



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра Морские информационные системы

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

(Магистр)

На тему: Малогобаритный подводный аппарат для дистанционного
контроля в условиях ледовой обстановки

Исполнитель Соболев Мстислав Владиславович

(фамилия, имя, отчество)

Руководитель доктор технических наук

(ученая степень, ученое звание)

Владимир Николаевич Завгородний

(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой

(подпись)

доктор технических наук, профессор

(ученая степень, ученое звание)

Сикарев Игорь Александрович

(фамилия, имя, отчество)

« 08 » 06 2022 г.

Санкт-Петербург

2022

РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация: 96с., 36 рис., 19 табл., 14 источников литературы.

Ключевые слова: Робототехника, электронная платформа Arduino, электронная плата Arduino, подключение сервоприводов, компонентная база.

Объект исследования — дистанционный контроль корпуса судна в ледовых условиях

Предмет исследования — подбор компонентной базы, разработка деталей корпуса и вспомогательных элементов малогабаритного подводного аппарата малогабаритного подводного аппарата для дистанционного контроля корпуса судна в ледовых условиях.

Цель работы: Разработка прототипа малогабаритного подводного аппарата для дистанционного контроля корпуса судна в ледовых условиях.

В магистерской диссертации проводится анализ: компонентов из которых состоит малогабаритный подводный аппарат.

В результате проведённой работы были разработаны схемы и чертежи прототипа малогабаритного подводного аппарата для дистанционного контроля корпуса судна в ледовых условиях, выяснены ключевые условия работы.

Оглавление

Введение.....	3
Глава 1. Разработка структурной схемы подводного аппарата, анализ существующей компонентной базы и выбор комплектующих	
1.1 Разработка структурной схемы подводного аппарата.....	7
1.2 Анализ комплектующих отечественного производства.....	10
1.3 Оригинальные компоненты и импортные аналоги.....	20
Глава 2. Разработка модели подводного аппарата для исследования морских объектов	
2.1 Перечень компонентов.....	40
Глава 3. Сборка и отладка подводного аппарата	
3.1 Описание сборки электрической схемы.....	68
3.2 Печать элементов корпуса.....	72
3.3 Сборка и отладка подводного аппарата.....	79
3.4. Математическое модулирование характеристик.....	84
Заключение.....	82
Список литературы.....	83

ВВЕДЕНИЕ

Данная работа посвящена разработке модели подводного дистанционно-управляемого аппарата для работы в условиях пониженных температур с борта научно-исследовательского судна в подобных условиях. В качестве основной платформы для разработки данной модели подводного аппарата, была выбрана плата Arduino Mega Rev3 с микроконтроллером ATmega2560.

Объект исследования: разработка прототипа дистанционно управляемого аппарата для мониторинга подводных объектов в условиях Арктики.

Предмет исследования: Компонентная база и основные характеристики дистанционно управляемого аппарата, имплементация разработанной технологии

Актуальность работы: Актуальность данного проекта определена необходимостью визуального контроля за подводными объектами, которые могут быть труднодоступны для человека, поэтому в данной работе был разработан прототип малогабаритного подводного аппарата для дистанционного контроля труднодоступных подводных сооружений и объектов. Цель исследования — Разработка прототипа малогабаритного подводного аппарата для дистанционного контроля корпуса судна в ледовых условиях

Задачи:

- Анализ компонентной базы и выбор элементов для создания малогабаритного подводного аппарата
- Разработка малогабаритного подводного аппарата для работы в ледовых условиях
- Сборка и отладка прототипа аппарата

Основная задача данного аппарата – осмотр корпуса корабля на наличие повреждений, однако при помощи дополнительного оборудования, такого как акустический датчики и приёмники для того чтобы изучить труднодоступный сегмент шельфа, либо набор датчиков, позволяющих получать данные о температуре, солёности и процента насыщения окружающей воды кислородом.

Новизна выпускной квалификационной работы заключается в том, что предлагаемый прототип на базе Arduino IDE впервые используется для подобных целей.

Теоретическая значимость: В работе разработана принципиальная схема малогабаритного подводного аппарата для работы в ледовых условиях. Определены основные необходимые компоненты и проработаны принципы взаимодействия основных составных частей.

Практическая ценность исследования: Данная работа предоставляет документацию для создания прототипа подводного аппарата для исследования подводной части судна в условиях Арктики, без привлечения дополнительных человеческих ресурсов, уменьшение времени, которое может быть затрачено на осуществление контроля подводной части корабля.

Выпускная квалификационная работа состоит из: титульного листа, реферата, содержания, введения, основной части, заключения, списка используемых в работе литературных источников.

ГЛАВА 1. РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ ПОДВОДНОГО АППАРАТА, АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩЕЙ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ И ВЫБОР КОМПЛЕКТУЮЩИХ

1.1. Разработка структурной схемы подводного аппарата

В современном мире робототехника стремительно развивается, различные роботы находят свое применение в самых разных сферах практической деятельности. Одной из таких сфер являются работы под водой. Применение роботов для подводных работ – перспективное направление для инженерных разработок, так как роботы обладают многими преимуществами перед работой водолазов. В первую очередь, применение роботов позволяет не посылать человека в сложные или опасные условия. Роботы работают точнее человека, не устают, не отвлекаются. В перспективе применение серийных роботов будет также экономически выгодно.

Сейчас роботы используются для разных подводных работ: исследовательских, поисковых, аварийно-спасательных, инспекционных, ремонтных, для прокладки кабелей, подводной видеосъемки и т.д.

Подводные работы обладают своей спецификой, которую нужно учитывать для разработки и эксплуатации роботов. Это, в частности, постоянно меняющаяся гидродинамическая обстановка, неопределенная навигационная обстановка, наличие внешних возмущений. В ходе выполнения подводных работ у малогабаритных подводных роботов могут изменяться собственные гидродинамические параметры.

В связи со всем этим самая актуальная задача при создании подводных роботов – это автоматизация управления подвижными объектами.

Нами разработан подводный аппарат для проведения подводных поисковых, инспекционных и исследовательских работ, который может работать на малых глубинах.

Первым этапом работы стала разработка обобщенной структурной схемы устройства. Она приведена на рисунке 1.1. Эта схема демонстрирует общие принципы и структуру работы спроектированного устройства, его основные компоненты и их взаимодействие друг с другом.

Рассмотрим ее подробнее.

В ходе анализа имеющейся в нашем распоряжении компонентной базы мы исходили из необходимости выполнения следующих главных условий:

- для простоты замены компонентов в случае поломки или при необходимости перенастройки, дополнительного оснащения подводный аппарат должен быть модульным;
- поскольку аппарат предназначен для поисковых и исследовательских работ, он должен быть оснащен видеокамерой, которая сможет вести подводную съемку и зафиксировать необходимую информацию, например, повреждения подводных частей или сооружений;

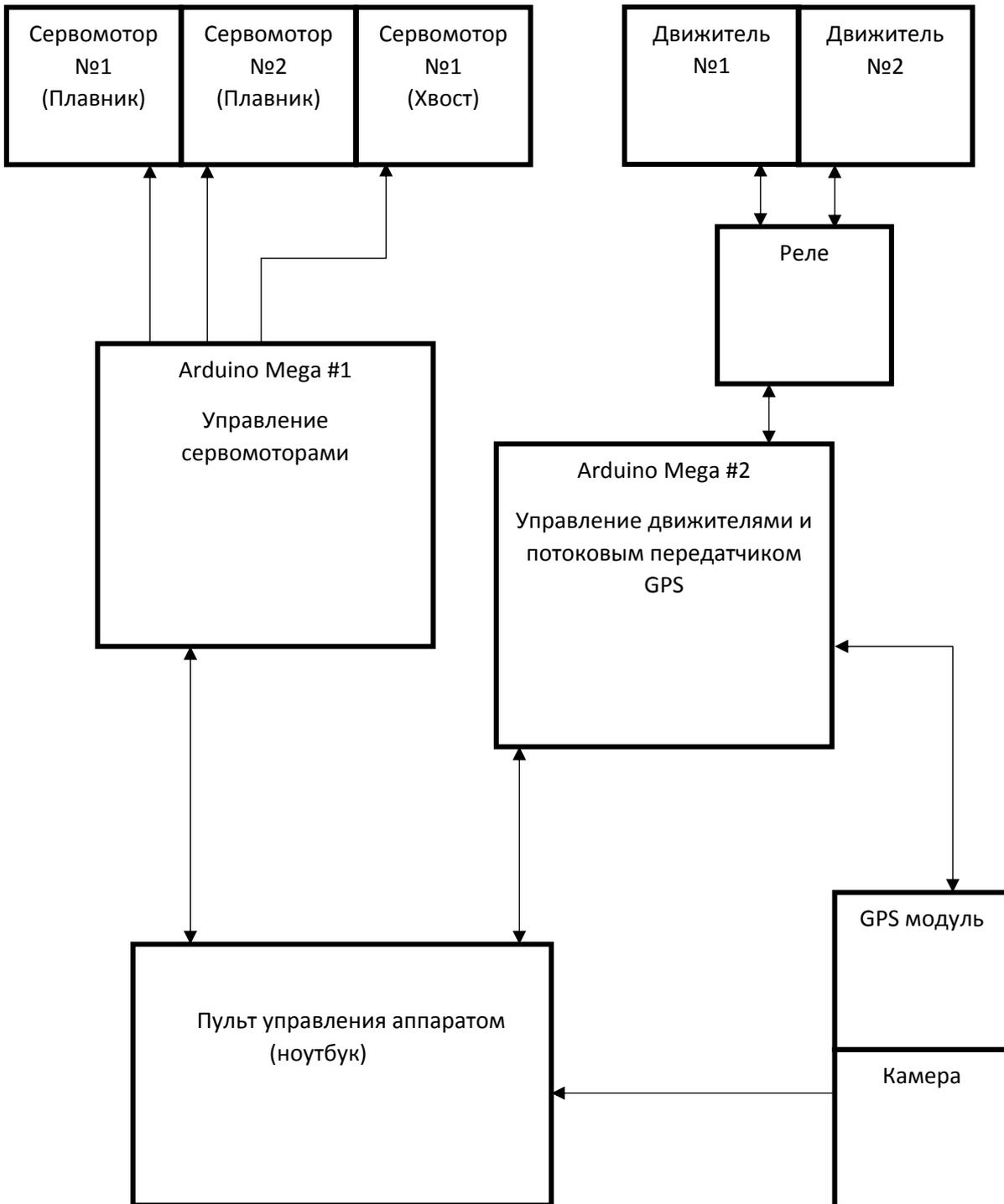


Рисунок 1.1 – структурная схема подводного аппарата

- для передачи потоковой видеозаписи на пульт управления необходимо предусмотреть для устройства кабель достаточной длины;
- для лучшего качества видеосъемки в подводных условиях необходимы мощные фонари, иначе важные детали обследованных частей корабля могут оказаться незадокументированы, что отрицательно скажется на качестве работ;
- для того, чтобы оператор мог в реальном времени наблюдать за роботом или обнаружить его в случае нештатной ситуации, нужно спроектировать возможность подключения аппарата к системам геопозиционирования либо встроить радиомаяк;
- все компоненты модульного аппарата должны быть легко заменяемы;
- батарея должна быть достаточно мощной, чтобы обеспечивать работу аппарата и всех его компонентов при работе в толще воды;
- наиболее удачный способ дистанционного управления аппаратом – при помощи ноутбука.

Основной принцип работы нашего аппарата прост. При обнаружении повреждения обшивки корабля или подозрении, что обшивка повреждена, в воду рядом с кораблем спускается дистанционно управляемый аппарат для обследования состояния обшивки. В ходе работы аппарата возможны следующие ситуации:

- Аппарат обнаружит протечку и зафиксирует на видео ее расположение и степень повреждения обшивки, так что оператор

может отправить для устранения повреждения водолазов, у которых будут точные данные;

- Аппарат обнаружит, что обшивка не повреждена, и, следовательно, использовать водолазов не нужно, можно просто поднять аппарат обратно на борт;
- У аппарата может закончиться питание. Наличие достаточно мощной батареи предусмотрено при разработке устройства, однако если заряда все-таки не хватит, рекомендуется вытащить аппарат из воды для замены батареи, т.к. пока его двигатели не будут включены, он рискует пойти на дно.

1.2. Анализ комплектующих отечественного производства

Основой структуры разрабатываемого подводного аппарата является микроконтроллер, или плата управления, куда записываются все команды управления модулями. Она управляет всеми модулями и компонентами аппарата, от нее зависит эффективность работы всего устройства. Поскольку это самый важный элемент, подбор комплектующих было решено начать именно с микроконтроллера.

Был проведен анализ представленных на рынке решений. При подборе платы, кроме ее качества (изготовителя, мощности, языков программирования и др.), учитывались также такие требования, как доступная стоимость платы и возможность ее быстрого получения. В результате было решено взять микроконтроллер семейства «Iskra». Это семейство разработано петербургской компанией «Амперка» и представляет собой один из российских аналогов продукции компании «Arduino». Выбор продукции петербургской компании не только позволит поддержать местного производителя, но и позволяет избежать

сложностей с логистикой, которые возникают при заказе комплектующих из-за границы.

Среди продукции семейства «Искра» в целом отвечают необходимым условиям шесть моделей микроконтроллеров:

- Iskra JS
- Iskra JS mini
- Iskra Neo
- Iskra Mini
- Iskra Mega
- IskraN pro
- Iskra Uno

Однако при более подробном анализе выяснилось, что большинство из них все же не подходят для намеченной цели или имеют недостаточно подходящие характеристики. Объясним подробнее, в чем это несоответствие. (Все технические характеристики конкретных плат, которые приводятся ниже, взяты из официальной документации компании-разработчика, опубликованной на его сайте или приведенной в прилагающихся инструкциях).

Микроконтроллеры «Iskra JS» и «Iskra JS mini», по данным компании-разработчика, имеют следующие характеристики (см. таблицы).

