КВЦ Сокольники, 2016.

21. Булуев И.И. Разработка модульного телеуправляемого подводного робота для обследования трубопроводов и прочих подводных сооружений // Заявка на получение гранта по конкурсу «Умник-НТИ: Маринет», 11.2016 г., Москва. – Москва: электронная площадка «Фонд содействия инновациям», URL: http://online.fasie.ru.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Олег Никищенков. Перспективы дальневосточной подводной робототехники. [Электронный ресурс]. Режим доступа: свободный. URL: https://sk.ru/news/b/articles/archive/2015/04/10/perspektivy-dalnevostochnoy-podvodnoy-robototehniki.aspx. Заглавие с экрана. – Язык русс. – Skoltech, 04.2015. – Дата обращения: 20.08.2016 г.

2. Словарь морских терминов. Манипулятор подводного аппарата. [Электронный ресурс]. Режим доступа: свободный. URL: https://www.korabel.ru/dictionary/detail/796.html. Заглавие с экрана. – Язык русс. – Дата обращения: 04.05.2017 г.

3. Ян Кумминс, Джон Бизант. Shell шокирует мир. [Электронный ресурс]. Режим доступа: свободный. URL: http://www.dolit.net/author/8583/ebook/31390/kummins_yan/Shell_shokiruet_mir/read/13. Заглавие с экрана. – Язык русс. – Дата обращения: 08.05.2017 г.

4. Бобков В.А., Борисов Ю.С. Навигация подводного аппарата на малых дистанциях до оптической информации // Мехатроника, автоматизация, управление. 2010. №2. С.75-78.

5. Илларионов Г.Ю. Необитаемые подводные аппараты и их системы. Владивосток: Дальневосточный университет, 1990. – 56с.

6. Илларионов Г.Ю., Сидоренков В.В., Потапов А.С. Противоминные необитаемые подводные аппараты. Владивосток: Дальневосточный университет, 1991. – 115с.

7. Инзарцев А.В., Киселев Л.В., Матвиенко Ю.В. Рылов Н.И. Навигационно-управляющий комплекс многоцелевого автономного подводного робота и особенности его применения в высоких широтах Арктики / Научное и техническое обеспечение исследований и освоения шельфа Северного Ледовитого океана. Новосибирск. 2010. С.13-18.

8. Филаретов В.Ф., Кацурин А.А., Пугачев Ю.А. Метод полуавтоматического комбинированного управления манипулятором с помощью подвижной телекамеры // Мехатроника, автоматизация, управление. 2009. №2. С.38-45.

9. Филаретов В.Ф., Юхимец Д.А. Синтез систем автоматического формирования программных сигналов управления движением подводного аппарата по сложным пространственным траекториям // Известия РАН. Теория и системы управления. 2010. №1. С.90-107.

10. Ястребов В.С., Филатов А.М. Системы управления движением робота. – М.: Машиностроение, 1979. – 176 с.

11. Bessa W.M., Dutra M.S., and Kreuzer E. Depth control of remotely operated underwater vehicles using an adaptive fuzzy sliding mode controller, Robot Automation Systems, vol. 56, 2008, pp. 670-677.

12. Chyba M., Cazzaro D., Invenizzi L., Andonian M. Trajectory Design for Autonomous Underwater Vehicles for Basin Exploration. 9th International Conference on Computer and IT Applications in the Marine Industries. 2010. Pp. 139-151.

13. Eustice R., Pizzaro O. Hanuman Singh Visually augmented navigation for autonomous underwater vehicles // IEEE Journal oceanic engineering. 2009. 1-18 p.

14. Filaretov V.F., Konoplin A. Yu., Konoplin N. Yu. Method of synthesis of Automatic Correction Systems of Underwater Vehicles Linear Displacements // 25th DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation. Vienna. 26 November 2014.

15. McLain T. W., Rock S. M., Lee M. J. Experiments in the coordinated control of an underwater arm/vehicle system. Autonomous Robots, vol. 3, 1996. #2-3, pp. 213-232.

16. Smith R.N., Chyba M., Wilkens G.R., Catone C. A Geometrical Approach to the Motion Planning Problem for a Submerged Rigid Body. Int. J. of Control. 2009. 82/9, pp.1641 -1656

17. Soylu S., Buckham B.J., Podhorodeski R.P. Dynamics and control of tethered underwater-manipulator systems, OCEANS 2010, pp. 1 – 8.

18. Zhang M., and Chu Z. Adaptive sliding mode control based on local recurrent neural networks for underwater robot. Ocean. Eng., vol. 45, 2012, pp. 56-62.

19. Булуев И.И., Федоров Е.А. Проектирование телеуправляемого необитаемого подводного робота «Odyssey» // Национальный исследовательский Томский политехнический университет. 2016. – 42 с.

20. Бабанин В.П. Судоподъемные работы. Учебное пособие. – О.: Феникс; М.: РКонсульт, 2006. – 206 с.

21. Дистанционно управляемые роботы и манипуляторы / В.С. Кулешов и др.; под общ. Ред. Е.А. Попова – М.: Машиностроение, 2006 – 328 с.

22. Интерфейсная шина I^2C. [Электронный ресурс]. Режим доступа: свободный. URL: http://easyelectronics.ru/interface-bus-iic-i2c.html. Заглавие с экрана. – Язык русс. – Дата обращения: 12.05.2017 г.

23. Datasheet L297 and L298N (293E). [Электронный ресурс] Режим доступа: свободный. URL: http://html.alldatasheet.com/html-pdf/22436/STMICROELECTRONICS/L297/1618/1/L297.html. – Загл. с экрана. – Язык русс. Дата обращения: 20.05.2017 г.

24. Шаговые двигатели FL57STH - 1.8°, NEMA 23 (57 мм), характеристики, размеры, схемы подключения. [Электронный ресурс]. Режим доступа: свободный. URL: http://www.npoatom.ru/katalog/step_motor/fl57sth/. Заглавие с экрана. – Язык русс. – Дата обращения: 19.05.2017 г.

25. Шаговые двигатели FL110STH - 1.8°, NEMA 42 (110 мм), характеристики, размеры. [Электронный ресурс]. Режим доступа: свободный. URL: http://www.npoatom.ru/katalog/step_motor/fl110sth/. Заглавие с экрана. – Язык русс. – Дата обращения: 19.05.2017 г.

26. Шаговый двигатель FL130BYG2503, NEMA 51 (130 мм), характеристики, размеры. [Электронный ресурс]. Режим доступа: свободный. URL: http://www.npoatom.ru/katalog/step_motor/fl130/. Заглавие с экрана. – Язык русс. – Дата обращения: 19.05.2017 г.

27. Atmel Corporation. Atmega 8 Datasheet [Электронный ресурс]. Режим доступа: свободный. URL: http://www.atmel.com/images/atmel-2486-8-bit-avr-microcontroller-atmega8_l_datasheet.pdf. – Загл. с экрана. – Язык англ. Дата обращения: 19.05.2017 г.

28. Pin Board II [Электронный ресурс]. Режим доступа: свободный. URL: http://shop.easyelectronics.ru/index.php?categoryID=102. – Загл. с экрана. – Язык русс. Дата обращения: 19.05.2017 г.

29. L297 STEPPER MOTOR CONTROLLERS Datasheet / Printed in Italy, STMicroelectronics GROUP OF COMPANIES, 2001.

30. L298N DUAL FULL-BRIDGE DRIVER Datasheet / Printed in Italy, STMicroelectronics GROUP OF COMPANIES, 2000.

31. ГОСТ 2.701–2008 ЕСКД. Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению.

32. uArm: Put a Miniature Industrial Robot Arm on Your Desk. [Электронный ресурс]. Режим доступа: свободный. URL: https://www.kickstarter.com/projects/ufactory/uarm-put-a-miniature-industrial-robot-arm-on-your/. – Загл. с экрана. – Язык англ. Дата обращения: 21.05.2017г.

33. uArm Metal. Robotics Open Sourse. [Электронный ресурс]. Режим доступа: свободный. URL: http://ufactory.cc/#/en/. – Загл. с экрана. – Язык англ. Дата обращения: 21.05.2017г.

34. СП 52.13330.2011 Свод правил. Естественное и искусственное освещение.

35. СанПиН 2.2.2/2.4.1340 – 03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы». – М.: Госкомсанэпиднадзор, 2003.

36. ПОТ Р М-020-2001 «Межотраслевые правила по охране труда при электро- и газосварочных работах», СПб: ЦОТПБСП, 2002.

37. СН 2.2.4/2.1.8.562 – 96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки.

38. СанПиН 2.2.2/2.4.1340 – 03. Санитарно – эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы». – М.: Госкомсанэпиднадзор, 2003.

39. СанПиН 2.2.4.548 – 96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. М.: Минздрав России, 1997.

40. ГОСТ Р 50377-92 (МЭК 950-86) Безопасность оборудования информационной технологии, включая электрическое конторское оборудование.

41. ГН 2.2.6 – 709 – 98. Предельно допустимые концентрации (ПДК) микроорганизмов – продуцентов, бактериальных препаратов и их компонентов в воздухе рабочей зоны.

42. Безопасность при пайке. [Электронный ресурс]. Режим доступа: свободный. URL: http://electrik.info/main/school/570-chto-takoe-payka-bezopasnost-pri-payke.html. – Дата обращения: 28.04.2017 г.

43. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ.

44. НПБ 105-03. Нормы пожарной безопасности. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.

45. Технический регламент «о требованиях пожарной безопасности» [Электронный ресурс]: Единая справочная служба Консорциума «Кодекс». – Режим доступа: свободный. URL: http://ezproxy.ha.tpu.ru:2065/docs/. – Дата обращения: 28.04.2017 г.

46. ГН 2.2.5.1313-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны.

Приложение А

Manipulator Control System of "Odyssey" Underwater Vehicle

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЕМ51	Булуев Илья Иванович		

Консультант кафедры СУМ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. СУМ	Рудницкий В.А.	к.т.н.		

Консультант – лингвист кафедры ИЯ ИК:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Заведующий лабораторией ИЯ ИК	Бутакова Т.И.	Старший преподаватель		

Technical Design Specification to Develop Control System for Underwater Vehicle Manipulators

System assignment: to control the process of transporting cargos by the system of the underwater vehicle manipulators.

The purpose of creating the control system: to automate the process of capture and transportation of cargo under water by manipulators installed on the underwater robot.

Note: dimensions of transported cargos are as follows:

1) (L x W x D): max: 650x450x150 mm, min: 150x45x45 mm.

2) Cargo weight:

for one manipulator, max: 3,5 kg;

for the manipulator system, max: 10 kg.

Controlling device is the three-link manipulator with gripper (manipulator engines).

Tasks of the control system:

1) to calculate and construct the optimal trajectory of motion in accordance with the specified parameters of the manipulator;

2) to read and process constantly the values of the angular rotation signals of output angles to their set point. To recalculate these angles into triaxial coordinates;

3) to supply control signals to the engines for manipulators movement along the optimal trajectory.

Parameters that will be used to verify the correct operation of the control system (CS) are the following:

1) manipulator-positioning accuracy: ± 5 mm:

2) velocity of one link movements: max: 0.09 m/s, min: 0.04 m/s;

3) angular velocity of moving manipulator: max: 3.5 rad/s, min: 0.14 rad/s;

4) pinch force of gripper for holding cargo: 20 N.

Introduction

Nowadays, underwater robots are equipped with manipulators, which are actively used for exploration and research of the World Ocean. Factually, vehicles with manipulators carry out many complex technological operations at different depths of their immersion. The qualitative performance of these operations requires the creation of fundamentally new control systems not only for underwater vehicles, but also for manipulators. In this regard, many leading world research centers are faced with the task of developing a universal manipulator control system.

The main purpose of this work is to develop a manipulation system for the remote-controlled underwater vehicle “Odyssey”. The objects of the research are the design of the manipulator (combination mechanical parts and electrical motors) and the system of manipulator interaction. The designed manipulation system should be used for capturing the dimensional objects and their subsequent transportation under water, as well as accompanying diver repair work on underwater pipelines.

Scientific novelty of the paper is in the new concept of Manipulator Control System (MCS) and algorithms that have two-level system, as well as the application of existing methods in solving the original problems.

The results of the work are presented at all-Russian and international conferences and publications, especially in publications indexed by Russian Science Citation Index (RSCI). In addition, our team prepare to submit a patent "The way of capturing and transportation objects by remotely operated underwater vehicle (ROV) without sacrificing of stabilization" under the scope of the project for designing the underwater vehicle “Odyssey”.

1. Analytical review

In robotics, a manipulator is a device used to manipulate materials without direct contact. The applications were originally for dealing with radioactive or biohazardous materials, using robotic arms, or they were used in inaccessible places. In many articles that are recent, they have been used in diverse range of applications including welding automation, robotically-assisted surgery, in space and in marine engineering. It is an arm-like mechanism that consists of a series of segments, usually sliding or jointed called cross-slides, which grasp and move objects with a number of degrees of freedom.

The underwater vehicle manipulator consists of control elements (adjusters) that are located at the operator's workplace, actuators, which are in the water outside the vehicle body frame or on an unmanned tethered vehicle, and control systems. Actuators are a link spatial mechanism with built-in elements of a hydraulic or electrical system that are used for manipulator’s movements. Their design is different, but the kinematic diagrams are, as a rule, close to the kinematics of the human hand. The control elements of the simplest manipulators are a small console for turning the drivers on and off, ensuring the execution of elementary separate movements of the robot arm. With the help of sensors are located on the gripper, the operator can feel the moment of contact of the vice jaws of the gripper with the object of work, as well as the change in the force of the pressure of the gripper on the object. The operator of the manned underwater vehicle observes the work of the manipulator actuators through a window or a special telescope, and the operator of an unmanned underwater vehicle is using a computer monitor. In this case, outboard lights illuminate the place and work object (-s). Many manipulators have a set of special remotely replaceable tools. Usually the manipulator provides work in a radius of 1-3 m and lifting a cargo weighing up to 50-70 kg. In emergencies, the safety manipulator is disconnected from the underwater vehicle.

Initial data

1) The final version of the first prototype of the underwater robot is shown in Figure 1. By the decision of the team, the robot is named "Odyssey". The technical task for the creation of an underwater robot hardware complex (Supplement A).

2) Mathematical model of the depth immersion control system. This model is fundamental for designing and operation of the vehicle and its manipulation system (Figure 2).

3) Basic components, which were already used for designing the first prototype of the robot (single-board computer Raspberry Pi II B as a head computer and microcontrollers Atmega 8A as devices for receiving signals from the head computer and controlling the positions of the motors).

Figure 1. Prototype of Underwater Vehicle "Odyssey"

A complete description of the immersion system operation, as well as the design features of the vehicle are described in [19].

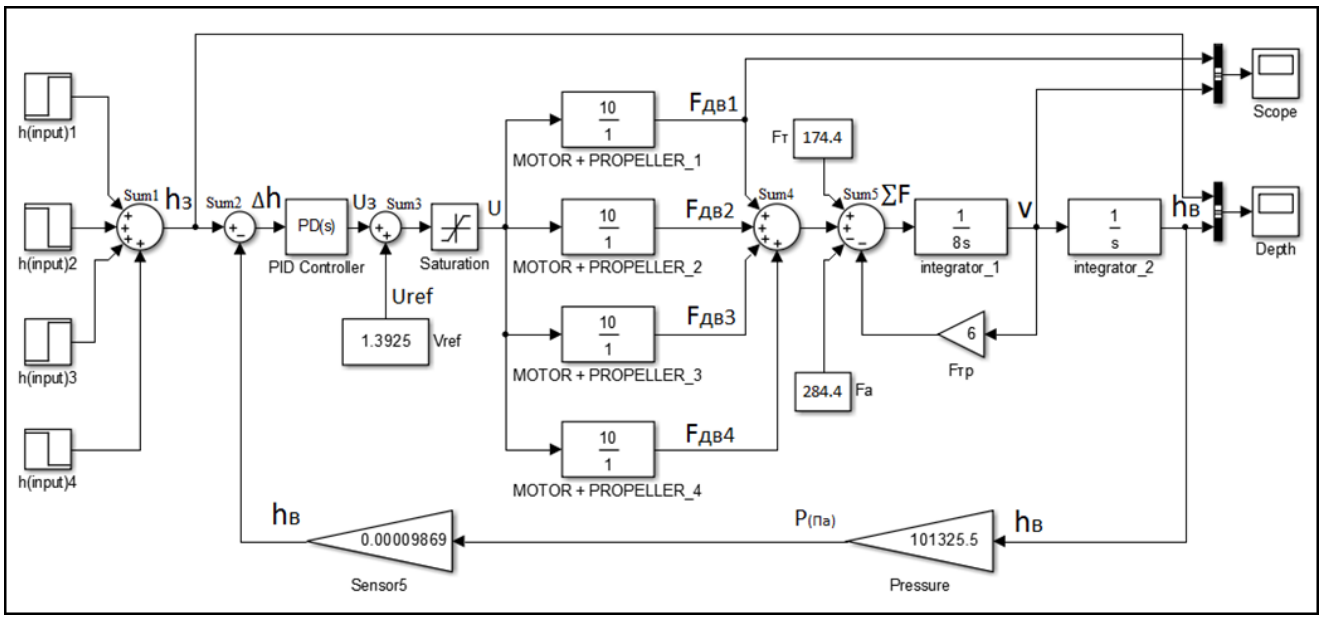


Figure 2. Maths Model of Robot Immersion Depth Control System

2. *Development of manipulator control system (MCS)*

Schematic diagram

Let us make the schematic diagram of the manipulation system being developed (Figure 3). This scheme presents all the connections between the elements and on its basis the subsequent choice of specific elements is made, and the drawing up of an electrical schematic diagram.

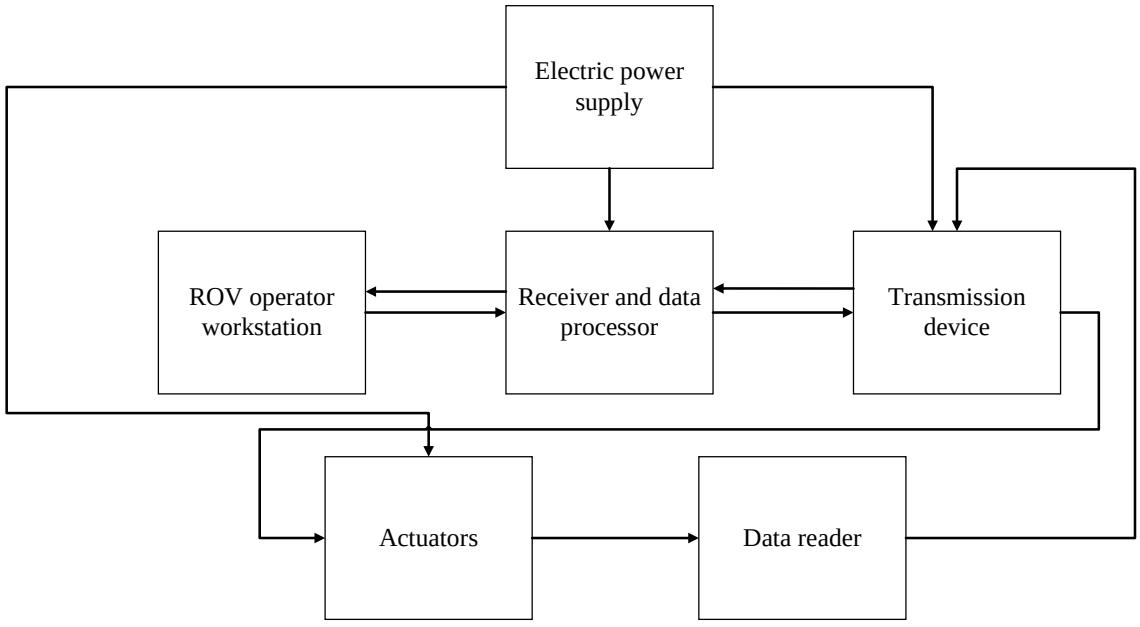


Figure 3. Structural Diagram of Manipulation System

Let us give description of this diagram. The operator from his/her workplace specifies the coordinates of the captured object/captures the object independently (automatic and manual mode, respectively). The basic principle of CS operation for automatic mode is that the coordinates of the captured object received on the device for receiving/processing/transmitting information are recalculated, in accordance with the supplied algorithm, into the necessary control signals are transmitted to the control devices of the actuators. This organization of communication allows to unload the control channel and reduce the information transfer bus, and also contributes to the loss of collisions or noisy signals when the main computer of the vehicle is operating. Transmission commands equipment is necessary for connection of actuators on all communication channels, as well as to read signals about the execution of the assigned tasks from the actuator's sensors.