Основные характеристики «Iskra JS»:

Микроконтроллер:	STM32F405RG (32-битный ARM Cortex M4)
Тактовая частота:	168 МГц
Флеш-память:	1024 кБ
SRAM-память:	192 кБ
Номинальное рабочее напряжение:	3,3 В
Рекомендуемое входное напряжение:	7–15 В или 3,6–12 В
Максимальный ток с шины 5V:	1000 мА
Максимальный ток с шины 3.3V:	300 мА (включая питание микроконтроллера)
Максимальный ток с пина или на пин:	25 мА
Максимальный суммарный ток с пинов или на пины:	240 мА
Портов ввода-вывода общего назначения:	26
Портов с поддержкой ШИМ:	22
Портов с АЦП:	12 (12 бит)
Портов с ЦАП:	2 (12 бит)
Доступные аппаратные интерфейсы:	4×UART/Serial, 3×I ² C/TWI, 2×SPI

Основные характеристики «Iskra JS mini»

Микроконтроллер:	STM32F411CEU6 (32-битный ARM Cortex M4)
Тактовая частота:	100 МГц
Объём <u>Flash</u> -памяти:	512 КБ
Объём SRAM-памяти:	128 КБ
Портов ввода-вывода всего:	20
Портов с АЦП:	8
Разрядность АЦП:	12 бит
Портов с ШИМ:	19
Разрядность ШИМ:	16 бит
Аппаратных интерфейсов SPI:	3
Аппаратных интерфейсов I ² C / TWI:	2
Аппаратных интерфейсов UART / <u>Serial</u> :	1
Номинальное рабочее напряжение:	3,3 В
Портов толерантных к 5 В:	17
Максимальный ток с шины 3.3V:	2 А (включая питание микроконтроллера)
Максимальный ток с <u>пина</u> или на <u>пин</u> :	25 мА
Допустимое входное напряжение от внешнего источника:	7–14 В
Габариты:	33×21×69 мм

В отличие от большинства подобных плат, платы «Iskra JS» и «Iskra JS mini» используют не стандартный язык «C++», а язык «Javascript». «Javascript» менее распространен, поэтому данные платы не имеют заранее составленных

производителем библиотек для модулей, что подразумевает «кастомное» (то есть вручную) написание долгой версии кода для каждого модуля, что может потребовать от пары недель, до пары месяцев долгой кропотливой работы для каждого модуля, что указан у нас в чертеже.

У языка «JavaScript» есть также собственные недостатки, а именно большой объем потребляемой памяти и использование сторонних приложений для запуска кодов, что делает его неудобным в использовании на компактных устройствах.

Поскольку «JavaScript» не очень распространен, моему соавтору также понадобилось бы дополнительно потратить много времени на его детальное изучение. Язык «C++», напротив, хорошо знаком нам обоим, так как преподается еще в школе на уроках информатики.

Кроме того, еще одной важной особенностью платы «Iskra JS mini», является то, что у нее нет выходов SPI. Для наших целей это также является большим недостатком. Выходы SPI необходимы для управления сервомоторами, которых в нашем проекте предусмотрено два.

Не говоря уже о том, что данная плата имеет отрицательную репутацию среди разработчиков за дурную тенденцию «слетающей» прошивки, что означало, что любое системное ПО (включая встроенное заводом-изготовителем) могло просто перестать на ней работать в любой момент или же из-за некачественной переадресовки пакетов могло сжечь процессор и/или порты, делая плату полезной лишь на уровне пресс-папье и эффективной примерно на том же уровне.

Далее рассмотрим *основные характеристики микроконтроллера «Iskra Neo»*:

Микроконтроллер:	ATmega32U4
Тактовая частота:	16 МГц
Флеш-память:	32 КБ (из них 4 КБ занято загрузчиком)
SRAM-память:	2,5 КБ
EEPROM-память:	1 КБ
Рабочее напряжение:	5 В
Рекомендуемое входное напряжение:	7–12 В
Максимальный ток с <u>пина 5V</u> :	1 А
Максимальный ток с <u>пина ввода-вывода</u> :	40 мА
Максимальный суммарный ток с <u>пинов ввода-вывода</u> :	200 мА
Портов ввода-вывода общего назначения:	20
Портов с поддержкой ШИМ:	7
Портов, подключённых к АЦП:	12
Разрядность АЦП:	10 бит
Аппаратные интерфейсы:	UART, I ² C, SPI
Габариты:	69×53 мм

В целом плата подходит для нашего проекта, но в ходе работ выяснилась проблема с недостаточностью пинов. Их недостаточно для нашего проекта ввиду того, что многие из пинов рассчитаны на более слабое напряжение, что не позволяло бы нам «запитать» ни сервомоторы, ни реле, ни даже маленький дополнительный светильник, который собирался играть роль фонаря прямо с платы.

Я пытался обойти эти ограничения и использовать для проекта именно плату «Iskra Neo», однако это не получилось. Попытка объединить один пин сразу в несколько целей – не удалась, т.к. сигналы будут перебивать друг друга и нарушать работу всей системы. В результате может не только нарушаться работа аппарата, но и возникает риск повредить плату и компоненты. Поэтому от платы «Iskra Neo» после нескольких попыток ее использовать тоже пришлось отказаться.

Рассмотрим теперь основные характеристики следующих плат.

Основные характеристики «Iskra mini»:

Микроконтроллер:	ATmega328
Тактовая частота:	16 МГц
<u>Флеш-память:</u>	32 КБ (2 КБ используются загрузчиком)
Оперативная память SRAM:	2 КБ
Энергонезависимая память EEPROM:	1 КБ
Рабочее напряжение:	5 В
Входное напряжение:	5–9 В
Портов ввода-вывода общего назначения:	20
Портов с поддержкой ШИМ:	6
Портов, подключённых к АЦП:	8
Разрядность АЦП:	10 бит
Аппаратные интерфейсы:	UART, SPI, I ² C (на <u>нераспаянных выводах</u>)
Максимальный ток одного вывода :	40 мА
Максимальный ток с <u>пина</u> +5V:	150 мА
Габариты:	33×20 мм

Основные характеристики «Iskra Uno»

Микроконтроллер:	ATmega328P
Тактовая частота:	16 МГц
<u>Флеш</u> -память:	32 КБ
SRAM-память:	2 КБ
EEPROM-память:	1 КБ
Портов ввода-вывода:	20
Рабочее напряжение:	5 В
Максимальный ток с <u>пина</u> 5V:	1 А
Максимальный ток с <u>пина</u> ввода-вывода:	40 мА
Максимальный суммарный ток с <u>пинов</u> ввода-вывода:	200 мА
Аппаратные интерфейсы:	UART, I ² C, SPI
Габариты:	69×53 мм

Основные характеристики «Iskra nano pro»:

Микроконтроллер:	ATmega328PB
Ядро:	8-битный AVR
Тактовая частота:	16 МГц
Flash-память:	32 КБ (2 КБ занимает загрузчик)
SRAM-память:	2 КБ
EEPROM-памяти:	1 КБ
Портов ввода-вывода всего:	22
Портов с АЦП:	8
Разрядность АЦП:	10 бит
Портов с ШИМ:	9
Разрядность ШИМ:	8 бит
Аппаратных интерфейсов SPI:	2
Аппаратных интерфейсов I ² C / TWI:	1
Аппаратных интерфейсов UART / Serial:	2
Номинальное рабочее напряжение:	5 В
Максимальный выходной ток <u>пина 5V</u> :	1 А
Максимальный выходной ток <u>пина 3V3</u> :	1 А
Максимальный ток с <u>пина</u> или на <u>пин</u> :	40 мА
Допустимое входное напряжение от внешнего источника:	7–12 В
Габариты:	45×18 мм

Пла

ты «Iskra mini» и «Iskra nano pro» также не годятся для нашего проекта, т.к. у каждой из них только пять цифровых выходов.

Таким образом, из всего набора осталась только одна плата, которую можно использовать для разрабатываемого аппарата, это – «Iskra Mega».

Основные характеристики «Iskra Mega»

Микроконтроллер:	ATmega2560
Ядро:	8-битный AVR
Тактовая частота:	16 МГц
Flash-память:	256 КБ (8 КБ занимает загрузчик)
SRAM-память:	32 КБ
EEPROM-память:	4 КБ
Порты ввода-вывода:	70
Порты с АЦП:	16
Разрядность АЦП:	10 бит
Порты с ШИМ:	15
Разрядность ШИМ	: 8 бит
Аппаратный интерфейс SPI:	1
Аппаратный интерфейс I ² C / TWI:	1
Аппаратный интерфейс UART / <u>Serial</u> :	4
Номинальное рабочее напряжение:	5 В
Максимальный выходной ток <u>пина 5V</u> :	3 А
Максимальный выходной ток <u>пина 3V3</u> :	300 <u>мА</u>
Максимальный ток с <u>пина</u> или на <u>пин</u> :	40 мА
Допустимое входное напряжение от внешнего источника:	5–27 В
Габариты:	101×53 мм

Все параметры и характеристики этого микроконтроллера полностью удовлетворяют нашим требованиям. Однако именно этой платы не оказалось в

продаже, и использовать продукцию компании «Амперка», несмотря на все указанные выше положительные качества, не получилось.

Очевидным способом исправления ситуации стала бы замена шилда – платы дополнения, которая служит для упрощения передачи команд на моторы и сервомоторы. Выяснилось, однако, что необходимых устройств в нашей стране не производится. Так же получилось и с модулем камеры, а также радиомодулем и сервомоторами.

Из отечественных аналогов удалось купить только два двигателя постоянного тока K140.

Поскольку использовать отечественные разработки, не удалось, пришлось обратиться к китайским изделиям. Китайские копии большинства известных электронных компонентов широко распространены в нашей стране и во всем мире, легко доступны для покупателей.

1.3. Оригинальные компоненты и импортные аналоги

После неудачи с поиском и приобретением устройств, разработанных в России, было решено все-таки использовать оригинальные комплектующие от Arduino.

Компания Arduino предлагает следующий ряд устройств, которые потенциально подходят для нашего проекта:

- Arduino Nano,
- Arduino Uno,
- Arduino Mega,
- Arduino Due,
- Arduino Leonardo,
- Arduino Mini,
- Arduino Yún.

Данный список плат был взят с официального сайта Arduino. Однако здесь указаны не все платы, т.к. ещё существует множество плат, созданных только под конкретные задачи и не рассчитанных ни на что другое. К примеру, существует около дюжины плат, варьирующихся по размерам, созданных специально для подключения к ним диодов. Так же существует три платы, необходимых для полноценного функционирования отдельных модулей и играющих роль «основного распределителя питания». И по понятным причинам, ни одна из указанных плат нам не может подойти. В виду либо чрезмерной ограниченности платы, либо в виду их ограниченности в плане количества.

Основные характеристики Arduino Uno

Микроконтроллер	АТmega328
Рабочее напряжение	5В
Напряжение питания (рекомендуемое)	7-12В
Напряжение питания (предельное)	6-20В
Цифровые входы/выходы	14 / 6 ШИМ
Аналоговые входы	6
Максимальный ток одного вывода	40 мА
Максимальный выходной ток вывода 3.3V	50 мА
Flash-память	32 КБ 0.5 КБ используются загрузчиком
SRAM	2 КБ (АТmega328)
EEPROM	1 КБ (АТmega328)
Тактовая частота	16 МГц

Основные характеристики Arduino Leonardo:

Микроконтроллер	ATmega32u4
Рабочее напряжение	5В
Напряжение питания (рекомендуемое)	7-12В
Напряжение питания (предельное)	6-20В
Цифровые входы/выходы	20
Каналы ШИМ	7
Аналоговые входы	12
Максимальный ток одного вывода	40 мА
Максимальный выходной ток вывода 3.3V	50 мА
Flash-память	32 КБ (ATmega32u4) из которых 4 КБ используются загрузчиком
SRAM	2.5 КБ (ATmega32u4)
EEPROM	1 КБ (ATmega32u4)
Тактовая частота	16 МГц

Основные характеристики Arduino Due:

Микроконтроллер	AT91SAM3X8E
Рабочее напряжение	3.3В
Напряжение питания (рекомендуемое)	7-12В
Напряжение питания (предельное)	6-16В
Цифровые выходы	54 (из них 12 могут работать как ШИМ-выходы)
Аналоговые входы	12
Аналоговые выходы	2 (ЦАП)
Суммарный выходной ток всех выводов (максимальный)	130 мА
Максимальный выходной ток вывода 3.3V	800 мА
Максимальный выходной ток вывода 5V	800 мА
<u>Flash</u> -память	512 КБ в полном объеме доступна пользовательским программам
SRAM	96 КБ (два банка памяти: 64 КБ и 32 КБ)
Тактовая частота	84 МГц

Основные характеристики Arduino mini:

Микроконтроллер	ATmega328
Рабочее напряжение	5В
Напряжение питания	7-9В
Цифровые входы/выходы	14 (из которых бмогут использоваться в качестве ШИМ-выходов)
Аналоговые входы	8 (4 из которых на внешних выводах)
Максимальный ток одного вывода	40 мА
Flash-память	32 КБ (из которых 2 КБ используются загрузчиком)
SRAM	2 КБ
EEPROM	1 КБ
Тактовая частота	16 МГц

Основные характеристики Arduino Nano:

Микроконтроллер	Atmel ATmega168 или ATmega328
Рабочее напряжение (логический уровень)	5В
Напряжение питания (рекомендуемое)	7-12В
Напряжение питания (предельное)	6-20В
Цифровые входы/выходы	14 (из которых 6 могут использоваться как ШИМ-выходы)
Аналоговые входы	8
Максимальный ток одного вывода	40 мА
Flash-память	16 КБ (ATmega168) или 32 КБ (ATmega328) из которых 2 КБ используются загрузчиком
SRAM	1 КБ (ATmega168) или 2 КБ (ATmega328)
EEPROM	512 байт (ATmega168) или 1 КБ (ATmega328)
Тактовая частота	16 МГц
Размеры платы	1.85 см x 4.3 см

Основные характеристики Arduino Mega:

Микроконтроллер	ATmega2560
Рабочее напряжение	5В
Напряжение питания (рекомендуемое)	7-12В
Напряжение питания (предельное)	6-20В
Цифровые входы/выходы	54 (из которых 15 могут использоваться в качестве ШИМ-выходов)
Аналоговые входы	16
Максимальный ток одного вывода	40 мА
Максимальный выходной ток вывода 3.3V	50 мА
Flash-память	256 КБ из которых 8 КБ используются загрузчиком
SRAM	8 КБ
EEPROM	4 КБ
Тактовая частота	16 МГц

Основные характеристики Arduino Yun

Входное напряжение питания:	5 В
Максимальный выходной ток <u>пина</u>	3.3V: 800 мА
Размеры:	69×53×9 мм
Микроконтроллер	ATmega32U4
Архитектура:	AVR
Тактовая частота:	16 МГц
Напряжение логических уровней:	5 В
Контакты ввода-вывода общего назначения:	20
Максимальный ток с <u>пина</u> ввода-вывода:	40 мА
Контакты с поддержкой АЦП:	6
Разрядность АЦП:	10 бит
Контакты с поддержкой ШИМ:	12
Разрядность ШИМ:	8 бит
<u>Flash</u> -память:	32 КБ (4 КБ занимает загрузчик)
SRAM-память:	2,5 КБ
EEPROM-память:	1 КБ
Аппаратные интерфейсы:	1× SPI , 1× I ² C/TWI, 1× UART/Serial

Из приведенного списка с самого начала пришлось отказаться от использования плат Arduino Nano, Arduino mini. Причина в том, что у этих плат (как и раньше у плат «Iskra Js» и «Iskra mini») о недостаточно цифровых пинов для реализации нашего проекта. О том, чем это грозит работе аппарат, сказано выше, при анализе

микроконтроллеров «Iskra Js» и «Iskra mini».