Functional diagram

Let us make the functional diagram of the manipulation system being developed (Figure 4). This scheme is a descriptive material of different types of processes in the circuits of the system.

The functional diagram presents the control system operation by one manipulator. The diagram indicates the transmitted signals and the number of communication channels between individual units.

The main data transfer protocol is the I^2C protocol, through which it is possible to organize a bus with a few Masters, as well as a large number of Slaves as actuators. Moreover, the advantage of this protocol is the use of only three informational lines for transmission signals.

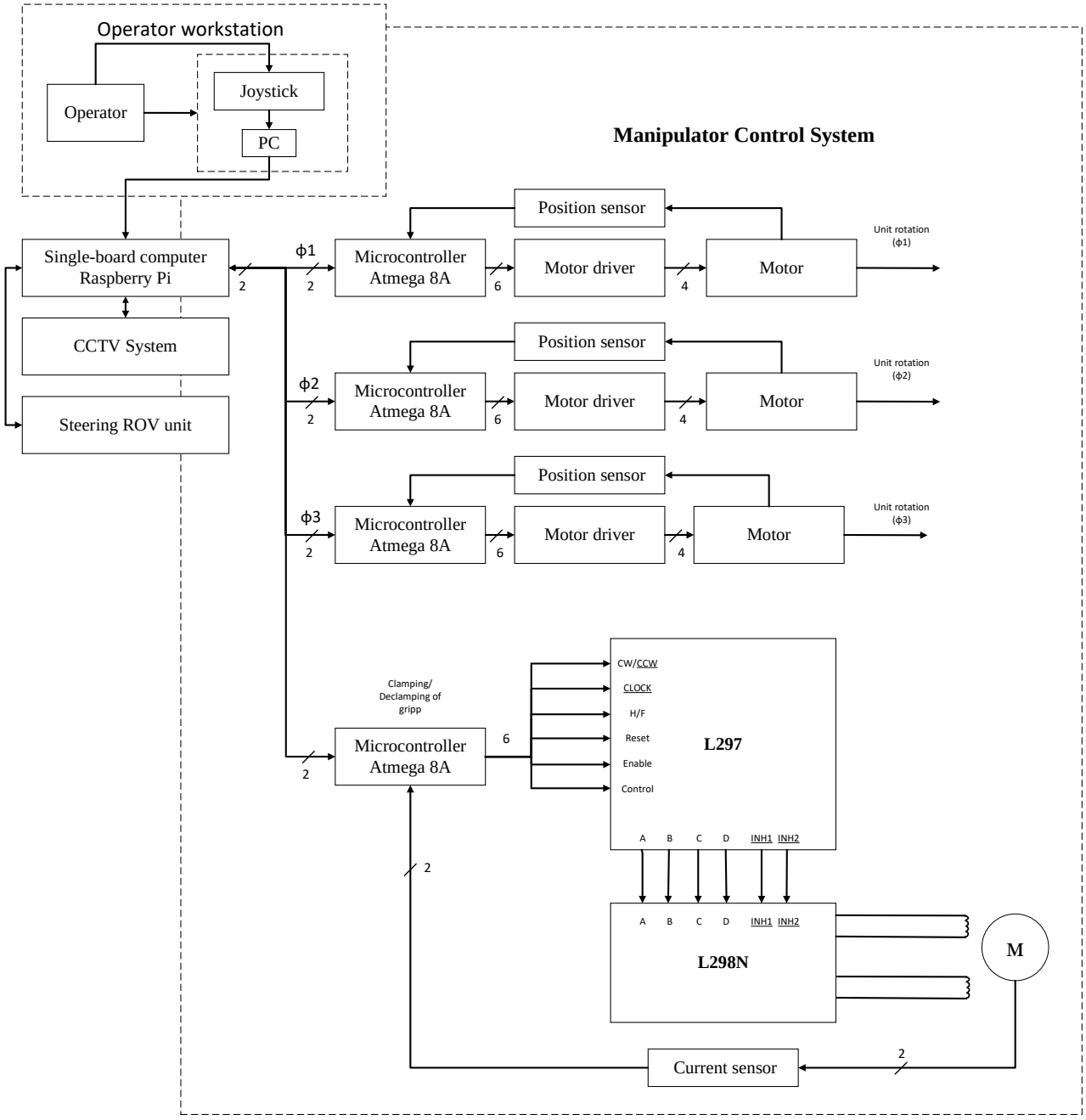


Figure 4. Functional Diagram of Manipulation System

All calculating operations are processed on the single-board computer Raspberry Pi II B. This computer is used not only for providing control signals to the manipulation system, but to control the Closed Circuit Television (CCTV) System, receive and transmit video images to the operator's workstation, and organize the motion control of the underwater vehicle. Atmega 8A microcontrollers are used as devices that receive the original signal in an analog form and generate the necessary pulses to feed them to the motor drivers. These drivers make commutation of the motor windings, as the result of which a turn is made to a given angle (set point). There are position sensors

in the feedback that fix the changes in the position of the rotor shaft at the current moment and their previous one, and give out the generated error signal to the Atmega 8A to error control. Immediately after use, the microcontroller receives a signal to the single-board computer about the execution of assigned task.

Inter-Integrated Circuit (I^2C) Protocol

I^2C is a multi-master, multi-slave, packet switched, single-ended, serial computer bus. I^2C uses only two bidirectional open-drain lines, Serial Data Line (SDA) and Serial Clock Line (SCL), pulled up with resistors. Typical voltages used are +5 V or +3.3 V, although systems with other voltages are permitted.

The I^2C reference design has a 7-bit or a 10-bit (depending on the device used) address space. Common I^2C bus speeds are the 100 kbit/s standard mode and the 10 kbit/s low-speed mode, but arbitrarily low clock frequencies are also allowed. Recent revisions of I^2C can host more nodes and run at faster speeds (400 kbit/s *Fast mode*, 1 Mbit/s *Fast mode plus* or Fm+, and 3.4 Mbit/s *High Speed mode*). These speeds are more widely used on embedded systems than on PCs. There are also other features, such as 16-bit addressing.

Note the bit rates are quoted for the transactions between master and slave without clock stretching or other hardware overhead. Protocol overheads include a slave address and perhaps a register address within the slave device, as well as per-byte ACK/NACK bits. Thus the actual transfer rate of user data is lower than those peak bit rates alone would imply. For example, if each interaction with a slave inefficiently allows only 1 byte of data to be transferred, the data rate will be less than half the peak bit rate.

The maximal number of nodes is limited by the address space and also by the total bus capacitance of 400 pF, which restricts practical communication distances to a few meters. The relatively high impedance and low noise immunity requires a common

ground potential, which again restricts practical use to communication within the same PC board or small system of boards.

An example schematic with one master (a microcontroller), three slave nodes (an ADC, a DAC, and a microcontroller), and pull-up resistors R_p is shown in Figure 5.

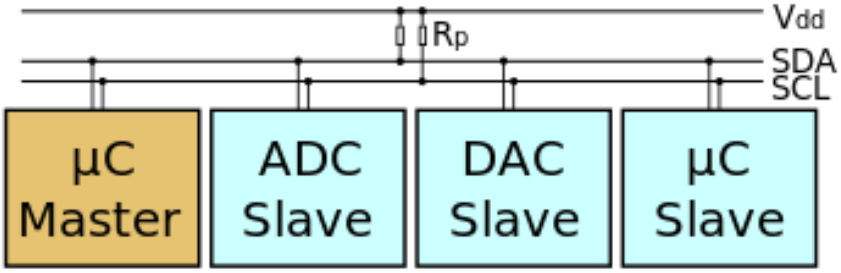


Figure 5. I^2C Data Transfer Protocol

Selection and justification of the system elements

Since exact positioning (according to the technical design specification it is ±5 mm) is necessary, it is advisable to use stepper motors as main actuators. For this type of engine, the L297 and L298N (L293) are used as controllers. The data control of microcircuits is carried out only by setting the clock frequency (the frequency of steps repetition) and a static signal for the direction of motion.

The L297 Stepper Motor Controller is primarily intended for use with an L298N or L293E bridge driver in stepper motor driving applications. It receives control signals from the system's controller, usually a microcomputer chip, and provides all the necessary drive signals for the power stage. Additionally, it includes two PWM chopper circuits to regulate the current in the motor windings. With a suitable power actuator the L297 drives two phase bipolar permanent magnet motors, four phase uni-polar permanent magnet motors and four phase variable reluctance motors. Moreover, it handles normal, wave drive and half step drive modes. Two versions of the device are available: the regular L297 and a special version called L297A.

Advantages:

1) very few components are required (so assembly costs are low, reliability high and little space required),

2) software development is simplified and the burden on the micro is reduced.

3) the choice of a two-chip approach gives a high degree of flexibility. The L298N can be used on its own for DC motors and the L297 can be used with any power stage, including discrete power devices (it provides 20mA drive for this purpose).