Платы Arduino Leonardo и Arduino Uno на первый взгляд подходили для работы. Это мощные микроконтроллеры с достаточным количество пинов для цифровых задач. Немаловажно также, что они продаются по приемлемой цене.

Однако именно потому, что это сравнительно недорогие и мощные устройства, они тоже оказались раскуплены. Ближайшую поставку обещали через несколько месяцев, но этот срок нам не подходил, т.к. мы не успели бы доделать прототип.

В результате удалось купить только микропроцессор Arduino Mega третьей ревизии, уже бывший в употреблении – раньше он использовался в 3D – принтере. Таким образом, начинать разработку аппарата пришлось не с выбранной в результате произведенного анализа платой, а с тем, что удалось достать, что тоже в определенной степени характерно для всех инженерных разработок в условиях свободного рынка.

Однако, после некоторого анализа, стало известно, что у плат Arduino есть некоторые проблемы с многозадачностью. Это означает, что если мы хотим одновременно начать погружение и повернуть аппарат влево, то одна из этих двух команд будет выполняться с задержкой, примерно в 0.5 секунд, что может являться большой помехой в нашей работе. По этой причине было принято решение взять две платы Arduino Mega, чтобы разделить их по функционалу.

Одна из плат будет управлять плавниками, ответственными за возможность всплытия/погружения аппарата и движение вперед (т.к. это потоковая команда, то её выполнение не требует много ресурсов платы в отличие от команд «поворот» в виду отсутствия необходимости отсчитывать текущий угол аппарата).

Следующим этапом работы стали выбор и покупка сервоприводов.

Для начала необходимо было выбрать сервоприводы. Выбор происходил между сразу несколькими популярными моделями, а именно DG-2015MG (Рисунок 1.2), TD-8125MG (Рисунок 1.3), MG995 (Рисунок 1.4).

Характеристики TD-8125MG:

Диапазон напряжения:	4,8 В ~ 6,6 В
Скорость холостого хода 4,8 В:	0,18 сек/60°
Скорость холостого хода 6,6 В:	0,16 сек/60°
Крутящий момент 4,8 В:	23,5 кг
Крутящий момент 6,6 В:	26,5 кг
Диапазон поворота:	180°
Водонепроницаемый:	да (брызги воды)
Материал шестерни:	металл
Размеры:	40 x 20 x 40,5 мм



Рисунок 1.2 TD-8125MG

Характеристики DG-2015MG :

Напряжение:	4,8-7,4 В
Скорость:	0,13 с/60 градусов (6,0 В)
Скорость:	0,12 с/60 градусов (7,4 В)
Крутящий момент:	15 кг (6,0 В)
Шестерни:	бронза
Подшипник:	2ВВ
Зубья шестерни:	25 Т
Длина кабеля:	30 см
Размеры:	40 x 20 x 37 мм
Вес:	67,5 г



Рисунок 1.3 DG-2015MG

Характеристики MG995:

Рабочее напряжение :	4.8-7.2 В
Угол поворота :	120 градусов
Крутящий момент :	8,5 кг/см (при 4.8 В), 10 кг/см (при 6 В)
Скорость :	0,20 сек/60° (при 4,8 В), 0,16 сек/60° (при 6 В)
Материал шестерней :	металл
Вес :	55 г
Размер :	40x20x42 мм

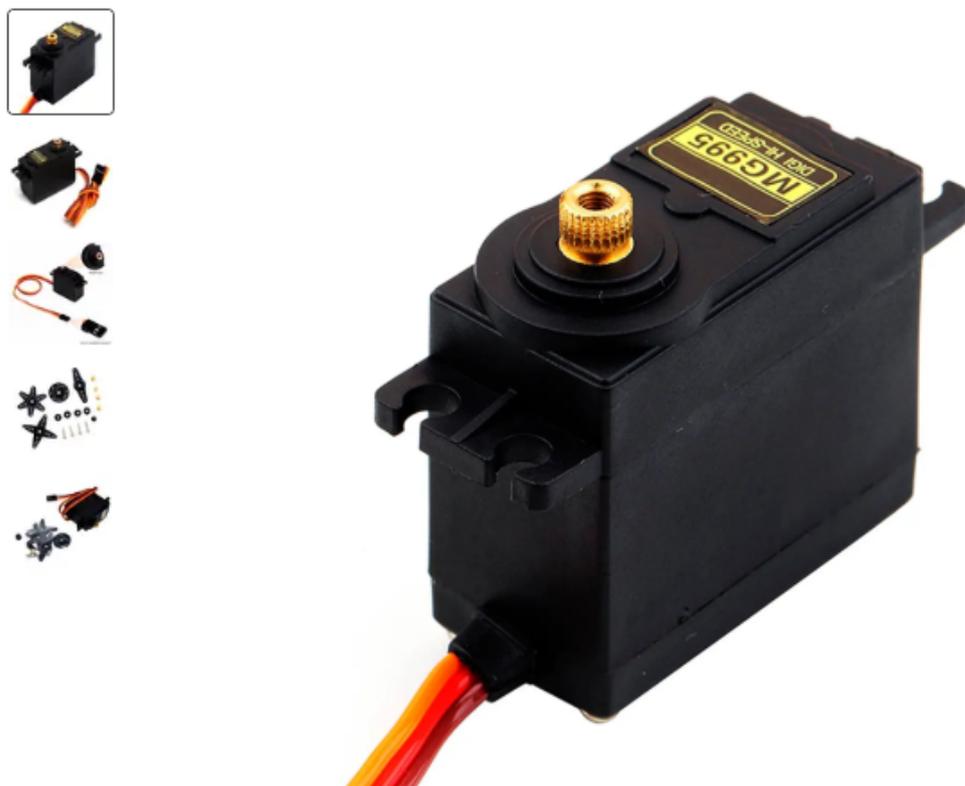


Рисунок 1.4 MG995

После сравнения основных характеристик, которыми данные сервомоторы обладают, было найдено некоторое количество схожестей и ключевых различий. К примеру, в то как большая часть сервомоторов имели хоть какую-то степень влагозащищённости и могут быть использованы для нашего проекта, TD-8125MG не могли быть задействованы, так как для них брызги воды уже могли нанести существенный урон и полностью отключить их, в некоторых случаях даже создать короткое замыкание и отключить всю нашу схему. DG-2015 имели все необходимые качества для того, чтобы использовать их в аппарате, однако они были значительно дороже остальных и имели лишь 60 градусный угол поворота, что не могло бы нам помочь, тк ожидалось, что плавники и хвост будут способны на угол поворота от 90 до 120, или даже 180 градусов для оптимальной маневренности. В связи с этими ключевыми причинами и некоторыми другими менее важными, мной и моим коллегой были выбраны MG995. Данные сервомоторы обладают всеми необходимыми нам характеристиками и уже зарекомендовали себя на моём опыте как качественные компоненты с высоким показателем надёжности и эффективности, поэтому было решено взять их как для плавников, так и для хвоста нашего робота.

Далее необходимо было выбрать , хотим ли мы сделать робота на проводном управлении или попробовать создать некий гибрид , используя плавающий буй+ радио модуль , для передачи сигнала с расстояния на буй , а с буя через кабели передать сигнал на плату , однако после некоторого размышления , было решено , что на текущий момент , мы оставим разработку полностью проводной , без радио модуля , это позволит сначала отработать нам все возможные подключения к платам , уточнить необходимые диаметры кабелей для более долгой и качественной работы , не нарушая хорошее соотношение цена/качество и позволит нам не уместать тяжёлый блок питания

на борту судна , что позволит нам точнее и лучше скорректировать его остойчивость и плавучесть .

После чего нам необходимо было выбрать камеру, после некоторого анализа модулей камер как с потоковой передачей данных, так и не с потоковой передачей данных, представленных на рынке на текущий момент, были найдены следующие варианты.

На выбор из модулей камеры, были OV7670 (Рисунок 1.6), OV2640 (Рисунок 1.5) и Eachine 1000TVL (Рисунок 1.7).

Характеристики OV2640:

Датчик размер:	1/4 дюйма
Пиксель:	1600 * 1200 (200 Вт)
Выходной формат:	RGB565 / JPEG / YUV / <u>YCbCr</u> и т. Д.
Интерфейс управления:	SCCB
Рабочее напряжение:	3,3 В
Размер модуля:	27 мм x 27 мм

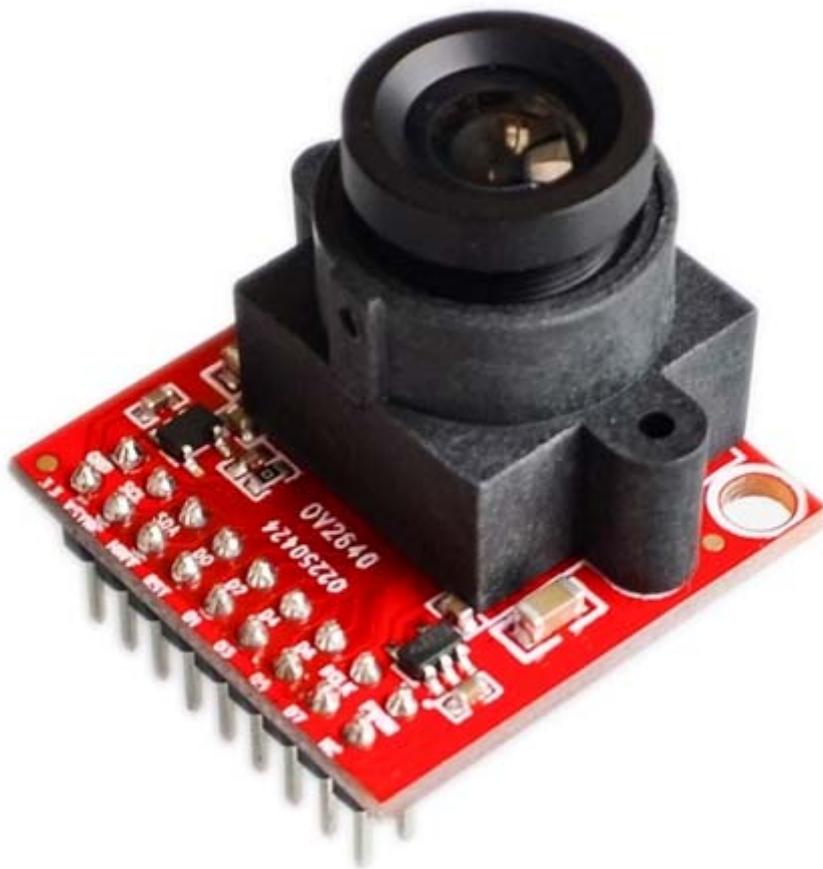


Рисунок 1.5 OV2640

Характеристики OV7670

Количество пикселей:	0.3 <u>mpx</u>
Интерфейс:	Standard SCCB interface compatible with I2C interface
Выходной формат:	<u>RawRGB</u> to RGB (GRB4: 2:2, RGB565/555/444), YUV (4:2:2) and <u>YCbCr</u> (4:2:2)
Поддерживает:	VGA, CIF
Разрешение:	640x480
Напряжение питания:	2.5-3.3В
Потребляемая мощность:	60мВт
Ток покоя:	20мкА
Оптика:	1/6"
Угол обзора:	25°
Чувствительность:	1.3 В/ <u>(Lux-sec)</u>
Частота дискретизации:	50/60Гц
Скорость записи:	максимум 30кадр/с
соотношение сигнал/шум:	46 дБ
динамический диапазон:	52 дБ
режим развертки:	по рядам
размер пикселя:	3.6мкм x 3.6мкм

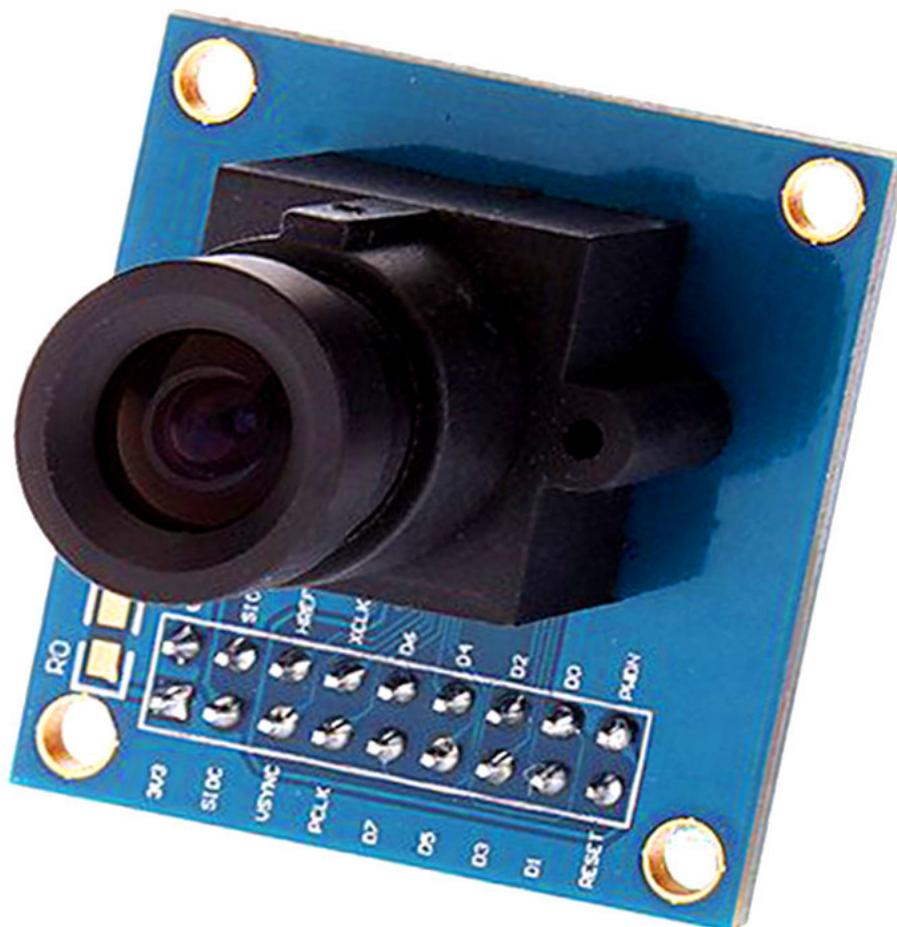


Рисунок 1.6 OV7670

Характеристики Eachine 1000TVL

Потребляемая мощность:	55mA @ 5v
Питание	5-20 Вольт
Минимальная освещенность (люкс):	0.08lux / f1.2
Размер матрицы:	1/3 "
Формат:	NTSC / PAL (переключатель)
Разрешение:	PAL: 976x582 , NTSC: 976x494
Объектив:	2.8мм с IR покрытием
FOV:	110°
Рабочая температура:	от 0 до 40°C
Размер камеры:	28 * 24.5 * 17.5 мм
Размер:	17мм * 14мм
Вес нетто:	10.4 г (без кабеля)

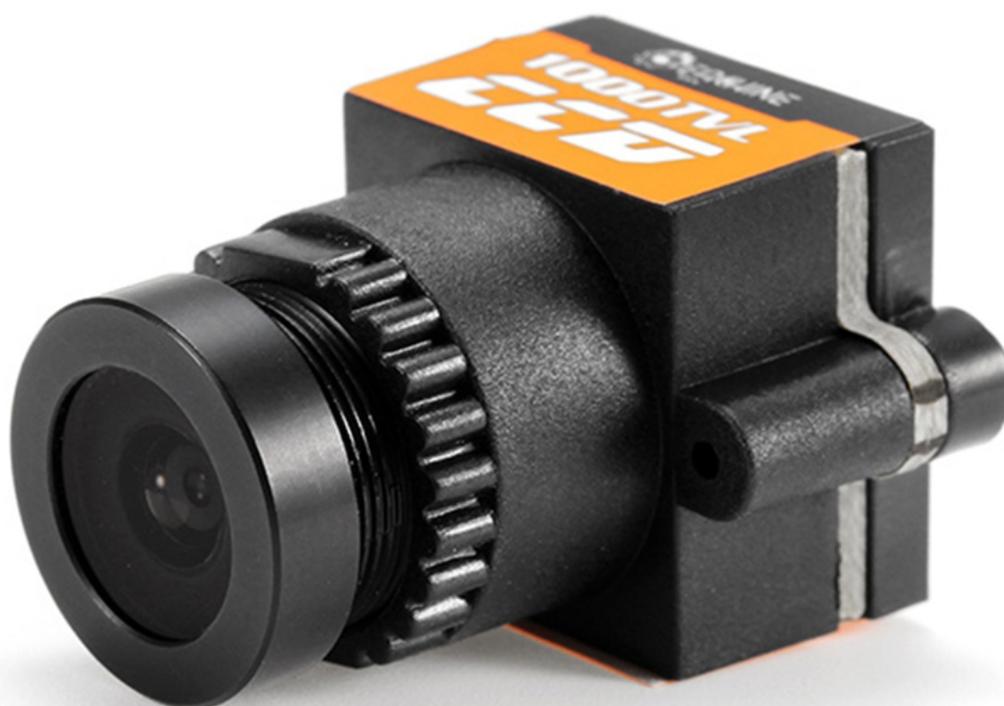


Рисунок 1.7 Eachine 1000TVL

После долгого анализа компонентов и их сравнения по различным характеристикам, было выявлено следующие пункты несоответствия нашей задаче:

OV2640 не могла быть использована сразу по ряду причин, одной из которых был факт того, что она не могла вести видеозапись и /или транслировать или сохранять фотографии в достаточно высокой скорости, чтоб оправдать её покупку и использование, её использование можно оправдать лишь как вторичную камеру, используемую для фотографического захвата повреждений корпуса корабля для вспомогательного изучения, однако это подразумевало другую дополнительно созданную систему, которая предполагала бы какой-нибудь подвижный штатив, требующий ещё большее количество сервомоторов (которые должны быть на открытой части корпуса, чтоб правильно функционировать), дополнительную плату, чтоб не создавать проблемы с многопоточностью, а это в свою очередь предполагало, что будет требоваться больший корпус, будут требоваться более мощные движители, может потребоваться более объёмный блок питания и так далее. В связи с этим, идея использовать данную модель камеры была отвергнута на текущий момент.

OV7670 не могла быть нами использована по ряду других причин. Несмотря на то, что в прошлой модели нашего аппарата она была рассмотрена как основная камера, с тех пор мы установили целый ряд причин почему это был плохой выбор и решили не повторять наши ошибки в плане изучения компонентов для их подбора. Камера способна вести потоковую съёмку, однако данная съёмка ограничивалась лишь 30 кадрами в секунду, что имело низкую эффективность и ещё более низкое качество, которое просто не соответствовало нашим требованиям. Изображение было чёрно-белое, с ужасной контрастностью и на нём невозможно было выявить ничего. Так же, данная модель камеры, точно так же, как и её предшественница OV2640 имела довольно низкую

ожидаемую продолжительность жизни и имел тенденцию очень быстро ломаться. Наиболее частой поломкой являлось повреждение матрицы, путём направления её на достаточно яркий объект.

По этим и некоторым другим причинам, для визуального обозрения повреждений была выбрана Eachine 1000TVL. Данная камера специально создана для управляемых высокоскоростных дронов, при помощи которых участвуют в гоночных соревнованиях между друг другом. При помощи этой камеры игроки получают прямую видеотрансляцию с дрона с минимальной задержкой. Такая камера не имеет большой сложности в монтаже, что будет очень полезно, при необходимости замены/починки.

Для определения местоположения аппарата было решено использовать GPS модуль *NEO-6M*, имеющий следующие характеристики:

GPS модуль:	U-Blox NEO-6M-0-001
Встроенная батарейка для быстрого, холодного старта	Присутствует
Чувствительность:	-161 dBm
Скорость обновления:	5 Гц
Интерфейсы:	UART (выведен), SPI, DDC, IIC
Передает координаты в формате:	NMEA
Скорость подключения по умолчанию	по UART: 9600 бод
Активная антенна;	Присутствует
Напряжение питания:	3 – 5 В
Возможность работы с программами: U-Center и т.п.	Присутствует
Размеры платы:	57 x 25 x 15 мм

1.4. Сборка и теоретическое описание проекта.

Проект будет представлять из себя дистанционно управляемый подводный аппарат, оперирующий на двух платах Arduino Mega 2560 (rev3), управляющих двумя двигателями и тремя сервомоторами. Камера подключена напрямую к ноутбуку, который является пультом.

Заключение по первой главе.

В первой главе работы дается подробный анализ отечественных и импортных комплектующих, пригодных для разработки небольшого аппарата для подводных работ. Приводится также описание рыночной ситуации с доступностью конкретных плат в петербургских магазинах и под заказ. С учетом проведенного анализа и доступности конкретных компонентов для реализации проекта были выбраны следующие комплектующие: Arduino mega 2560 в количестве двух единиц, камера Eachine 1000TVL и GPS щит NEO-6M. В роли пульта было решено использовать портативный компьютер для облегчения управления и уменьшения количества компонентов.

ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ПОДВОДНОГО АППАРАТА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МОРСКИХ ОБЪЕКТОВ

2.1. Перечень компонентов

Основным компонентом для прототипа стала плата Arduino Mega. В ходе работ использование этой платы в качестве платы управления подводным аппаратом выявило целый ряд преимуществ среди аналогичных плат зарубежного и российского производства.

Основные характеристики данной платы приводятся здесь по документации компании-разработчика:

- 1) в качестве микроконтроллера используется ATmega2650;
- 2) рабочее напряжение составляет 5В;
- 3) рекомендуемое входное напряжение 7-12В;
- 4) предельное входное напряжение ;
- 5) постоянный ток через вход(выход) составляет 40mA;
- 6) постоянный ток для вывода 3.3В – 50mA;
- 7) количество флеш памяти, встроенной в плату - 256 КВ (из которых 8 КВ используется для загрузчика);
- 8) ОЗУ – 8 КВ, энергозависимая память – 4 КВ;
- 9) тактовая частота работы 16 МНЗ.

Плата Arduino Mega имеет 54 цифровых выхода(выхода), 14 из них могут работать также как выходы ШИМ, также имеется 16 аналоговых выходов. Arduino Mega может получать питание как через подключение по USB, так и от внешнего источника питания. Источник питания выбирается автоматически.

Внешнее питание (не USB) может подаваться через преобразователь напряжения AC/DC (блок питания) или аккумуляторной батареей. Преобразователь напряжения подключается посредством разъема 2.1 мм с положительным полюсом на центральном контакте. Провода от батареи подключаются к выводам Gnd и Vin разъема питания (POWER).

Платформа может работать при внешнем питании от 6 В до 20 В. При напряжении питания ниже 7 В, вывод 5V может выдавать менее 5 В, при этом платформа может работать нестабильно. При использовании напряжения выше 12 В регулятор напряжения может перегреться и повредить плату. Рекомендуемый диапазон от 7 В до 12 В.

На рисунке 2.1 представлена плата Mega2560. В отличие от других версий плат, она не использует FTDI USB микроконтроллер. Для обмена данными по USB используется микроконтроллер Atmega8U2, запрограммированный как конвертер USB-to-serial.



Рисунок 2.1. Плата управления подводным аппаратом (Arduino Mega 2560)

Для передвижения разрабатываемого устройства были выбраны в качестве основных два 12-вольтовых двигателя модели XD-3420. Это миниатюрные коллекторные электродвигатели постоянного тока. КПД модели XD-3420 составляет 58%, что является очень хорошим показателем.

Указанный двигатель представлен на рисунке 2.2. Его основные характеристики: Тип двигателя – электромеханический. Номинальное напряжение – 11 В. Скорость двигателя 3500 оборотов в минуту. Ток при остановке 0.5 А. Диаметр 8мм (вал), 45 мм (общий). Мощность двигателя 30 Вт.



Рисунок 2.2. Электромотор XD-3420 на 12 вольт

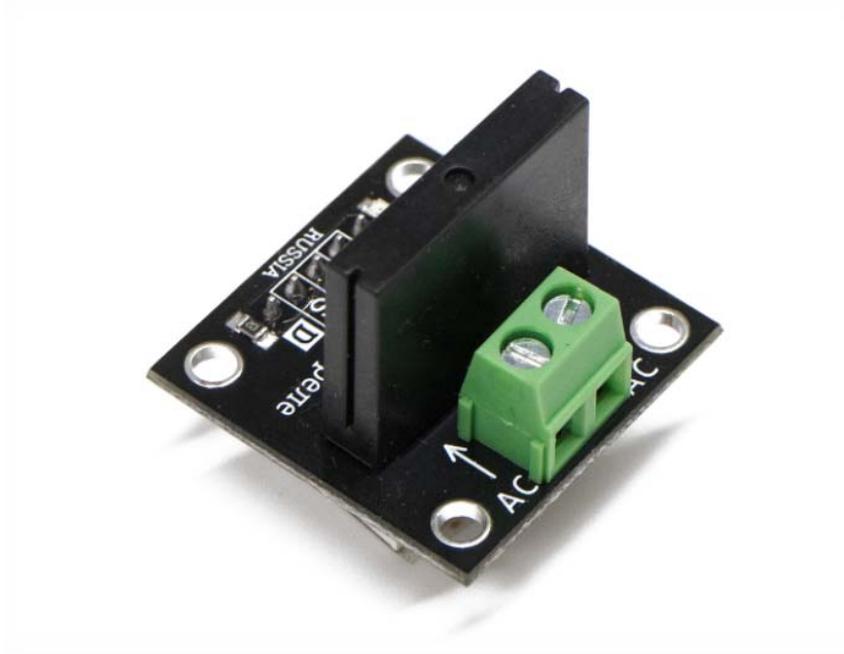


Рисунок 2.3 Твердотельное реле Tremat.

Напряжение срабатывания на входе у данного реле равно 5 вольтам, что в пределах выдачи наших плат, вес довольно мелок для того, чтобы слишком утяжелить конструкцию, а размеры позволят закрепить где угодно внутри аппарата.

Для осуществления всплытия и погружения нашего подводного аппарата мы решили использовать аналоговый сервопривод. Был выбран сервомотор MG995S. В аппарате используется два одинаковых сервомотора, один отвечает за поворот передних плавников., другой используется в хвостовой части подводного аппарата для осуществления поворота в ходе поступательного движения аппарата. Сервомотор MG995S представлен на рисунке 2.5.2.

Модель MG995S является более продвинутой по сравнению с предыдущими. Ее отличает надежность мотора, усовершенствованная схема управления, металлический механизма сервопривода.

В ходе поисков подходящего сервомотора , были так же найдены другие , более мощные варианты , однако одно из самых важных свойств , что нам

необходимо в текущей модели прототипа аппарата – возможность подключить сервопривод напрямую к платам, максимальное выходное напряжение которых не может превышать 5в, а управление сервомоторами через реле в данный момент для меня – непостижимая вещь в виду сложности процесса и количеством необходимых пересылок пакетов данных между платой и устройством, для стабильной и качественной работы.