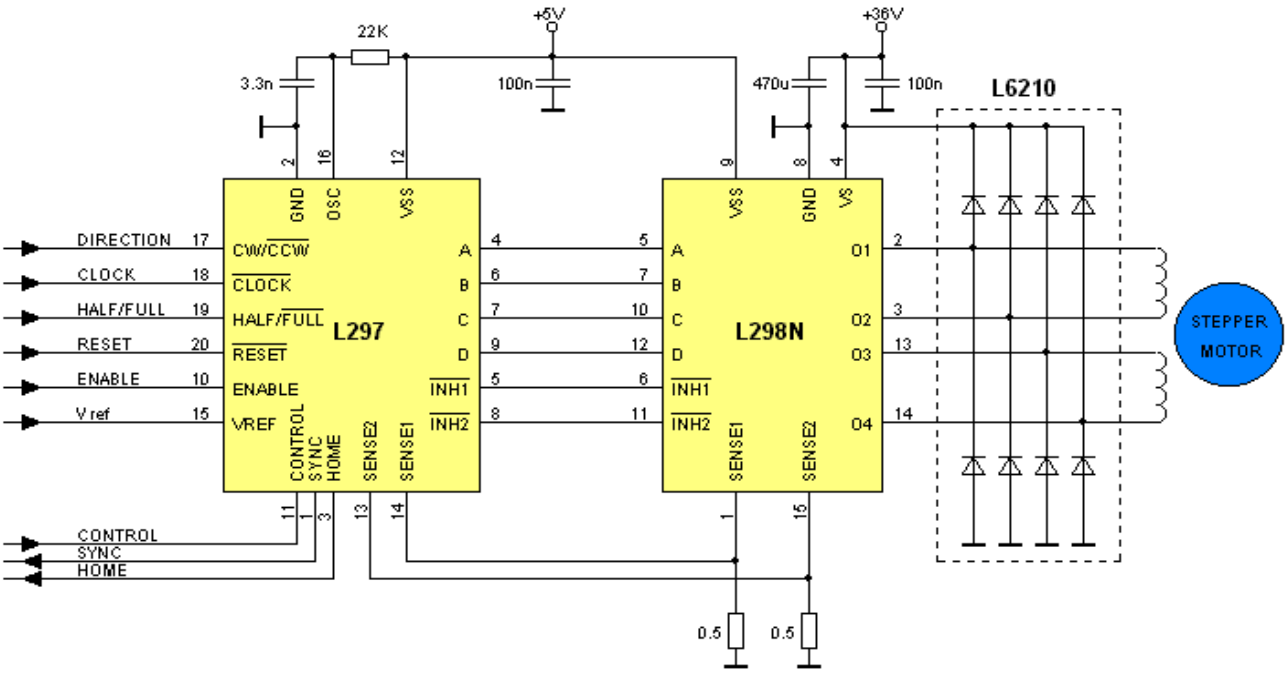


Figure 6. A typical Connection Scheme of L297 and L298N Chips

For bipolar motors with winding currents up to 2A the L297 should be used with the L298N; for winding currents up to 1A the L293E is recommended (the L293 will also be useful if the chopper is not needed). Higher currents are obtained with power transistors or darling tons and for unipolar motors; a darling ton array such as the ULN2075B is suggested. The block diagram, figure 6, shows a typical system. The L297 is made with STMicroelectronics and is assembled in a 20-pin plastic DIP. A 5V supply is used and all signal lines are TTL/CMOS compatible or open collector transistors. High density is one of the key features of the technology so the L297 die is very compact.

The last element for the projected system is the stepper motor. The selection of motors should be carried out from the engine for the gripper, because it is necessary to calculate the weight of the units and the cargo for each motors, separately.

To capture and hold the cargo with the preset parameters, “Nema 23” stepper motor (SM), which is a hybrid SM, is suitable. This motor has not only a relatively small size (60 x 60 x 112 mm), but also high rates of load capacity for the given parameters. The weight of the driver is 1 kg.

The next motor must rotate the first hand thrusts. The manipulator has two main units, which are used for movement to the endpoint. These units are equal, therefore, the length of such a shoulder is 150 mm. According to the data received, the weight of the manipulator (without installed motors and cargo) will be 13 kg, so the weight of the first unit will be 5 kg. It is necessary to choose a stepping motor that holds the hand thrust (5 kg), the grip of the manipulator (3 kg), the gripping cargo (3.5 kg) and the gripper motor (1 kg). Taking into attention the fact that the thrust is a unit with characteristics close to ideal, we will pick up an motor holding 7.5 kg at a distance of 150 mm and 5 kg at a distance of 75 mm. We know that all the characteristics of the SM thrust are indicated in the dimensions of kg · cm, and the necessary thrust will be found by solving the following proportions:

$$\frac{15\ (cm)}{1\ (cm)} = \frac{x_1\ (kg)}{7{,}5\ (kg)}\ ;\ \frac{7{,}5\ (cm)}{1\ (cm)} = \frac{x_2\ (kg)}{5\ (kg)}\ ; x = x_1 + x_2,$$

where x is a search value of SM thrust.

We obtain the x_1 = 112,5 kg · cm, x_2 = 37,5 kg · cm, x = 112,5 + 37,5 = 150 kg · cm.

Thus, the torque of the selected motor must be not less than 150 kg · cm. The closest to this value is the hybrid SM FL110STH150-6504 (Nema 42).

The next selected motor must rotate the second elbow thrust of robot arm. The length of the second unit, like the first, is 150 mm. The weight that must be held and

moved to the engine on this unit is equal to the weight of the two previous motors (8.4 kg and 1 kg, respectively), the weight of the first unit (5 kg), the gripper (3 kg) and the transported cargo (3.5 kg), which is 20.9 kg.

As in the previous case, let us take into attention the fact that thrust is a unit with characteristics close to ideal. Accordingly, it is necessary to select a motor holding 20.9 kg at a distance of 150 mm and 5 kg at a distance of 75 mm. Let us solve the following proportions:

$$\frac{15\ (cm)}{1\ (cm)} = \frac{y_1\ (kg)}{20{,}9\ (kg)}\ ;\ \frac{7{,}5\ (cm)}{1\ (cm)} = \frac{y\ (kg)}{5\ (kg)}\ ; y = y_1 + y_2,$$

where y is search value of SM thrust.

We obtain the y_1 = 313,5 kg · cm, y_2 = 37,5 kg · cm, y = 313,5 + 37,5 = 351 kg · cm.

Thus, the torque of the selected motor must be not less than 351 kg · cm. The closest to this value is the hybrid SM FL130BYG2503-2502 (Nema 51).

For the motor in the base, it is necessary to take into attention only the distance from the rotor to the place of attachment of the engine on the manipulator and both mass of the manipulator with the motors. Thus, we know the total weight, which is 45.9 kg, and select the distance from the center of the shaft to the center of the motor mount is 25-35 mm, the thrust of the driver should be in the range from 114.75 kg · cm to 160.65 kg · cm. These conditions are met by the previously selected Nema 42 motor, which has maximum torque equal to 285 kg · cm, and the distance from the center of the motor axis to the center of the fastener is 45 mm, which means that the torque value must be at least 206.55 kg · cm.

3. Design the underwater manipulator prototype of the underwater vehicle "Odyssey"

Description of the projected manipulator

At the design stage, the manipulator, once represented on the Kickstarter platform, but not implemented yet, was taken as a basis (Figure 7). This manipulator has the main advantage of locating motors. The motors of the majority manipulators are located directly in the joints, and, as the practice shows, they are easier to implement. However, the main problem is that these manipulators should not only raise the payload, but other motors.

The uArm project [32] lacks this drawback, and all forces are transmitted through the thrusts, and the main motors are located at the base. Moreover, there is a platform for placing the tool, located parallel to the work surface.

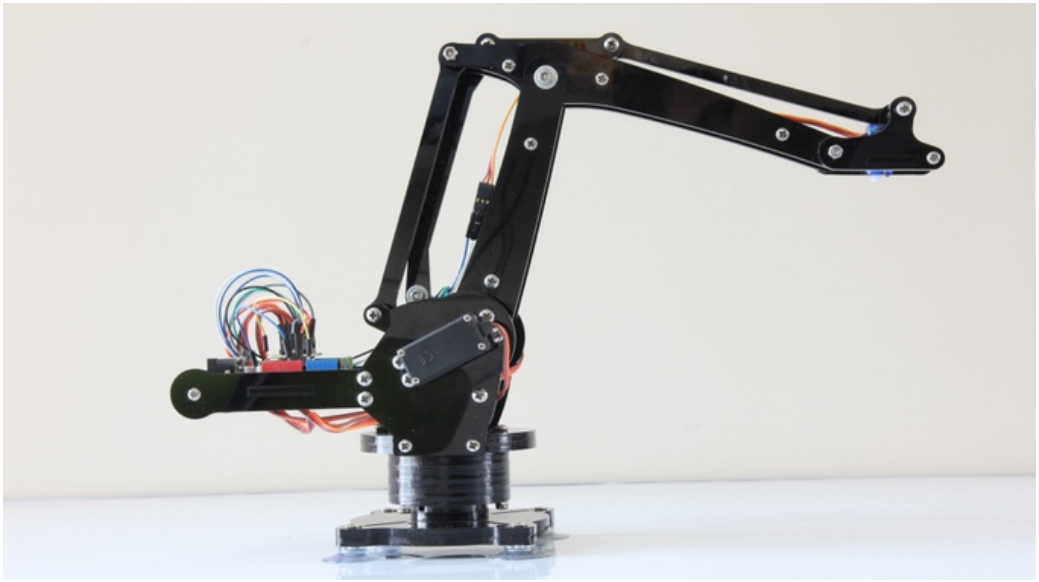


Figure 7. uArm Manipulator

Based on all these advantages this construction was chosen for prototyping and testing the performance of our manipulator design for an underwater vehicle. As the manipulator has three servos (three degrees of freedom) in the base, then its movement occurs in all three axes.

Characteristics and features of the projected manipulator

Since the manipulator was designed for a specific underwater vehicle, it is necessary to observe all dimensions. Thus, the characteristics of the projected manipulator are as follows:

Height: 300 mm.

Working area: 140 mm to 300 mm around the base.

Maximum carrying capacity on an outstretched arm: 200 g.

Current consumption, max. : 4A.

As motors will be installing on the down base of the underwater robot, the load capacity parameter will be 2-3 times higher.

A property of the projected manipulator is the presence of bearings (Figure 8) in all moving parts (11 bearings are used in the whole manipulator, ten of which are on a shaft of 3 mm and one on a shaft of 30 mm).

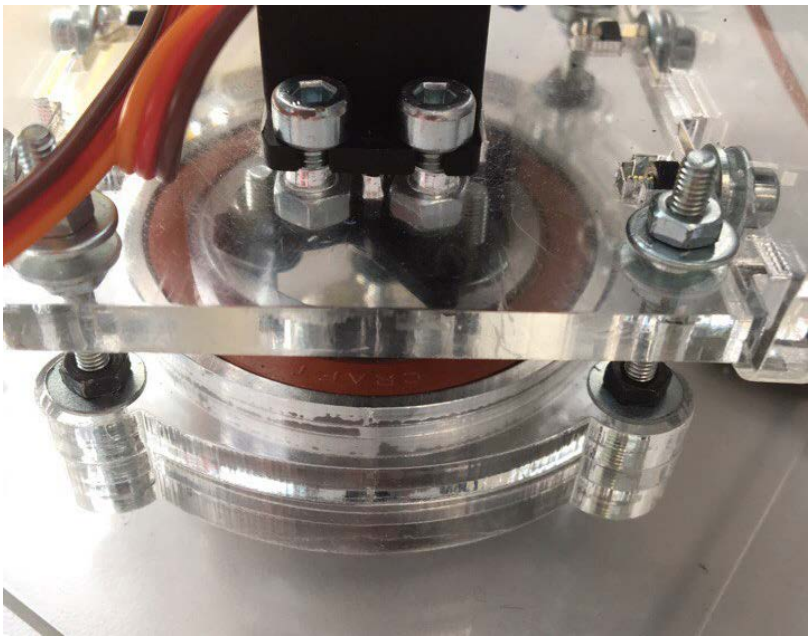


Figure 8. The Bearing on Shaft 30 mm at Base

In addition, all the powerful servos (Figure 9), as it was previously written, are at the base of the manipulator, and the position of its changes by an angle of 90 degrees, which is enough to perform the necessary operations. Moreover, the use of parallel

hinges allows the tool to remain always parallel / perpendicular to the surface of the base.

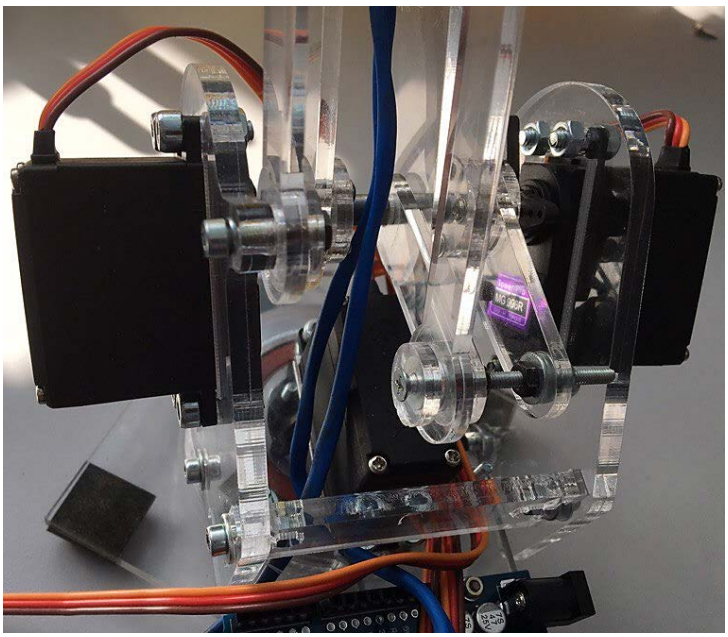


Figure 9. Powerful Servos at the Base

The designed manipulator is shown in Figure 10.

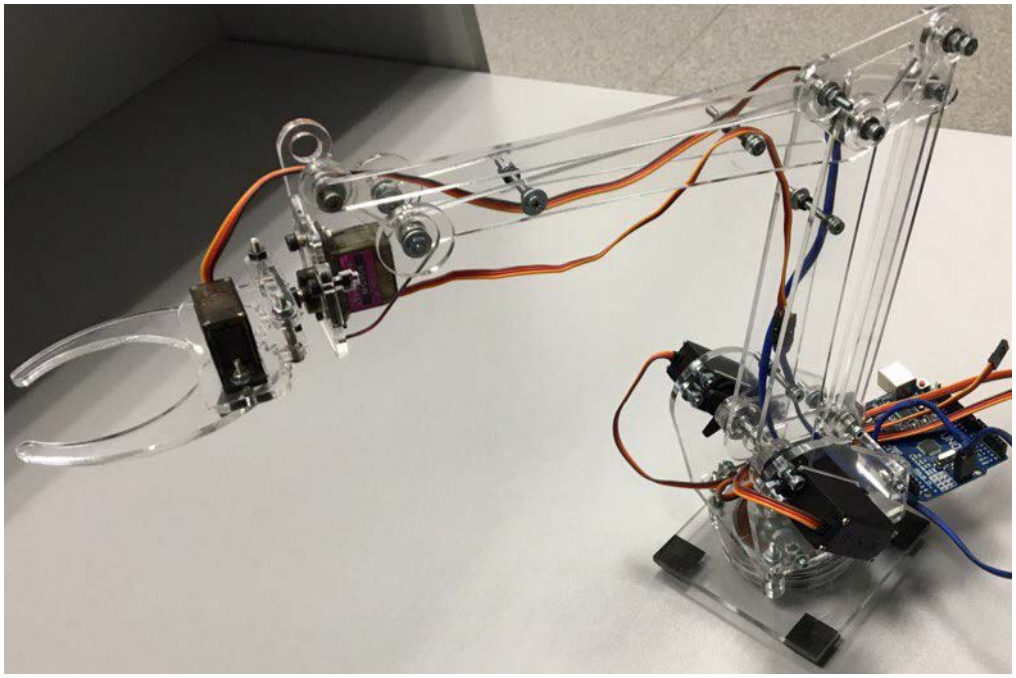


Figure 10. Assembled Manipulator

Conclusion and results

The following results were achieved during the implementation of the master's thesis:

- analytical review of the literature on existing manipulation systems of underwater vehicles was done;
- the structural, functional and basic circuit diagrams of the underwater vehicle manipulation system were designed;
- based on the analysis and comparison, the parts selection of the system was carried out;
- algorithms for the working of single-board computer Raspberry Pi II B and microcontroller Atmega 8A were designed.

As a prototype, a single manipulator was assembled in accordance with the developed 3D-model in the Autodesk Inventor 2015 software; an electrical part was designed and assembled in the form of a motherboard with Atmega 8A microcontroller.

By the aid of the assembled manipulator's prototype, the following tasks were solved:

- capture and hold of objects weighing up to 200 g on an stretched robot hand;
- control of manipulator servos by means of encoders and buttons, as well as computer control of the manipulator (it is the simulation process of the real operator's workstation);
- different movements in the working area, from 140mm to 300mm around the base.

The designed manipulator also has many following advantages in contrast to the existing analogues, which are currently represented in Russian and foreign markets:

1) inventory of ball bearings in all moving parts of the manipulator is available;

2) it is easy to assemble, allowing for the right sequence;

3) it has the location of powerful servos in the base, which move the manipulator units due to the elbow and hand thrusts;

4) the manipulator position is changed in three axes and all the engines provide a rotation of at least 90 degrees;

5) due to the parallelism of the arms and elbow and hand thrusts, as well as parallel articulations, the mechanical gripper always remains parallel or perpendicular to the base.

In the future, it is planned to produce a manipulation system based on high-strength aluminum alloys, to perform experiments in real conditions aboard the ROV “Odyssey”, and also to use the manipulation system as a laboratory bench. This project won the grant in the “UMNIK-NTI” program, when one of the principal condition is to get a patent. Our team is going to submit the patent “The way of capturing and transportation objects by ROV without sacrificing of stabilization” in the second quarter of 2018.

The obtained results – the prototype manufactured – can be used for testing submarine equipment in the laboratory "Telecommunications, Instrumentation and Marine Geology", in Institute of Cybernetics, Tomsk Polytechnic University.

Приложение Б

Техническое задание по договору конкурса УМНИК-НТИ по проекту «Разработка модульного телеуправляемого подводного робота для обследования трубопроводов и прочих подводных сооружений»

Цель выполнения НИР. Создание модульного телеуправляемого подводного аппарата с системой видеонаблюдения и манипуляторами для обследования подводных сооружений, дна водоемов, исследования трасс трубопроводов, кабелей и т.п.

Аналоги создаваемого комплекса. Основными зарубежными аналогами являются следующие аппараты для обслуживания гидротехнических сооружений и исследовании океана: Panther Plus (Saab Seaeye, Швеция), Comanche ROV (Shilling Sub-Atlantic Alliance, Норвегия), 3) Super Mohavk II (Shilling Sub-Atlantic Alliance, Норвегия). Российские перспективные разработки - это Супер ГНОМ Pro (Подводная робототехника) и Марлин-350 (Тетис Про).

Основные технические параметры, определяющие количественные, качественные и стоимостные характеристики продукции. *Ключевыми параметрами для сравнительного анализа выступают*: грузоподъемность, возможность установки дополнительного оборудования, масса аппарата, рабочая глубина, а также качественные характеристики устанавливаемого оборудования (системы видеонаблюдения и манипуляционной системы).

1) Грузоподъемность зарубежных аналогов составляет 150/225/35 кг (соответственно для Panther Plus, Comanche и Mohawk II), и 2/12 кг для российских аппаратов (Супер ГНОМ Pro/Марлин-350). Создаваемый подводный аппарат будет иметь 10 кг.

2) Масса представленных аналогов варьируется от 50-70 кг до 90 кг для отечественных аппаратов и от 165 кг до 1130 кг для зарубежных. Масса создаваемого робота будет составлять около 35 кг.

3) Аппараты Panther Plus, Comanche и Mohawk II рассчитаны на рабочие глубины соответственно 1000/2000/1000 м. Для аппаратов Марлин-350 и Супер ГНОМ Pro максимальные глубины равны 350 м и 150 м. Создаваемый аппарат рассчитан на глубины до 50 м.

4) Во всех рассматриваемых аналогах предусмотрена установки систем манипулирования и видеонаблюдения с ограниченным углом обзора (70-120 град). Создаваемый аппарат будет иметь круговой обзор за счет применения серво-систем. Еще одним значительным отличительным признаком создаваемого аппарата является наличие трех манипуляторов, которые позволяют оператору осуществлять захват объемных предметов.

5) Рыночная стоимость создаваемого аппарата составит 3 млн. руб., в то время как стоимость аналогов варьируется от 2,4 млн. руб. (Супер Гном Pro) до 80-90 млн. руб. для зарубежных аналогов.

Как видно из представленных технических параметров, преимуществами создаваемого подводного аппарата являются:

1) лучшее отношение грузоподъемности к массе - 2/7 (наилучшее соотношение для аналогов - 2/8.3);

2) наличие системы видеонаблюдения кругового обзора, позволяющей оператору осуществлять наблюдение с использованием шлема виртуальной реальности;

3) наличие системы из трех манипуляторов для захвата габаритных объектов.