Основные характеристики использованного сервопривода (согласно документации производителя):

- Рабочее напряжение от 4,8 до 7,2 В.
- Максимальный потребляемый ток – 1000 мА.
- Диапазон вращения составляет 180 градусов.
- Скорость вращения без нагрузки при 4,8 В: 60 градусов за 0,17 секунд, скорость вращения без нагрузки при 6 В: 60 градусов за 0,14 с.
- Максимальный крутящий момент 11 кг/см.



Рисунок 2.5.2 Сервопривод MG995S

В качестве управления аппаратом, вместо предложенного варианта с радиоуправлением, было решено использовать 20-метровый кабель.

К основной плате Arduino Mega подключены плата управления сервомоторами, радиомодуль и камера.

Ввиду важности этой платы для программирования подводного аппарата имеет смысл рассмотреть ее подробнее, как это сделано в первой главе для других плат Arduino и Iskra. В качестве источника здесь тоже использована документация компании-разработчика.

Питание

Arduino Mega может получать питание как через подключение по USB, так и от внешнего источника питания. Источник питания выбирается автоматически. Внешнее питание (не USB) может подаваться через преобразователь напряжения AC/DC (блок питания) или аккумуляторной батареей. Преобразователь напряжения подключается посредством разъема 2.1 мм с положительным полюсом на центральном контакте. Провода от батареи подключаются к выводам Gnd и Vin разъема питания (POWER).

Платформа может работать при внешнем питании от 6 В до 20 В. При напряжении питания ниже 7 В, вывод 5V может выдавать менее 5 В, при этом платформа может работать нестабильно. При использовании напряжения выше 12 В регулятор напряжения может перегреться и повредить плату. Рекомендуемый диапазон от 7 В до 12 В.

Плата Mega2560, в отличие от предыдущих версий плат, не использует FTDI USB микроконтроллер. Для обмена данными по USB используется микроконтроллер Atmega8U2, запрограммированный как конвертер USB-to-serial.

Выводы питания:

VIN. Вход используется для подачи питания от внешнего источника (в отсутствие 5 В от разъема USB или другого регулируемого источника питания). Подача напряжения питания происходит через данный вывод. Если питание подается на разъем 2.1mm, то на этот вход можно запитаться.

5V. Регулируемый источник напряжения, используемый для питания микроконтроллера и компонентов на плате. Питание может подаваться от вывода VIN через регулятор напряжения, или от разъема USB, или другого регулируемого источника напряжения 5 В.

3V3. Напряжение на выводе 3.3 В генерируемое микросхемой FTDI на платформе. Максимальное потребление тока 50 мА.

GND. Выводы заземления.

Входы и выходы.

Каждый из 54 цифровых выводов Mega, используя функции `pinMode()`, `digitalWrite()`, и `digitalRead()`, может настраиваться как вход или выход. Выводы работают при напряжении 5 В. Каждый вывод имеет нагрузочный резистор (стандартно отключен) 20-50 кОм и может пропускать до 40 мА. Некоторые выводы имеют особые функции:

1. Последовательная шина: 0 (RX) и 1 (TX); Последовательная шина 1: 19 (RX) и 18 (TX); Последовательная шина 2: 17 (RX) и 16 (TX); Последовательная шина 3: 15 (RX) и 14 (TX). Выводы используются для получения (RX) и передачи (TX) данных TTL. Выводы 0 и 1 подключены к соответствующим выводам микросхемы последовательной шины ATmega8U2.

2. Внешнее прерывание: 2 (прерывание 0), 3 (прерывание 1), 18 (прерывание 5), 19 (прерывание 4), 20 (прерывание 3), и 21 (прерывание 2). Данные выводы могут быть сконфигурированы на вызов прерывания либо на младшем значении, либо на переднем или заднем фронте, или при изменении значения. Подробная информация находится в описании функции `attachInterrupt()`.

3. PWM: 2 до 13 и 44-46. Любой из выводов обеспечивает ШИМ с разрешением 8 бит при помощи функции `analogWrite()`.

4. SPI: 50 (MISO), 51 (MOSI), 52 (SCK), 53 (SS). Посредством данных выводов осуществляется связь SPI, например, используя библиотеку SPI. Также выводы SPI могут быть выведены на блоке ICSP, который совместим с платформами Uno, Duemilanove и Diecimila.

5. LED: 13. Встроенный светодиод, подключенный к цифровому выводу 13. Если значение на выводе имеет высокий потенциал, то светодиод горит.

6. I2C: 20 (SDA) и 21 (SCL). Посредством выводов осуществляется связь I2C (TWI). Для создания используется библиотека Wire (информация на сайте Wiring). Расположение выводов на платформе Mega не соответствует расположению Duemilanove или Diecimila.

На платформе Mega2560 имеется 16 аналоговых входов, каждый разрешением 10 бит (т.е. может принимать 1024 различных значения). Стандартно выводы имеют диапазон измерения до 5 В относительно земли, тем не менее имеется возможность изменить верхний предел посредством вывода AREF и функции `analogReference()`.

Дополнительная пара выводов платформы:

AREF. Опорное напряжение для аналоговых входов. Используется с функцией `analogReference()`.

Reset. Низкий уровень сигнала на выводе перезагружает микроконтроллер. Обычно применяется для подключения кнопки перезагрузки на плате расширения, закрывающей доступ к кнопке на самой плате Arduino.

Связь.

На платформе Arduino Mega2560 установлено несколько устройств для осуществления связи с компьютером, другими устройствами Arduino или микроконтроллерами. ATmega2560 поддерживает 4 порта последовательной передачи данных UART для TTL. Установленная на плате микросхема ATmega8U2 направляет один из интерфейсов через USB, предоставляя

виртуальный COM порт программам на компьютере (машинам под управлением Windows для корректной работы с виртуальным COM портом необходим .inf файл, системы на базе OSX и Линукс, автоматически распознают COM порт). Утилита мониторинга последовательной шины (Serial Monitor) среды разработки Arduino позволяет посылать и получать текстовые данные при подключении к платформе. Светодиоды RX и TX на платформе будут мигать при передаче данных через микросхему ATmega8U2 и USB подключение (но не при использовании последовательной передачи через выводы 0 и 1).

ATmega2560 поддерживает интерфейсы I2C (TWI) и SPI. В Arduino включена библиотека Wire для удобства использования шины I2C. Более подробная информация находится на сайте Wiring. Для связи по SPI, используется библиотека SPI.

На рисунке 2.6 показана распиновка и расположение входов и выходов на плате Arduino Mega.

Программирование

Платформа программируется посредством среды разработки Arduino на языке C\C++

Микроконтроллер ATmega2560 поставляется с записанным загрузчиком, облегчающим запись новых программ без использования внешних программаторов. Связь осуществляется оригинальным протоколом STK500. Имеется возможность не использовать загрузчик и запрограммировать микроконтроллер через выводы блока ICSP (внутрисхемное программирование).

Arduino Mega 2560 R3 неофициальная распиновка

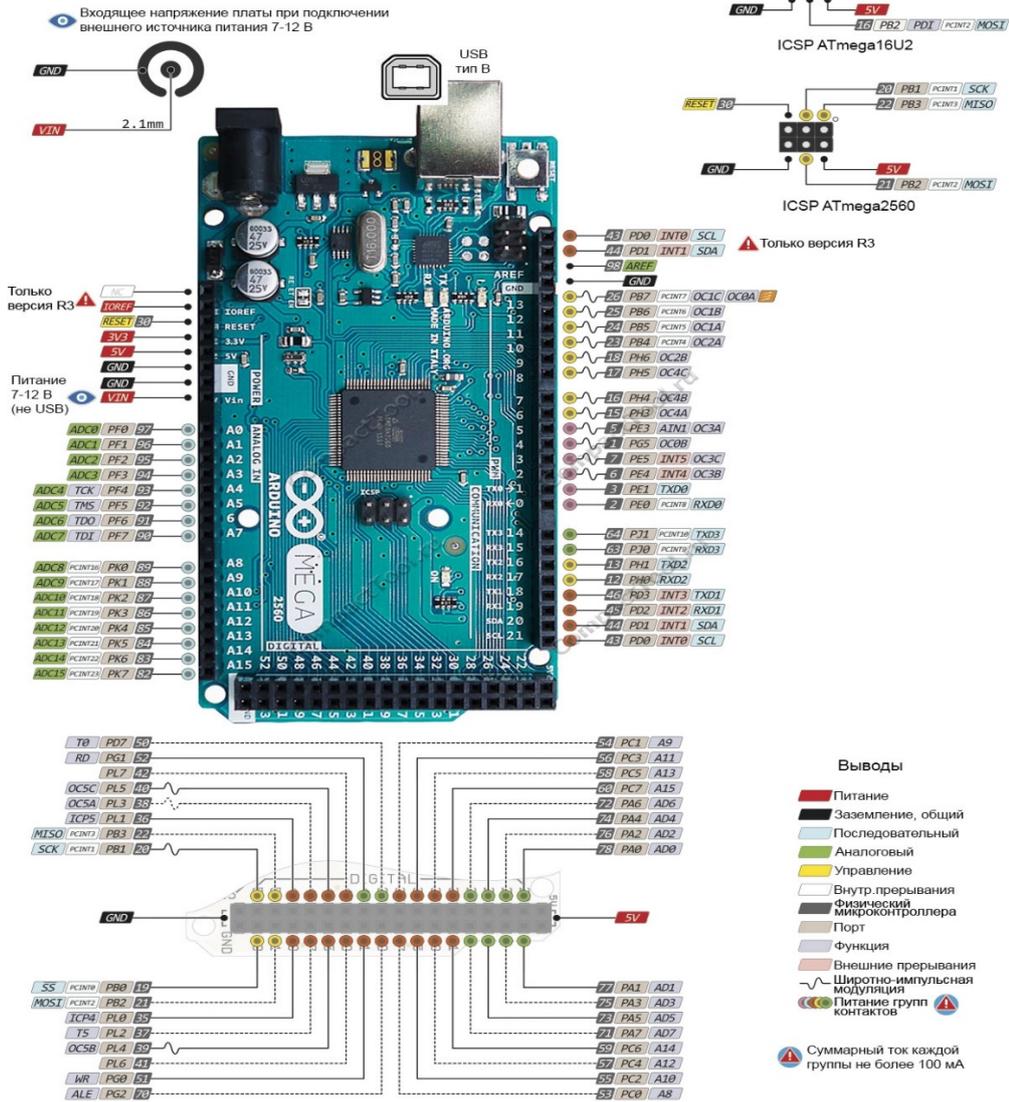


Рисунок 2.6. Расположение входов и выходов на плате Arduino Mega

Код прошивки для контроллера ATmega8U2 доступен для свободного скачивания. Контроллер ATmega8U2 имеет собственный DFU загрузчик, который может быть активирован замыканием джампера на обратной стороне платы (рядом с картой Италии) и перезагрузкой контроллера. Для записи новой прошивки возможно использовать Atmel's FLIP (под Windows) или DFU

программатор (на Mac OS X или Linux). Также можно переписать прошивку внешним программатором, используя ISP вход.

Автоматическая (программная) перезагрузка.

Mega разработана таким образом, чтобы перед записью нового кода перезагрузка осуществлялась самой программой, а не нажатием кнопки на платформе. Одна из линий ATmega8U2, управляющих потоком данных (DTR), подключена к выводу перезагрузки микроконтроллера ATmega2560 через конденсатор 100 нФ. Активация данной линии, т.е. подача сигнала низкого уровня, перезагружает микроконтроллер. Программа Arduino, используя данную функцию, загружает код одним нажатием кнопки Upload в самой среде программирования. подача сигнала низкого уровня по линии DTR скоординирована с началом записи кода, что сокращает таймаут загрузчика.

Функция имеет еще одно применение. Перезагрузка Mega2560 происходит каждый раз при подключении к программе Arduino на компьютере с ОС Mac X или Linux (через USB). Следующие полсекунды после перезагрузки работает загрузчик. Во время программирования происходит задержка нескольких первых байтов кода во избежание получения платформой некорректных данных (всех, кроме кода новой программы). Если производится разовая отладка скетча, записанного в платформу, или ввод каких-либо других данных при первом запуске, необходимо убедиться, что программа на компьютере ожидает в течение секунды перед передачей данных.

На Mega2560 имеется возможность отключить линию автоматической перезагрузки разрывом соответствующей линии. Контакты микросхем с обоих концов линии затем могут быть соединены с целью восстановления. Линия маркирована «RESET-EN». Отключить автоматическую перезагрузку также возможно подключив резистор 110 Ом между источником 5 В и данной линией.

Однако для того , чтобы управлять платой , на неё необходимо подать напряжение минимум в 5 вольт . Мы же используем 12 вольтый юлок , который попросит слишком мощный для платы и одним только включением мы можем её сжечь . Поэтому было решено запитать её через понижатель напряжения . Несмотря на то , что на плате есть выход с 7-12 вольт , мы не будем его использовать по ряду причин . Начнём с самой первой . Данные выходы крайне нестабильны в своём использовании. У нас были случаи просадок напряжения, незапитанных пинов на плате, полное отключение в случайный момент времени, повреждение контактов, при их использовании многие другие проблемы, связанные с этим выходом. Для начал мы думали , что это просто повреждённая плата , которую нам продали в некачественном магазине , но после подключения платы к блоку питания в 5 вольт , ни одна из указанных выше поломок не была обнаружена . В связи с чем , нами было решено не использовать данный выход.

Подключение камеры было решено выполнить непосредственно к пульту управления аппарата, который в данной версии представлен ноутбуком. Данное решение было принято для более удобного использования аппаратом, отсутствием необходимости покупать детали и компоненты. Подключение самой же камеры будет выполнено через USB порт ноутбука и VA-USB переключатель.

В дополнение ко всему этому было решено добавить так же три модуля для изучения рельефа шельфа, температуры и солёности воды. Этими модулями являются Акустический датчик JSN-SR04T, Датчик солёности TDS/EC-метр, FLASH-I2C, Датчик температуры Keyestudio 18B20.