Разрабатываемая система имеет еще один ряд принципиальных особенностей. Во-первых, использование адаптивного способа подстройки системы стабилизации робота по крену и дифференту. Во-вторых, это наличие трех манипуляторов, расположенных по периметру корпуса робота, позволяющих создать единую систему захвата объектов. Такая система позволяет расположить центр масс груза и самого робота на одной вертикальной оси. Этим самым становится возможным устранить крен робота и выполнять перемещения плавно, не нарушая остойчивость. В-третьих, система видеонаблюдения позволяет оператору не

отвлекаться на управление камерой, осуществляя поворот камеры за счет поворота головы.

Конечными потребителями создаваемого аппарата будут нефте- и газотранспортные кампании, работающие на обводненных территориях, материковой части и шельфе морей (обследование подводных частей буровых вышек, трубопроводов, прокладка кабелей), научно-исследовательские центры (проведение исследований дна водоемов), спасательные службы (проведение поисково-спасательных операций). В настоящее время ведутся переговоры с ПАО "Газпром Трансгаз Томск" в части совместной работы над проектом подводного робота. На первом этапе исполнителей проекта приняли для прохождение преддипломной практики с целью продолжения работ по созданию робота.

Конструктивные требования

Технологические требования:

Грузоподъемность аппарата составит 10 кг, при его собственной массе в 35 кг.

Максимально допустимая глубина погружения 50 м, рабочая глубина 5 - 20 м.

Габариты аппарата составят 750 х 550 х 450 мм.

Начальная положительная плавучесть (без установленных манипуляторов).

Горизонтальная тяга 10 кгс, вертикальная тяга 20 кгс.

Управление дистанционное.

Требования по надежности:

Срок службы 5 лет.

Наработка на отказ - 240 часов.

Гарантийный срок - 1 год.

Требования по эксплуатации:

Аппарат будет пригоден для эксплуатации при температуре воды от -2 до +40 градусов Цельсия и при силе ветра до 4 баллов по шкале Бофорта (7 м/с). Максимальная глубина погружения составит 50 м (давление 5 атмосфер).

Требования по техническому обслуживанию и ремонту:

Необходимо обеспечить возможность проведения периодического технического осмотра.

Ремонт аппарата должен проводиться в условиях специализированной мастерской.

Требования по хранению:

Хранить при температуре от -10 до +50 градусов Цельсия, при относительной влажности воздуха не более 98 % при сохранении герметизации корпуса.

Требования по упаковке, маркировке и транспортировке:

Упаковка будет обеспечивать сохранность аппарата при его транспортировке и хранении, вмещать в себя непосредственно подводный робот, комплектующие и всю документацию.

Маркировка будет состоять из названия аппарата, информации о производителе, а также основной технической информации.

При транспортировке аппарат должен находиться в защитном корпусе (коробке), обеспечивающем защиту от ударов и прочих внешних факторов.

Описание конечного продукта

Конечный продукт будет представлять собой раму, состоящую из профильных алюминиевых труб прямоугольного сечения. Все трубы полые, заварены друг с другом по торцам, за счет чего каркас будет иметь положительную плавучесть. Внутренняя часть аппарата будет полая (единственным "заполнителем" являются силовые и информационные кабели, идущие к установленным системам управления), что позволит роботу иметь высокие динамические характеристики при движении под водой. В верхней части корпуса расположатся 2 блока плавучести, имеющие технологические отверстия для вертикальных двигателей. Данные двигатели (4 штуки) обеспечат погружение аппарата и его стабилизацию по крену и дифференту при движении аппарата под водой. Под установленной платформой в верхней части каркаса будет находиться герметичный корпус, внутри которого расположатся системы управления роботом, манипуляторами и системой видеонаблюдения. Сразу под герметичным корпусом будет находиться

статичная камера, позволяющая наблюдать за работой манипуляционной системы. В передней части аппарата будет находиться система видеонаблюдения на подвижной платформе, позволяющая осуществлять круговой обзор и имеющая непосредственную связь с интерфейсом операторского пульта управления. Также, спереди и на боковых сторонах корпуса аппарата будут располагаться галогенные лампы для освещения зоны вокруг робота. На нижней корпусной части будут установлены крепления для трех манипуляторов: два из них на боковых профильных направляющих, один в центре кормовой. Манипуляторы будут иметь два состояния: транспортное и рабочее. При транспортировке робота, хранении и перед началом работ, манипуляторы будут находиться в транспортном состоянии и сохранять его до подачи сигналов управления на манипуляционную систему (переход в рабочее состояние). По бокам аппарата, на ребрах жесткости, будут закреплены два двигателя, которые позволят аппарату производить следующие маневренные операции: движение вперед/назад, повороты направо/налево/на месте.

Приложение В

Сравнение шаговых двигателей по параметру «Крутящий момент»

Первоначально произведем сравнение шаговых двигателей для схвата. Основной учет производится по параметру «Крутящий момент». Также немаловажной характеристикой является вес самого двигателя. Известно, что двигатель должен производить манипуляции с самим схватом, а также иметь достаточный запас по тяге для удержания груза.

Таблица 1В – Сравнение ШД для схвата

Наименование ШД	**Угловой шаг, град.**	**Погрешность углового шага, град.**	**Момент удержания, кг·см**	**Ток фазы ШД, А**	**Вес двигателя, кг**
Nema 23	1.8	±5% (полный шаг, без нагрузки)	3.9 ~ 18.0	1.0 ~ 3.0	1
ST57-76	1.8	±5% (полный шаг, без нагрузки)	15.0	3.0	1,05
23HS8430	1.8	±7% (полный шаг, без нагрузки)	18.0	3.0	1,056

В результате сравнения наилучшим вариантом является использование шагового двигателя Nema 23.

Следующим для сравнения необходимо подобрать двигатель, имеющий момент удержания не менее, чем 150 кг·см. В данном случае акцент делается на вес самого двигателя, а также на его габаритные размеры, которые будут являться определяющими при установке в сочленении.

Исходя из данных таблицы 2В, был выбран двигатель Nema 42.

Таблица 2В – Сравнение ШД для первого звена

Наименование ШД	**Угловой шаг, град.**	**Погрешность углового шага, град.**	**Момент удержания, кг·см**	**Ток фазы ШД, А**	**Вес двигателя, кг**	**Габаритные размеры, мм (ДхШхВ)**
Nema 42	1.8	±5% (полный шаг, без нагрузки)	31 ~ 214	2.8 ~ 6.2	8,4	110 x 110 x 150
110HS168-6004A	1.8	-	200	6.5	8,4	115 x 115 x 150
ST110-150	1.8	-	210	6.5	10,1	110 x 110 x 220

Последним для выбора является двигатель, удерживающий два плеча со схватом, и обеспечивающий момент удержания не менее, чем 351 кг·см. Здесь, как и в предыдущем случае, будем руководствоваться сравнением по тем же параметрам.

Таблица 3В – Сравнение ШД для второго звена

Наименование ШД	**Угловой шаг, град.**	**Погрешность углового шага, град.**	**Момент удержания, кг·см**	**Ток фазы ШД, А**	**Вес двигателя, кг**	**Габаритные размеры, мм (ДхШхВ)**
Nema 51	1.8	±5% (полный шаг, без нагрузки)	509	7	20	133 x 133 x 315
SIMOSTEP 1FL3	0.72	±6% (после 1000 шагов)	600	5	23,7	85 x 85 x 305

Исходя из таблицы 3В, был выбран гибридный ШД Nema 51.

Приложение Г

Электрическая принципиальная схема системы управления манипулятором

КП.XXXXX.001 ПЭ

#1

K1

GND

C1

R1

A

MCU Atmega8A

1	PC6 (Reset)	PC5 (ADC5/SCL)	28
2	PD0 (RXD)	PC4 (ADC4/SDA)	27
3	PD1 (TXD)	PC3 (ADC3)	26
4	PD2 (INT0)	PC2 (ADC2)	25
5	PD3 (INT1)	PC1 (ADC1)	24
6	PD4 (OC1B)	PC0 (ADC0)	23
7	VCC	GND	22
8	GND	AREF	21
9	PB6 (XTAL1)	AVCC	20
10	PB7 (XTAL2)	PB5 (SCK)	19
11	PD5 (T1)	PB4 (MISO)	18
12	PD6 (AIN0)	PB3 (MOSI/OC2)	17
13	PD7 (AIN1)	PB2 (SS/OC1B)	16
14	PB0 (ICP1)	PB1 (OC1A)	15

C2

C3

GND

A

R1

C2

C3

GND

GND

A

B

C1

C4

GND

GND

L297

CW/CCW

CLOCK

HALF/FULL

RESET

ENABLE

VREF

CONTROL

SYNC

HOME

SENSE 2

SENSE 1

GND

OSC

Vss

A

B

C

D

INH1

INH2

DD1

L298N

Vss

GND

Vs

SENSE 1

SENSE 2

A

B

C

D

INH1

INH2

DA1

01

02

03

04

STEPPER MOTOR

D1 D3 D5 D7

D2 D4 D6 D8

GND GND GND GND

R2

R3

GND

GND

Raspberry Pi GPIO

GPIO

GPIO

#2

#3

#4

1	+5V	A
2	GND1	GND
3	+12V	B
4	GND2	GND

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Булуев И.И.		30.05.2017
Пров.		Гончаров В.И.		
Т. контр.				
Нач.отд.				
Н. контр.				
Утв.				

КП.XXXXX.001 ПЭ

Принципиальная электрическая схема манипулятора

Лит.	Масса	Масштаб
У		

Лист 1 Листов 1

ТПУ ИК

Группа 8ЕМ51

Перв. примен.

Справ. №

Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Копировал

Формат А3

Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
		Перечень		
		элементов		
		Одноплатный компьютер		
1	Raspberry Pi GPIO	Raspberry Pi II B	1	
		Резистор		
2	R1	22 кОм	8	
3	R2, R3	0,5 Ом	8	
		Диоды		
4	D1...D8	Диоды HER 157 BL	32	
		Шаговый двигатель		
5	Nema 23	Гибридный ШД Nema 23	1	
6	Nema 42	Гибридный ШД FL110STH150-6504	1	
7	Nema 51	Гибридный ШД FL130BYG2503-2502	2	
		Конденсатор		
8	C1, C4	100 uF	8	
9	C2	47 uF	8	

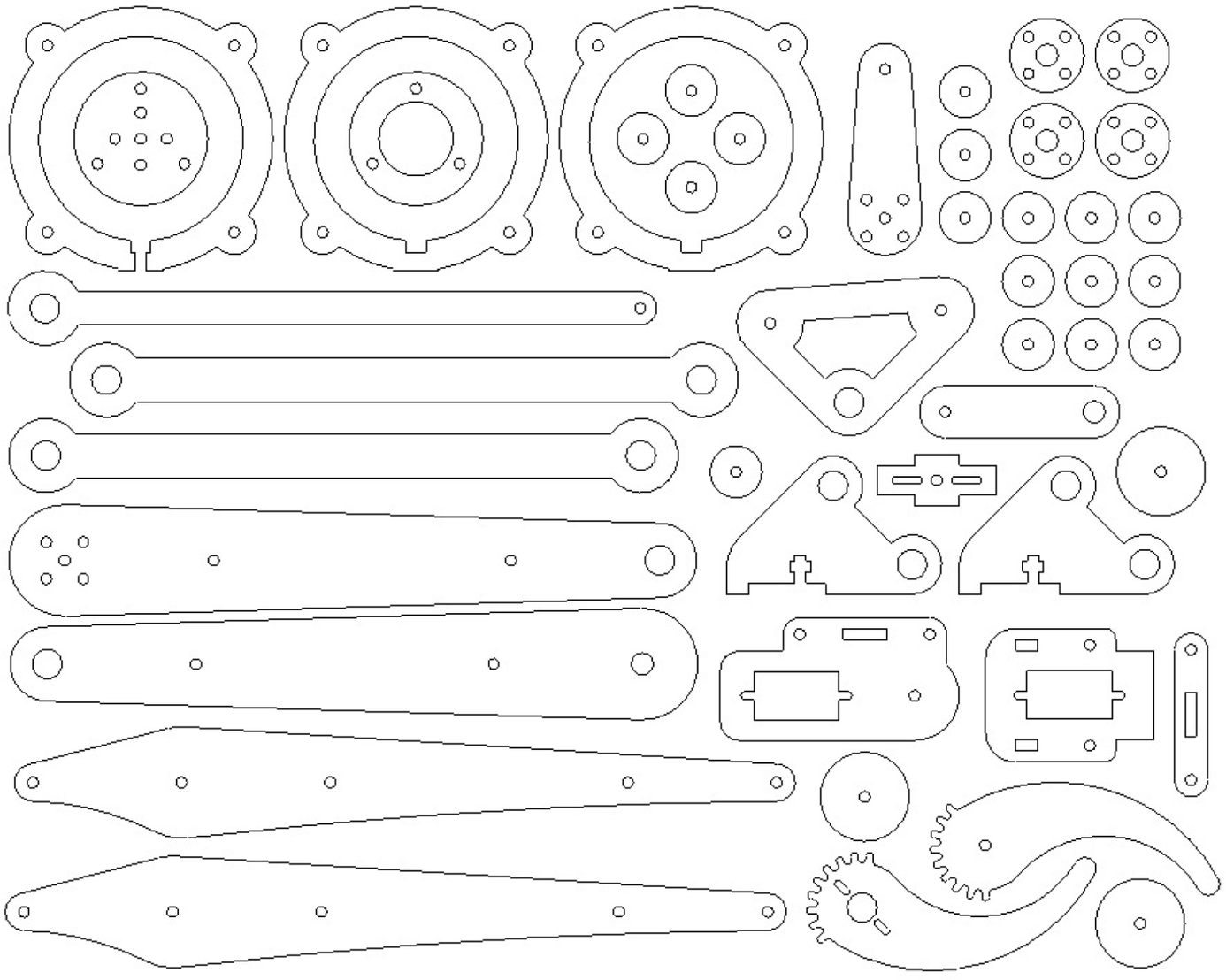
10	C3	100 nF	8	
		Микроконтроллер		
11	MCU Atmega8A	ATmega 8A	4	
		Драйвер ШД		
12	L297	Микросхема L297	4	
13	L298N	Микросхема L298N	4	
		Контактная кнопка		
14	K1	Кнопка 4-х контактная	4	

					КП.XXXXX.001 ПЭ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата				
Разраб.	Булуев И.И.		30.05.17	Перечень элементов электрической принципиальной схемы	Лит.	Лист	Листов	
Провер.	Гончаров В.И.				У	1	2	
					ТПУ ИК Группа 8ЕМ51			
Утвердил								

Приложение Д

Чертежи деталей для изготовления манипулятора

КП.XXXXX.001



Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Булуев И.И.		30.05.2017
Пров.		Гончаров В.И.		
Т. контр.				
Нач.отд.				
Н. контр.				
Утв.				

КП.XXXXX.001

Чертеж деталей манипулятора, 3 мм

Лит.	Масса	Масштаб
У		1:1

Лист	Листов
	1

Органическое стекло

ТПУ ИК
Группа 8ЕМ51

Перв. примен.

Справ. №

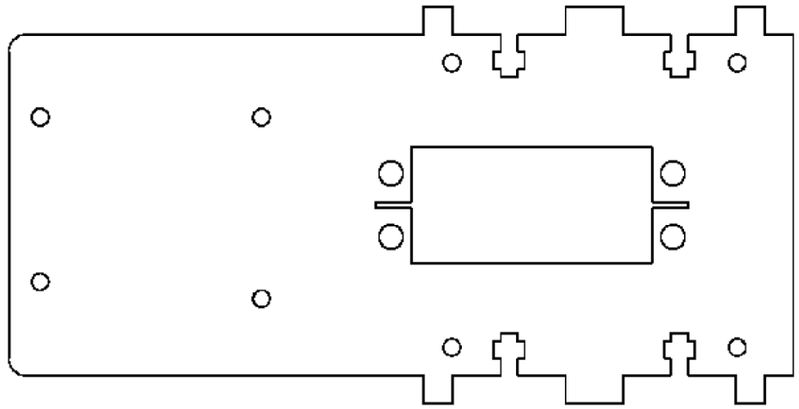
Подп. и дата

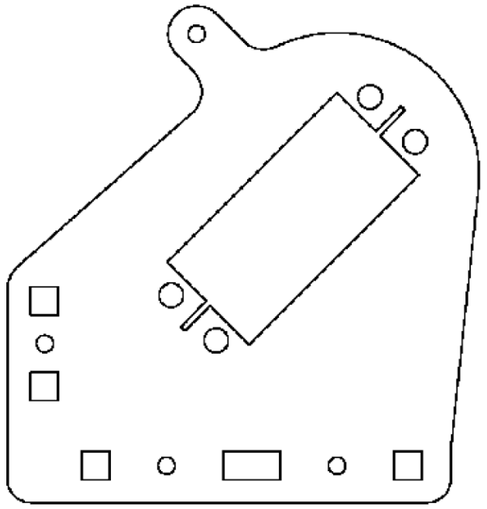
Инв. № дубл.

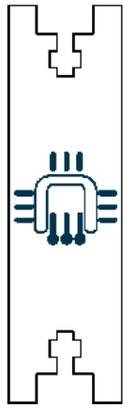
Взам. инв. №

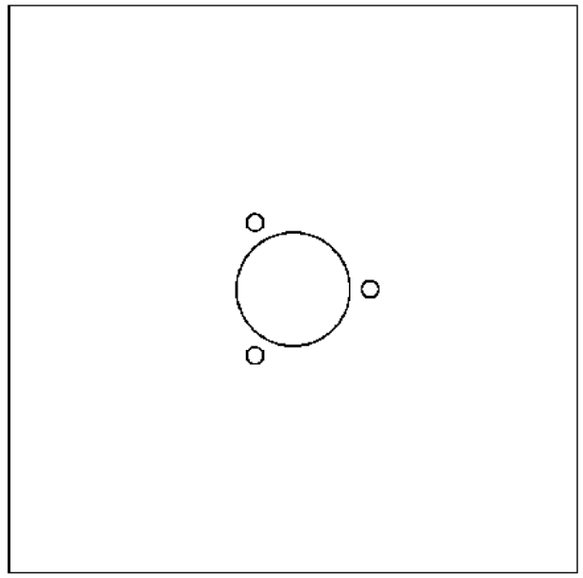
Подп. и дата

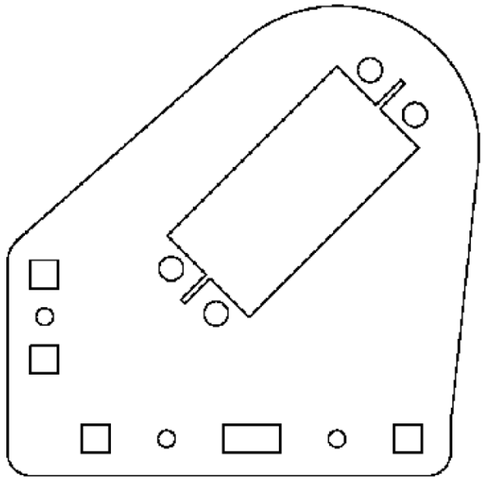
Инв. № подл.











					КП.XXXXX.002	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Чертеж деталей манипулятора, 5 мм	Лит. У / Масса / Масштаб 1:1
Разраб.		Булуев И.И.		30.05.2017		Лист / Листов 1
Пров.		Гончаров В.И.			Органическое стекло	ТПУ ИК Группа 8ЕМ51
Т. контр.						
Нач.отд.						
Н. контр.						
Утв.						

Перв. примен.

Справ. №

Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Копировал

Формат А3

Полный список комплектующих

N	Наименование	Количество
1	Сервопривод MG995	3
2	Диск серводвигателя MG995	3
4	Сервопривод MG90S	2
5	Подшипник 30x55x13	1
6	Подшипник 3x8x3	11
7	Потенциометр	4
8	Atmega 8A	1
9	USB-B	2
10	Макетная плата 60x80	1
11	Блок питания	1
12	Удлинитель кабеля сервопривода 30см	2
13	Штифт диаметром 6мм и длиной 30мм	1
14	M4x12 винт с в/ш	15
15	M4 гайка	20
16	M3x25 винт с головой под в/ш	1
17	M3x25 винт с потайной головкой	3
18	M3x18 винт с в/ш	5
19	M3x35 винт с потайной головкой	10
20	M3x14 винт с в/ш	25
21	M3x12 винт с в/ш	10
22	M3x10 винт с в/ш	20
23	M3x35 винт с потайной головкой	10
24	M3x40 винт с потайной головкой	4
25	M3 шайба	110
26	M3 шайба гроверная	50
27	M3 шайба узкая	20
28	M3 гайка	30
29	M2x10 винт	4
30	M2 гайка	4

Приложение Е

Электрическая принципиальная схема разработанного прототипа манипулятора

КП.XXXXX.002 ПЭ

Перв. примен.