Их соответствующие характеристики приведены в таблицах 1-3

Рабочее напряжение:	5 В
Сила тока (состояние покоя)	5 МА
Сила тока (в работающем состоянии)	30 МА
Частота акустического излучения	40 кГц
Максимальная дальность излучения	4,5 м
Штора	25 см
Источник питания	5В
Размер модуля:	41 мм * 28,5 мм
Разрешение:	около 0,5 см
Угол	менее 50 градусов

Таблица № 1 Характеристики модуля Акустический датчик JSN-SR04T

Общая длина	1 м
Источник питания	3,3-5V
Регулируемое разрешение	9 ~ 12 бит
Диапазон измерения температуры:	-55 °C ~ + 125 °C

Таблица №2 Характеристики Датчика солёности TDS/ЕС-метр

Напряжение питания	3,3 В или 5 В
Ток потребляемый модулем:	до 10 мА.
Интерфейс	I2C.
Скорость шины I2C	100 кбит/с.
Диапазон измерений TDS:	от 0 до 10'000 <u>ppm</u> (мг/л воды).
Диапазон измерений ЕС:	от 0 до 20'000 <u>мкСм/см.</u>
Частота тока используемого для измерений:	от 50Гц до 5кГц (по умолчанию 2кГц).
Точность показаний:	±5% (для растворов <u>NaCl</u> до 3'000 <u>ppm</u> в дистиллированной воде).
Рабочая температура:	от -15 до 35 °C.
Габариты:	30 x 30 мм.
Вес:	5 г.

Таблица №3 Характеристики модуля Датчик температуры Keyestudio

18B20

2.2 Настройка приема и передачи данных местоположения малогабаритного подводного аппарата по протоколу "NMEA"

Для настройки приема и передачи данных местоположения аппарата было решено использовать протокол NMEA (от «National Marine Electronics Association» – то есть Национальная Ассоциация Морской Электроники). Протокол NMEA – это стандарт, определяющий текстовый протокол связи морского оборудования (чаще всего навигационного) между собой.

Это один из самых распространенных протоколов связи, который стал особенно популярен в связи с распространением GPS/GLONASS-приёмников, которые используют именно этот стандарт. NMEA протокол используется в настоящее время во всех основных навигационных программах, которые обеспечивают отображение данных в реальном времени. Таким образом, GPS-модуль нашего аппарата может быть совместим с программным обеспечением судна, на котором он будет работать.

Данные, которые используются в современных навигационных программах, содержат полные навигационные пакеты GPS приемника – то есть координаты, высоту, время и скорость.

Все сообщения по протоколу NMEA состоят из последовательного ряда данных, разделенных запятыми. Каждое отдельное сообщение является самостоятельным и не зависит от других сообщений в пакете. NMEA сообщение включает заголовок, набор данных, представленных ASCII символами, и поле «чек-суммы» для проверки достоверности переданной информации.

Интерфейс обмена данными большинства современных GPS/GLONASS-приемников выполнен в соответствии с этой спецификацией.

Все устройства, установленные на судне или корабле, взаимодействуют друг с другом с целью приема или передачи данных, как показано на рисунке 2.7



Рис.2.7 – Пример схемы взаимодействия устройств NMEA

Конкретно для разрабатываемого аппарат был выбран протокол NMEA 0183, который используется для передачи сообщений между корабельными приборами. Он включает в себя систему сообщений, посредством которой обмениваются информацией навигационные GPS-приемники и устройства-потребители навигационной информации.

Основные свойства протокола NMEA 0183:

Все команды и сообщения передаются в текстовом ASCII-виде. Сообщения, относящиеся к GPS-приемнику начинаются с \$GP, в конце строки сообщения должны быть символы. В последнем поле сообщения может быть указана контрольная сумма текущего сообщения, начинающаяся с разделителя *. Контрольная сумма всех символов сообщения, включая пробелы, расположенных между разделителями \$ и *, не включая последних. Шестнадцатеричный результат переводится в два ASCII-символа (0-9, A-F).

Спецификация оборудования

Один “TALKER” и несколько “LISTENERS” могут быть соединены параллельно соединительным проводом. количество “СЛУШАТЕЛЕЙ” зависит от выходной мощности и требований к входному приводу отдельных устройства.

1.Соединительный провод.

Соединение между устройствами может осуществляться с помощью двухжильного экранированного провода типа «витая пара».

2. Определения проводников.

Проводниками, упомянутыми в настоящем стандарте, являются сигнальные линии «А» и «В» и экран.

3.Электрические соединения/требования к экрану.

Все соединения сигнальной линии «А» соединены параллельно со всеми соединениями устройства «А» и всеми сигнальными соединениями. Соединения линии «В» подключаются параллельно со всеми соединениями «В» устройства. Экраны всех кабелей ”LISTENERS” должны быть подключены только к раме “TALKERS” и не должны быть подключены к “LISTENERS”

4.Соединитель (Connector) .

Стандартный разъем не указан. Везде, где это возможно, следует использовать легкодоступные коммерческие соединители. Изготовители должны предоставить средства для идентификации пользователем используемых соединителей.

5. Характеристика электрического сигнала.

5.1 Определение состояние сигнала.

Состояние простоя, маркировки, логической "1", ВЫКЛ или стопового бита определяется отрицательным напряжением на линии "А" относительно линии «В». Состояние активного, интервального, логического "0", ВКЛ или стартового бита определяется положительным напряжением на линии "А" относительно линии «В». Обратите внимание, что приведенные выше уровни «А» по отношению к уровням «В» инвертированы из требований к входу/выходу напряжения стандартных UART и что многие линейные драйверы и приемники обеспечивают логическую инверсию.

5.2 Схема управления "TALKER"

Не предусмотрено подключение к шине более одного "TALKER". Цепь управления, используемая для подачи сигнала «А» и возврата «В», должна как минимум соответствовать требованиям EIA-422-A.

5.3 Схема приема "LISTENER"

Несколько "LISTENER" могут быть подключены к одному "TALKER". Цепь приема "LISTENER" должна состоять из оптоизолятора и должен иметь защитные цепи для ограничения тока, обратного смещения и мощности рассеивания на оптодиоде как на рисунке 2.8

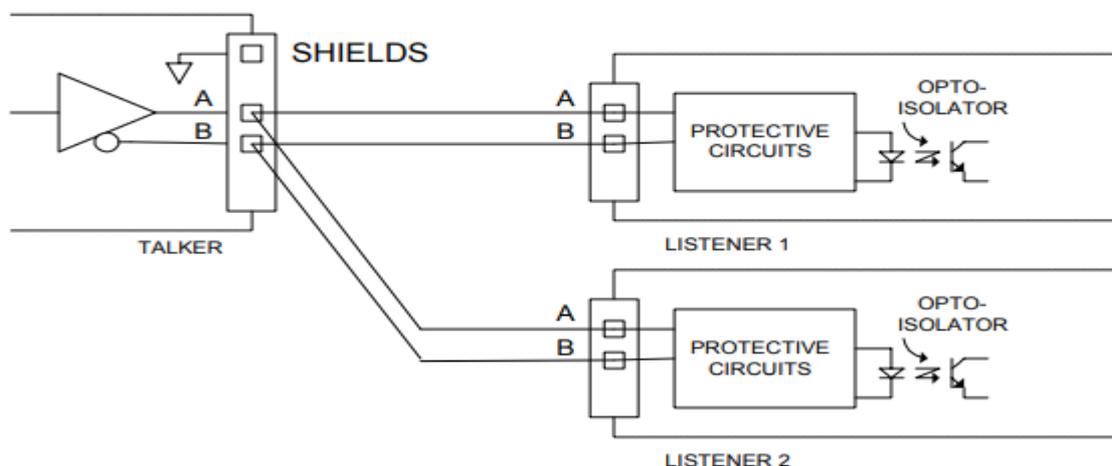


Рис 2.8. Пример изолятор и защитной цепи.

Цепь приема должна быть рассчитана на работу с минимальным дифференциальным входным напряжением 2,0 В и не должна потреблять от линии более 2,0 мА при этом напряжении. По соображениям совместимости с оборудованием, разработанным в соответствии с более ранними версиями этого стандарта, отмечается, что «холостой ход, маркировка, логическая «1», ВЫКЛ или состояние стопового бита» ранее определялись в диапазоне от -15 до + 0,5 Вольт. Было определено, что «активный, интервальный, логический «0», состояние «Вкл.» или «Стартовый бит» находится в диапазоне от +4,0 до +15 В при подаче не менее 15 мА.

5.4 Электрическая изоляция

В «LISTENER» не должно быть прямого электрического соединения между сигнальной линией «А», обратной линией «В» или экраном и заземлением или питанием судна. Требуется заземление на корпус судна.

5.5 Максимальное напряжение на шине

Максимальное приложенное напряжение между сигнальными линиями «А» и «В», а также между любой линией и землей должно соответствовать спецификации EIA-422. Для защиты от неправильного подключения и для использования с более ранними конструкциями «TALKER» все устройства

приемной цепи должны выдерживать напряжение 15 вольт между сигнальными линиями «А» и «В», а также между любой линией и землей в течение неопределенного периода времени.

6. Передача данных

Данные передаются в последовательной асинхронной форме в соответствии со стандартами ANSI. Первый бит является начальным битом, за ним следуют биты данных, начиная с младшего бита, как показано на рис. 2.9. Используются следующие параметры:

- Скорость передачи 4800
- Биты данных 8 ($d7 = 0$)
- Паритет Нет
- Стоповые биты Один

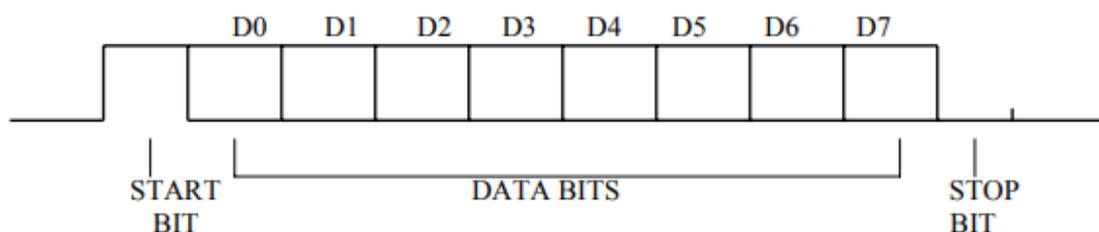


Рис. 2.9

7. Протокол формата данных

7.1 Символы

Все передаваемые данные должны интерпретироваться как символы ASCII. Старший бит 8-битового символа всегда должен передаваться как ноль ($d7 = 0$).

7.2 Зарезервированные символы

Зарезервированный набор символов состоит из тех символов ASCII, которые показаны в таблице 1, где “HEX” это шестнадцатеричный код, а “DECIMAL” - десятичные значения.

<u>Symbol</u>	<u>HEX</u>	<u>DECIMAL</u>	<u>Value</u>
<CR>	0D	13	Окончание строки. Разделитель конца предложения
<LF>	0A	10	Перевод строки
\$	24	36	Начало параметрического разделителя предложений
*	2A	42	Разделитель поля контрольной суммы
,	2C	44	Разделитель полей
!	21	33	Разделитель предложения начала инкапсуляции
\	5C	92	Зарезервировано для будущего использования
^	5E	94	Разделитель кода для HEX-представления
			Символы ISO 8859-1
~	7E	126	Зарезервировано для будущего использования
	7F	127	Зарезервировано для будущего использования

Эти символы используются для определенных целей форматирования, таких как разграничение предложений и полей, и, за исключением разграничения кода, не должны использоваться в полях данных.

7.2 Допустимые символы

Допустимый набор символов состоит из всех печатаемых символов ASCII (от HEX 20 до HEX 7E), кроме тех, которые определены как зарезервированные символы. В таблице перечислен допустимый набор символов.

	<u>Hex</u>	<u>Dec</u>		<u>Hex</u>	<u>DEC</u>		<u>Hex</u>	<u>DEC</u>
Space	20	32	@	40	64	`	60	96
Reserved21	21	33	A	41	65	a	61	97
"	22	34	B	42	66	b	62	98
#	23	35	C	43	67	c	63	99
Reserved24	24	36	D	44	68	d	64	100
%	25	37	E	45	69	e	65	101
&	26	38	F	46	70	f	66	102
'	27	39	G	47	71	g	67	103
(	28	40	H	48	72	h	68	104
)	29	41	I	49	73	i	69	105
Reserved2A	2A	42	J	4A	74	j	6A	106
+	2B	43	K	4B	75	k	6B	107
Reserved2C	2C	44	L	4C	76	l	6C	108
-	2D	45	M	4D	77	m	6D	109
.	2E	46	N	4E	78	n	6E	110
/	2F	47	O	4F	79	o	6F	111
0	30	48	P	50	80	p	70	112
1	31	49	Q	51	81	q	71	113
2	32	50	R	52	82	r	72	114
3	33	51	S	53	83	s	73	115
4	34	52	T	54	84	t	74	116
5	35	53	U	55	85	u	75	117
6	36	54	V	56	86	v	76	118
7	37	55	W	57	87	w	77	119
8	38	56	X	58	88	x	78	120
9	39	57	Y	59	89	y	79	121
:	3A	58	Z	5A	90	z	7A	122
;	3B	59	[	5B	91	{	7B	123
<	3C	60	Reserved5C	5C	92	|	7C	124
=	3D	61	]	5D	93	}	7D	125
>	3E	62	Reserved5E	5E	94	Reserved7E	7E	126
?	3F	63	-	5F	95	Reserved7F	7F	127

Таблица с перечнем недопустимых символов.

7.3 Недопустимые символы.

Значения ASCII, не указанные как «зарезервированные символы» или «допустимые символы», исключаются и не должны передаваться в любое время. Когда необходимо передать 8-битный символ, определенный в ISO 8859-1, который является зарезервированным символом (таблица 1) или не указан в таблице 2 в качестве допустимого символа (например, в собственном предложении или текстовом предложении) должны использоваться три символа. За зарезервированным символом «^» (HEX 5E) следуют два символа ASCII (0–9, A–F), представляющие шестнадцатеричное значение передаваемого символа. Например, чтобы отправить заголовок как «127,5°», передайте:

«127,5^{F8}». для отправки зарезервированных символов <CR><LF> передать:
«^{0D}^{0A}»

для отправки зарезервированного символа «[^]» передать: «^{5E}»

7.4 Значения символов

Когда в настоящем стандарте используются отдельные символы для определения единиц измерения, указания типа поля данных, типа предложения и т. д., они должны интерпретироваться в соответствии с таблицей значения символов в таблице 3.