Справ. №

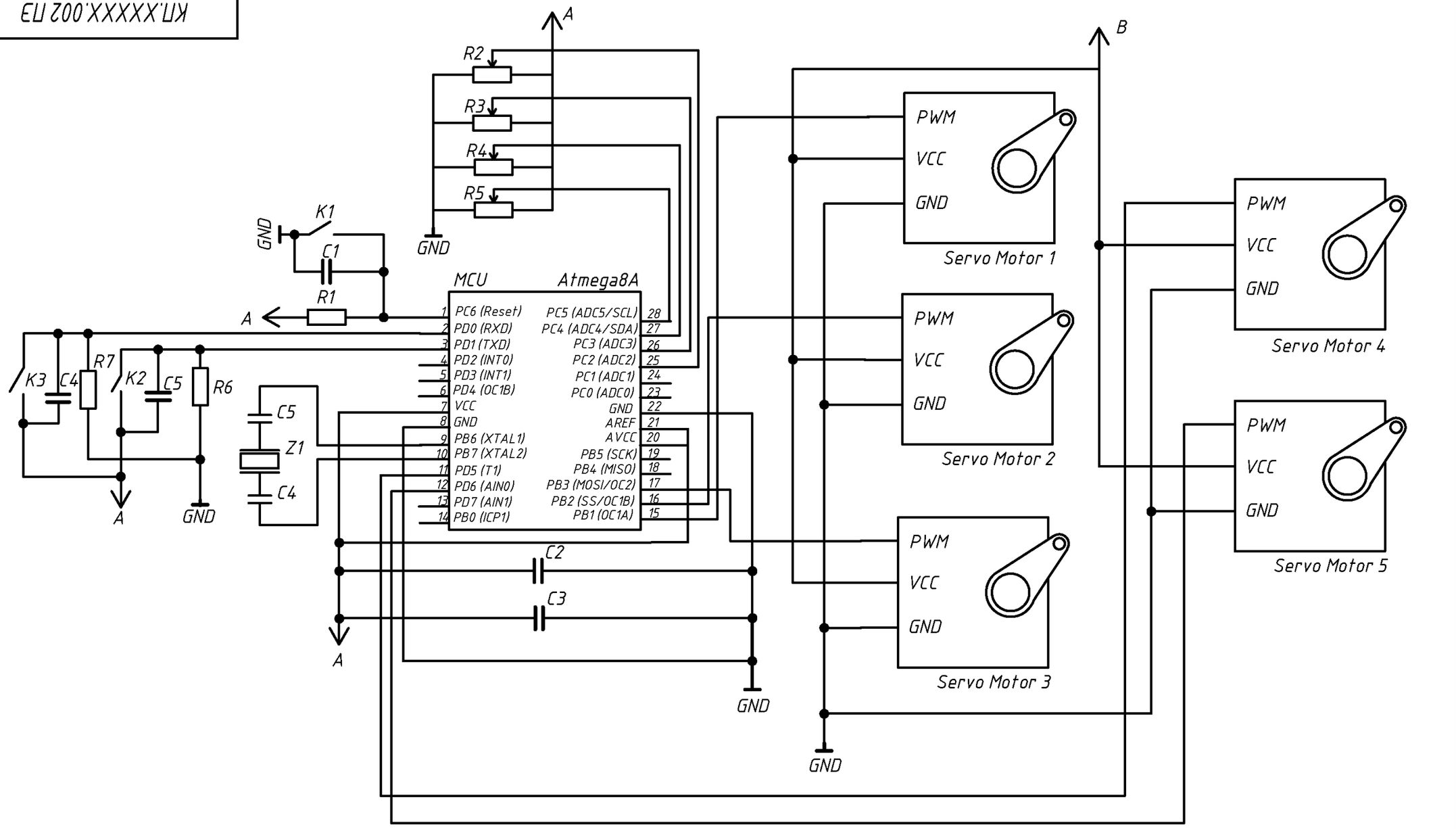
Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.



1	+5V	→ A
2	GND1	→ GND
3	+5V	→ B
4	GND2	→ GND

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Булуев И.И.		30.05.2017
Пров.		Гончаров В.И.		
Т. контр.				
Нач.отд.				
Н. контр.				
Утв.				

КП.XXXXX.002 ПЭ

Принципиальная электрическая схема манипулятора

Лит.	Масса	Масштаб
У		

Лист 1 Листов 1

ТПУ ИК
Группа 8ЕМ51

Копировал Формат А3

Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
		Перечень		
		элементов		
		Потенциометр		
1	R2, R3, R4, R5	B1K	4	
		Кнопка контактная		
2	K1, K2, K3		3	
		Микроконтроллер		
3	MCU Atmega8A	ATmega 8A	1	
		Сервопривод		
4	Servo Motor 1, Servo Motor 2, Servo Motor 3	Сервопривод MG996R	3	
5	Servo Motor 4, Servo Motor 5	Сервопривод MG90S	2	
		Кварцевый резонатор		
6	Z1	Кварцевый резонатор 16 MHz	1	
		Резистор		
7	R1, R6, R7	10кОм	1	

		Конденсатор		
	C1, C4, C5	100 uF	3	
	C2	100 nF	1	
	C3	47 uF	1	

					КП.XXXXX.002 ПЭ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата				
Разраб.	Булуев И.И.		30.05.17	Перечень элементов электрической принципиальной схемы прототипа		Лит.	Лист	Листов
Провер.	Гончаров В.И.					У	1	2
						ТПУ Группа		ИК 8ЕМ51
Утвердил								

Приложение Ж

Листинг программного кода для ручного режима работы манипулятора

Листинг программного кода для управления манипулятором при помощи энкодеров и кнопок представлен ниже.

```
//left 12
//right 11
//rotate 10
//grip_rot 9
//gripper 8

#include "Servo.h"

Servo left_servo;
Servo right_servo;
Servo rotate_servo;
Servo grip_rot_servo;
Servo gripper_servo;

int left;
int right;
int rotate;
int grip_rot;
int gripper;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  left_servo.attach(10);
  right_servo.attach(9);
  rotate_servo.attach(8);
  grip_rot_servo.attach(11);
  gripper_servo.attach(12);
}
```

```
void loop() {
   left = analogRead(A0)*0.176;
   Serial.print("left = ");
   Serial.println(left);

   right = analogRead(A1)*0.176;
   Serial.print("right = ");
   Serial.println(right);



   rotate = analogRead(A2)*0.176;
   Serial.print("rotate = ");
   Serial.println(rotate);

   grip_rot = 40;
   Serial.print("grip_rot = ");
   Serial.println(grip_rot);

   gripper = analogRead(A3)*0.176;
   Serial.print("gripper = ");
   Serial.println(gripper);

   left_servo.write(left);
   right_servo.write(right);
   rotate_servo.write(rotate);
   grip_rot_servo.write(grip_rot);
   gripper_servo.write(gripper);
   delay(200);
}
```

Листинг программного кода работы манипулятора в демо-режиме представлен ниже.

```
#include "Servo.h"
#define SPEED 20 //the more is the less
Servo left_servo;
Servo right_servo;
Servo rotate_servo;
Servo grip_rot_servo;
Servo gripper_servo;

int left = 123;
int right = 76;
int rotate = 90;
int grip_rot = 40;
int gripper = 142;

void setup() {
   left_servo.attach(10);
   right_servo.attach(9);
   rotate_servo.attach(8);
   grip_rot_servo.attach(11);
   gripper_servo.attach(12);
}
void Move(int cycles,
        int left_get,
        int right_get,
        int rotate_get,
        int grip_rot_get,
        int gripper_get) {
```

```
    for(int i=0; i < cycles; i++) {
        if(left > left_get) left--;
        if(left < left_get) left++;
        if(right > right_get) right--;
        if(right < right_get) right++;
        if(rotate > rotate_get) rotate--;
        if(rotate < rotate_get) rotate++;
        if(grip_rot > grip_rot_get) grip_rot--;
        if(grip_rot < grip_rot_get) grip_rot++;
        if(gripper > gripper_get) gripper--;
        if(gripper < gripper_get) gripper++;
        left_servo.write(left);
        right_servo.write(right);
        rotate_servo.write(rotate);
        grip_rot_servo.write(grip_rot);
        gripper_servo.write(gripper);
        delay(SPEED);
    }
}

void loop() {
        //  cycles    left      right    rotate    grip_rot  gripper
/* 0*/     Move(100,      123,      60,      90,       40,       115);
    delay(1000);
/* 0*/     Move(100,      123,      60,      90,       40,       70);
/* 1*/     Move(40,       95,       105,     90,       40,       70);
    delay(1000);
/* 2*/     Move(20,       70,       75,      90,       40,       70);
    delay(1000);
/* 3*/     Move(40,       70,       75,      90,       40,       115);
```

```
   //delay(3000);
/* 4*/    Move(40,    123,    60/*76*/,    90,    40,    115);
   //delay(3000);
/* 5*/    Move(60,    123,    60,    30,    40,    115);
   //delay(3000);
/* 6*/    Move(95,    123,    60,    30,    134,    115);
   delay(1000);
/* 7*/    Move(100,    123,    60,    90,    40,    115);
         Move(100,    70,    75,    90,    40,    115);
         Move(100,    70,    75,    90,    40,    70);
         delay(1000);
/* 0*/    //Move(40,    123,    76,    90,    40,    142);
         //delay(2000);
/* 8*/    //Move(40,    86,    115,    110,    40,    107);
/* 9*/    //Move(26,    72,    89,    110,    40,    107);
/*10*/    //Move(19,    72,    89,    110,    40,    126);
/*11*/    //Move(27,    99,    72,    90,    40,    126);
/*12*/    //Move(27,    72,    89,    70,    40,    126);
/*13*/    //Move(19,    72,    89,    70,    40,    107);
/*14*/    //Move(27,    86,    115,    70,    40,    107);
/* 0*/    //Move(40,    123,    76,    90,    40,    142);
         //delay(2000);
//tonull
//   Move (100,    123,    76,    90,    40,    142);
}
```