A	Status symbol; Yes; Data Valid; Warning Flag Clear; Auto; Ampere; ASCII
a	Alphabet character variable A through Z or a through z
B	Bars (pressure, 1000 Mb = 1 Std. Atm. = 100kPa); Bottom
C	Celsius (Degrees); Course-up
c	Valid character; Calculating
D	Degrees (of Arc)
E	Error; East; Engine
F	Fathoms
f	Feet
G	Great Circle; Green
g	Good
H	Compass Heading; Head-up; Hertz; Humidity
h	Hours; HEX number
I	Inches
J	Input operation completed
K	Kilometers; km/hour
k	Kilograms
L	Left; Local; Lost Target
l	Latitude; Liters; Liters/second
M	Meters; Meters/second; Magnetic; Manual; Cubic Meters
m	Minutes; message
N	Nautical miles; Knots; North; North-up; Newton
n	Numeral; address
P	Purple; Proprietary (only when following \$); Position sensor; Percent; Pascal (pressure)
Q	Query; Target-Being-Acquired
R	Right; Rhumb line; Red; Relative; Reference; Radar Tracking; Rev/min (RPM)
S	South; Statute miles; Statute miles/hour; Shaft; Salinity in parts per thousand
s	Seconds; Six bit number
T	Time difference; True; Track; Tracked-Target
t	Test
U	Dead Reckoning Estimate
u	Sign, if minus "-" (HEX 2D)
V	Data invalid; No; Warning Flag Set; Manual; Volt
W	West; Water; Wheelover
x	Numeric character variable
y	Longitude
Z	Time

Таблица с перечнем отдельно используемых символов согласно стандарту.

8. Поле.

Поле состоит из строки допустимых символов или без символов (нулевое поле), расположенной между двумя соответствующими символами-разделителями.

8.1 Поле адреса

Поле адреса является первым полем в предложении и следует за «\$» или «!». Разделитель, он служит для определения предложения. Разделитель "\$" идентифицирует предложения, которые соответствуют общепринятым параметрическим правилам и правилам композиции полей с разделителями. Знак"! " разделитель идентифицирует предложения, которые соответствуют правилам инкапсуляции специального назначения и правилам композиции полей без разделителей. Символы в поле адреса ограничены цифрами и заглавными буквами. Поле адреса не должно быть пустым полем.

Передаются только предложения со следующими тремя типами адресных полей :

8.1.1 Поле утвержденного адреса

Утвержденные поля адреса состоят из пяти цифр и символов верхнего регистра, определенных настоящим стандартом. Первые два символа — это

идентификатор TALKER, указанные в таблице 4.

TALKER DEVICE	IDENTIFIER
Heading Track Controller (Autopilot): General	AG*
Magnetic	AP
Automatic Identification System	AI
COMMUNICATIONS: Digital Selective Calling (DSC)	CD*
Data Receiver	CR
Satellite	CS*
Radio-Telephone (MF/HF)	CT*
Radio-Telephone (VHF)	CV*
Scanning Receiver	CX*
DECCA Navigator	DE
Direction Finder	DF*
Electronic Chart System (ECS)	EC
Electronic Chart Display & Information System (ECDIS)	EI
Emergency Position Indicating Beacon (EPIRB)	EP*
Engine room Monitoring Systems	ER
GLONASS Receiver	GL
Global Navigation Satellite System (GNSS)	GN
Global Positioning System (GPS)	GP
HEADING SENSORS: Compass, Magnetic	HC*
Gyro, North Seeking	HE*
Gyro, Non-North Seeking	HN
Integrated Instrumentation	II
Integrated Navigation	IN
Loran C	LC
Proprietary Code	P
Radar and/or Radar Plotting	RA*
Sounder, depth	SD*
Electronic Positioning System, other/general	SN
Sounder, scanning	SS
Turn Rate Indicator	TI*
VELOCITY SENSORS: Doppler, other/general	VD*
Speed Log, Water, Magnetic	VM
Speed Log, Water, Mechanical	VW
Voyage Data Recorder	VR
Transducer	YX
TIMEKEEPERS, TIME/DATE: Atomic Clock	ZA
Chronometer	ZC
Quartz	ZQ
Radio Update	ZV
Weather Instruments	WI

Таблица с перечнем индикаторов “TALKER”

Идентификатор “TALKER” служит для определения характера передаваемых данных. Устройства, способные передавать данные из нескольких источников, должны передавать соответствующий идентификатор “TALKER” (например, устройство с приемником GPS и приемником Logan-C должно передавать GP, когда положение основано на GPS,

LC при местоположении Logan-C и IN для комплексной навигации следует использовать, если линии положения от Logan-C и GPS объединены в определение местоположения). Устройства, способные ретранслировать данные с других источники должны использовать соответствующий идентификатор (например, приемники GPS, передающие данные о курсе, не должны передавать \$GPHCD, если направление по компасу фактически получено из сигналов GPS).

8.1.2 Поле адреса запроса

Адрес запроса состоит из пяти символов и используется для запроса передачи определенного предложения по отдельной шине от идентифицированного “TALKER”. Первые два символа — это идентификатор “TALKER” устройства, запрашивающего данные, следующие два символа — это идентификатор TALKER вызываемого устройства, а последний символ — это символ запроса «Q».

8.1.3 Поле собственного адреса

Поле собственного адреса состоит из фирменного символа «P», за которым следуют три символа. Мнемонический код изготовителя, используемый для идентификации ГОВОРИТЕЛЯ, выдающего собственное предложение, и любые дополнительные символы по мере необходимости. Список действительных мнемонических кодов производителя содержится в Приложение III.

8.2 Поле данных

Поля данных в утвержденных предложениях следуют за разделителем «,» и содержат допустимые символы (и разделители кода «^») в соответствии с

форматами, показанными в таблице 5

<u>Field Type</u>	<u>Symbol</u>	<u>Definition</u>
<u>Special Format Fields:</u>		
Status	A	Single character field: A = Yes, Data Valid, Warning Flag Clear V = No, Data Invalid, Warning Flag Set
Latitude	lll.ll	Fixed/Variable length field: degreesminutes.decimal - 2 fixed digits of degrees, 2 fixed digits of minutes and a variable number of digits for decimal-fraction of minutes. Leading zeros always included for degrees and minutes to maintain fixed length. The decimal point and associated decimal-fraction are optional if full resolution is not required.
Longitude	yyyy.yy	Fixed/Variable length field: degreesminutes.decimal - 3 fixed digits of degrees, 2 fixed digits of minutes and a variable number of digits for decimal-fraction of minutes. Leading zeros always included for degrees and minutes to maintain fixed length. The decimal point and associated decimal-fraction are optional if full resolution is not required.
Time	hhmmss.ss	Fixed/Variable length field: hoursminutesseconds.decimal - 2 fixed digits of hours, 2 fixed digits of minutes, 2 fixed digits of seconds and a variable number of digits for decimal-fraction of seconds. Leading zeros always included for hours, minutes and seconds to maintain fixed length. The decimal point and associated decimal-fraction are optional if full resolution is not required.
Defined field		Some fields are specified to contain pre-defined constants, most often alpha characters. Such a field is indicated in this standard by the presence of one or more valid characters. Excluded from the list of allowable characters are the following that are used to indicate field types within this standard: "A", "a", "c", "hh", "hhmmss.ss", "lll.ll", "x", "yyyy.yy"

Таблица 5. Таблица с перечнем форматов допустимых для пустых символов.

Поля данных в частных предложениях содержат только допустимые символы и символы-разделители «,» и «^», но не определены настоящим стандартом. Из-за наличия переменных полей данных и пустых полей определенные поля данных должны располагаться внутри предложения только с соблюдением

разделителей полей ", ". Поэтому для "LISTENER" важно находить поля, подсчитывая разделители, а не подсчитывая общее количество символов, полученных с самого начала предложения

8.2.1 Поля с переменной длиной

Хотя некоторые поля данных имеют фиксированную длину, многие из них имеют переменную длину, чтобы позволить устройствам передавать информацию и предоставлять данные с большей или меньшей точностью в соответствии с возможностями или требованиями конкретного устройства. Поля переменной длины могут быть буквенно-цифровыми или числовыми полями. Переменные числовые поля могут содержать десятичную точку и могут содержать начальные или конечные «нули».

8.2.2 Типы данных полей

Поля данных могут быть буквенными, числовыми, буквенно-цифровыми, переменной длины, фиксированной длины, фиксированной/переменной (с частью фиксированной длины, в то время как остальная часть варьируется). Некоторые поля являются постоянными, их значение определяется

конкретное определение фразы. Допустимые типы полей приведены в таблице 6 со сводкой по типам полей.

<u>Field Type</u>	<u>Symbol</u>	<u>Definition</u>
<u>Numeric Value Fields:</u>		
Variable numbers	x.x	Variable length integer or floating numeric field. Optional leading and trailing zeros. The decimal point and associated decimal-fraction are optional if full resolution is not required. (example: 73.10 = 73.1 = 073.1 = 73)
Fixed HEX field	hh___	Fixed length HEX numbers only, MSB on the left.
Variable HEX field	h--h	Variable length HEX numbers only, MSB on the left.
Fixed Six bit field	ss___	Fixed length Six bit coded characters only. See Table 7 and Figures 3 & 4 for field conversions.
Variable Six bit field	s--s	Variable length Six bit coded characters only. See Table 7 and Figures 3 & 4 for field conversions.
<u>Information Fields:</u>		
Variable text	c--c	Variable length valid character field.
Fixed alpha field	aa___	Fixed length field of upper-case or lower-case alpha characters
Fixed number field	xx___	Fixed length field of numeric characters
Fixed text field	cc___	Fixed length field of valid characters

NOTES:

1. Spaces shall only be used in variable text fields.
2. A negative sign "-" (HEX 2D) is the first character in a Field if the value is negative. When used, this increments the specified size of fixed length fields by one. The sign is omitted if the value is positive.
3. Units of measure fields are appropriate characters from the Symbol Table (Table 3) unless a specific unit of measure is indicated.
4. Fixed length field definitions show the actual number of characters. For example, a field defined to have a fixed length of 5 HEX characters is represented as hhhhh between delimiters in a sentence definition.

Таблица 6. Таблица с перечнем допустимых типов полей.

8.2.3 Пустые поля

Нулевое поле — это поле нулевой длины, т. е. в поле не передаются никакие символы. Нулевые поля должны использоваться, когда значение ненадежно или недоступно. Например, если информация о заголовке недоступна, отправка данных «000» вводит в заблуждение, поскольку пользователь не может отличить «000», означающее отсутствие данных, от допустимого заголовка «000». Однако пустое поле без каких-либо символов явно указывает на то, что данные не передаются. Нулевые поля с их разделителями могут иметь следующий вид в зависимости от того, где они расположены в предложении: ", " ", *". Символ ASCII NULL (HEX 00) не должен использоваться в качестве нулевого поля.

8.3 Поле контрольных сумм

Поле контрольной суммы должно передаваться во всех предложениях. Поле контрольной суммы является последним полем в предложении и следует за символом-разделителем контрольной суммы "*". Контрольная сумма представляет собой 8-битное исключающее ИЛИ (без начальных или стоповых битов) всех символов в предложении, включая разделители ", " и "^", между символами "\$" или "!", но не включая их. и разделители "*". Шестнадцатеричное значение старших и наименее значащих 4 битов результата преобразуется в два символа ASCII (0-9, A-F (верхний регистр)) для передачи. Самый значащий символ передается первым. Примеры использования поля контрольной суммы: \$GPGLL,5057.970,N,00146.110,E,142451,A*27<CR><LF> ; \$GPVTG,089.0,T,,15.2,N,,*7F<CR><LF>

8.4 Поле идентификатора последовательного сообщения

Это поле имеет решающее значение для идентификации групп из 2 или более предложений, составляющих сообщение, состоящее из нескольких предложений. Это поле увеличивается каждый раз, когда новое сообщение, состоящее из нескольких предложений, создается с помощью того же модуля форматирования предложений. Значение сбрасывается на ноль, когда оно превышает определенное максимальное значение.

При создании макета малогабаритного подводного аппарата для GPS модуля был выбран модуль “Trema GPS модуль ATGM336H”. Это навигационное устройство которое позволяет определить координаты по широте, долготе и высоте. В качестве дополнительных функций модуль может предоставить данные о текущей дате , времени, скорости и направления движения.

GPS Модуль получает данные со спутников навигационных систем, самостоятельно обрабатывает полученную информацию и передает данные по шине UART. Данные передаются в виде сообщений в текстовом формате по протоколу NMEA 0183. Данный модуль отличается низким энергопотреблением и высокой чувствительностью.

Основные характеристики модуля :

- Напряжение питания: 3,3 В или 5 В, поддерживаются оба напряжения.
- Питание резервной батареи: 3 В.
- Ток потребляемый модулем: до 25 мА.
- Интерфейс: UART.
- Скорость шины UART: 4800, 9600, 19200, 38400, 57600, 115200 бит/с.
- Конфигурация шины UART: 8 бит данных, без проверки четности, с одним стоповым битом.
- Протокол передачи данных: NMEA 0183
- Частота обновления выводимых данных: от 1 до 10 Гц.
- Поддерживаемые навигационные системы: GPS (США), Глонасс (Россия) и Weidou (Китай).
- Точность позиционирования: < 2 м.
- Точность измерения скорости: < 0,1 м/с.
- Максимальная высота: 18000 м.
- Рабочая температура: от -40 до +85 °С.

Для настройки модуля нами использовалось две библиотеки :

Библиотека `arduino_GPS_ATGM336` позволяет настроить работу Trema GPS модуля ATGM336H (задать скорость UART, частоту обновления данных, версию NMEA 0183, настроить состав выводимых сообщений, выбрать спутниковые навигационные системы, указать динамическую модель, перезагрузить модуль или сохранить его настройки).

Библиотека `arduino_GPS_NMEA` позволяет получать данные из текстовых сообщений NMEA 0183 отправляемых GPS-модулем по шине UART (получить широту, долготу, высоту, скорость, курс, дату, время, количество спутников и данные о них).

Так же данный модуль имеет следующие возможности :

1. Получать широту, долготу и высоту над уровнем моря.
2. Получать скорость и курс на истинный полюс.
3. Получать дату и время UTC.
4. Получать количество наблюдаемых спутников и спутников участвующих в позиционировании.
5. Получать данные о спутниках: уровень приёма, положение и тип навигационной системы.
6. Получать геометрические факторы ухудшения точности и точность позиционирования.
7. Определять ошибку определения координат, даты, времени, скорости и курса.
8. Настраивать скорость передачи данных по шине UART.
9. Настраивать частоту обновления выводимых данных.
10. Выбирать версию протокола NMEA 0183 для формирования отправляемых сообщений.
11. Настраивать состав сообщений NMEA 0183.
12. Выбирать спутниковые навигационные системы, данные которых требуется получить.
13. Выбирать динамическую модель навигационной платформы.
14. Перезагружать модуль с выбором типа старта (холодный / горячий).
15. Перезагружать модуль со сбросом настроек в заводские.
16. Сохранять настройки в энергонезависимую память модуля.

Настройка модуля происходит в среде программирования Arduino IDE на языке C++\C#.

Для первичной настройки и для первого получения координат долготы и широты 5 раз в секунду, делаем следующие действия :

1. Подключаем библиотеки `iarduino_GPS_ATGM336` и `iarduino_GPS_`.
 Задаем цель для `gps`. Для работы с функциями и методами библиотеки `iarduino_GPS_NMEA`. Используем команду: `iarduino_GPS_NMEA gps`;
 Объявляем объект `SettingsGPS` для работы с библиотекой `iarduino_GPS_ATGM336` с помощью команды: `iarduino_GPS_ATGM336 SettingsGPS`; как представлено на рисунке 2.10.

```
include <iarduino_GPS_NMEA.h>
#include <iarduino_GPS_ATGM336.h>

iarduino_GPS_NMEA    gps;
iarduino_GPS_ATGM336 SettingsGPS;
```

Рисунок 2.10. Начало работы с датчиком GPS

2. В основном цикле программы выполняем следующие действия как на рисунке 2.11 :

1. Инициировать работу библиотек
2. Инициировать работу с GPS.
3. Инициировать расшифровку строк NMEA

```
void setup() {  
    Serial.begin(9600);  
    SettingsGPS.begin(Serial1);  
    gps.begin(Serial1);  
}
```

Рисунок 2.11. Начало основного цикла программы.

3. Переходим к настройке модуля как указано на рисунке 3.1.5 Для настройки модуля нам необходимо :

1. Установить скорость передачи данных
2. Установить что данные нужно получать от спутников:
3. Установить что каждый пакет данных NMEA должен содержать только одну: `SettingsGPS.composition(NMEA_RMC);`
4. Установить что модуль используется в портативном устройстве:
5. Установить обновлять данные 10 раз в секунду

Выводы по главе 2

В главе 2 приводится детальное описание разработанной схемы управления подводным аппаратом. Управление аппаратом реализовано на базе двух плат с микроконтроллерами Atmega8U2, к которым подключены сервомоторы, двигатели и GPS-шилд. Такая схема управления позволяет обеспечить стабильную работу всех подключенных элементов.

Главными причинами выбора использованных плат (Arduino Mega 2560) стали их основные технические характеристики и их хорошая представленность на российском рынке. Большинство использованных компонентов ремонтнопригодны и легко заменяемы.

Остальные элементы в схеме также имеют технические характеристики, которые позволяют обеспечить работоспособность подводного аппарата на его рабочей глубине. Наиболее удачными решениями стали потоковая передача видеоматериала и использование в аппарате GPS-шилда. Ввиду потоковой передачи видеоматериала, ориентирование под водой будет в разы проще для пользователя, а GPS-шилд поможет определить более точное местоположение.

ГЛАВА 3. СБОРКА И ОТЛАДКА ПОДВОДНОГО АППАРАТА

3.1. Описание сборки электрической схемы

Для создания схемы данного подводного дистанционно-управляемого автомата была изначально использована программа «Eagle», однако, вскоре после установки, оказалось, что большая часть компонентов не имеют как таковой схемы ни в заранее предзагруженных пакетах со схемами, ни в многих популярных, которые были проверены на безопасность создателями программы, по этой причине оставались только негарантированно безопасные файлы на сторонних ресурсах, использованием которых, я решил ограничиться в силу собственных убеждений о безопасности. По этой причине схема была составлена с максимальной идентичностью схемам программы

Eagle в системе Adobe Photoshop. Данная схема в общем виде представлена на Рисунке 3.1

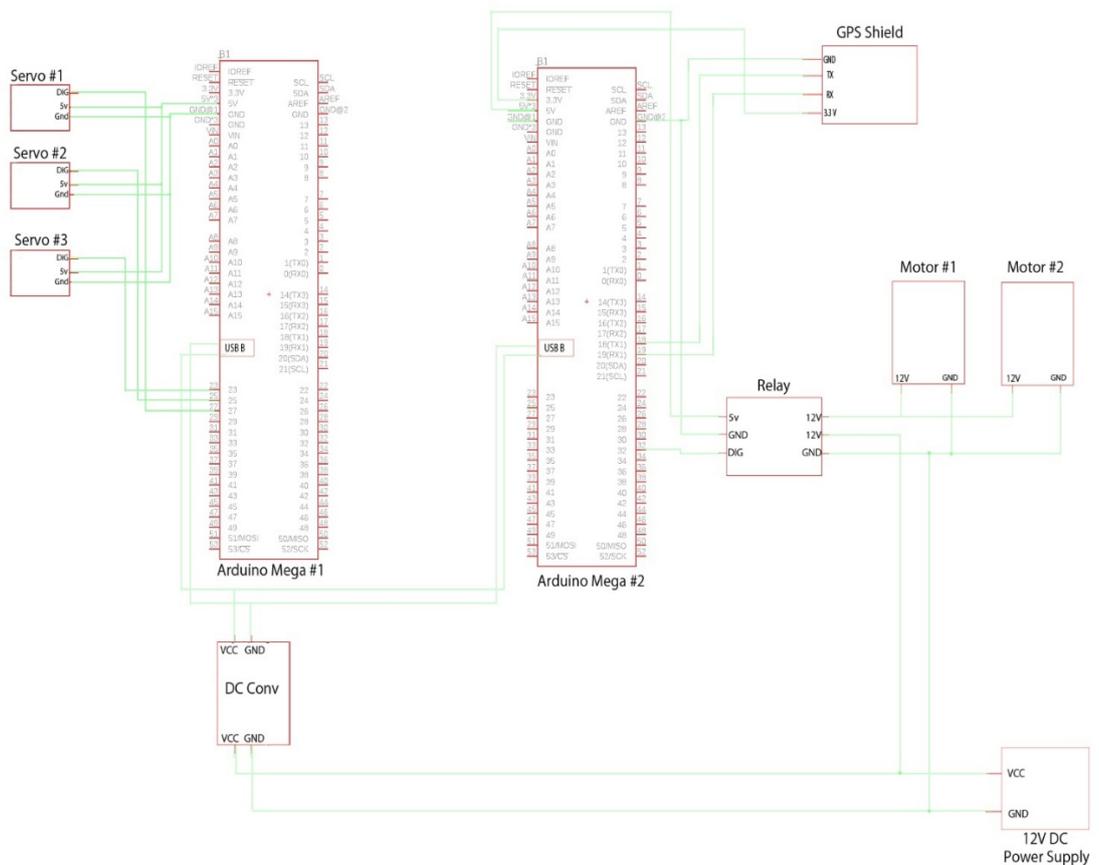


Рисунок 3.1. Общий вид схемы, представленный для ознакомления

В схеме не указана камера Eachine 1000TVL так как данная камера не имеет питание или другие контакты от схемы, а питается напрямую от ноутбука, выступающего в качестве пульта управления аппаратом. Такой метод позволяет уменьшить нагрузку на платы и получить прямой канал связи для потоковой передачи видео, что должно улучшить качество передаваемого сигнала и уменьшить задержку. На следующих X рисунках (Рисунок 3.2-3.X) будут указаны приближенные части схемы с указанными компонентами, а так же примечаниями к кабелям, куда они подсоединяются.

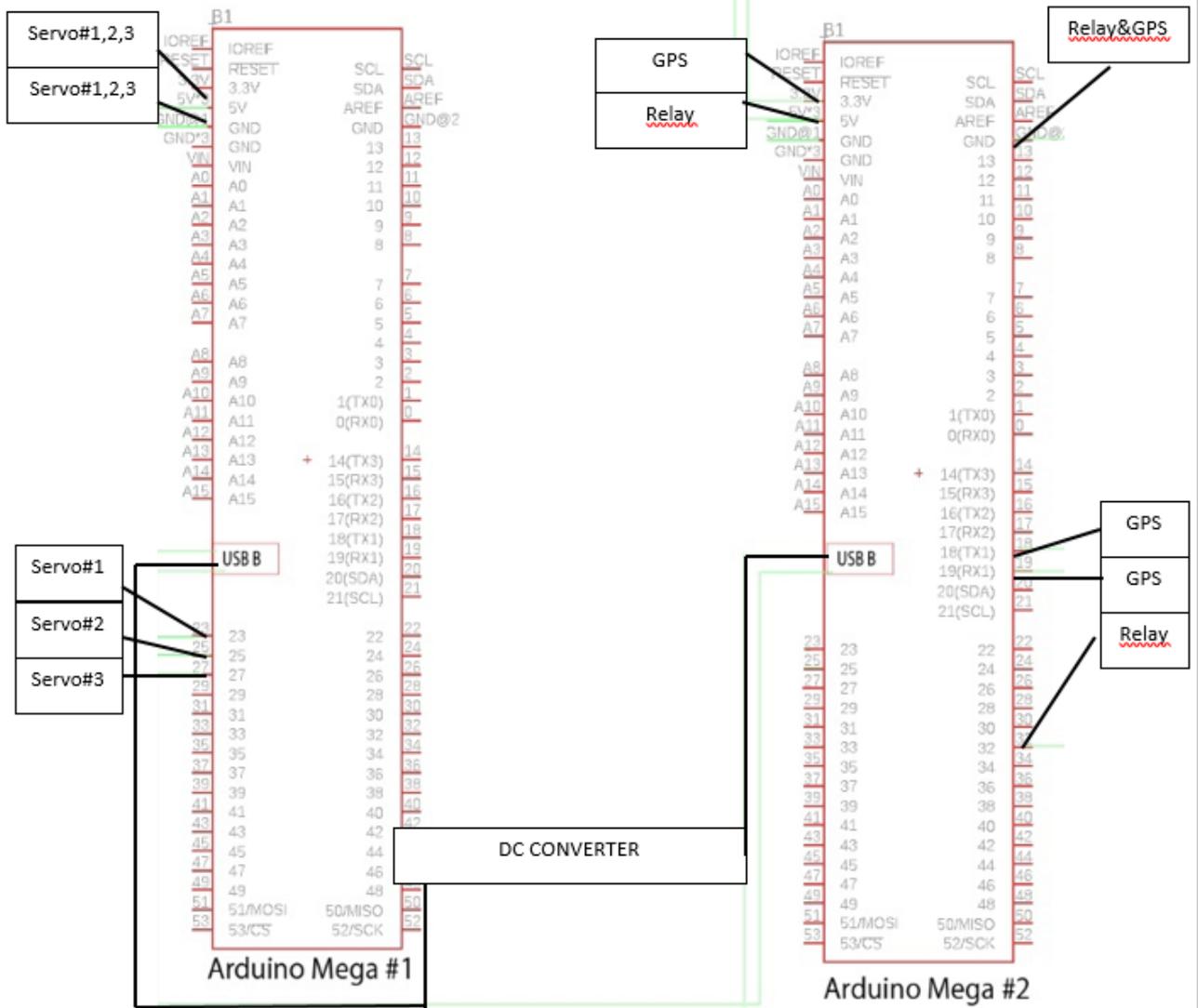


Рисунок 3.2 Схема подключения компонентов к платам

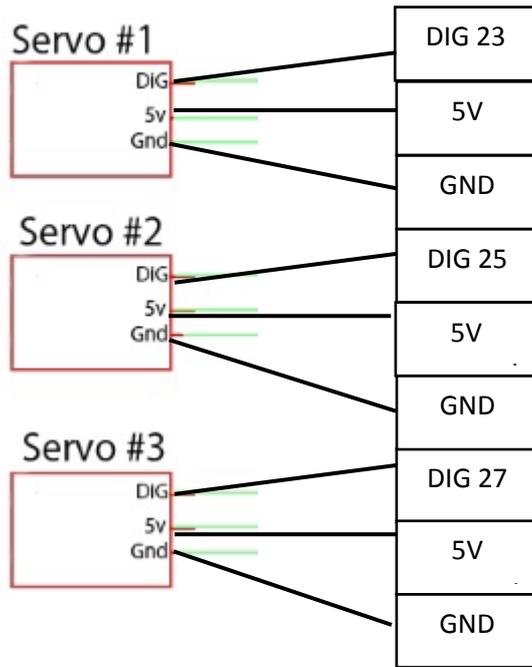


Рисунок 3.3. Схема подключения Сервоприводов к плате Arduino Mega

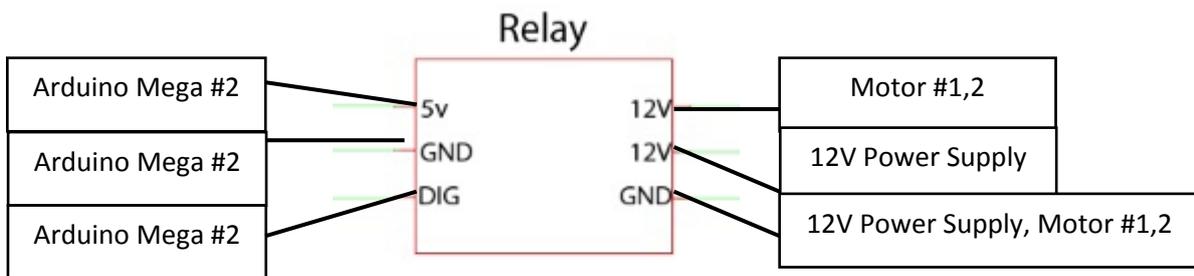


Рисунок 3.4. Схема подключения реле к плате Arduino Mega и Двигателей

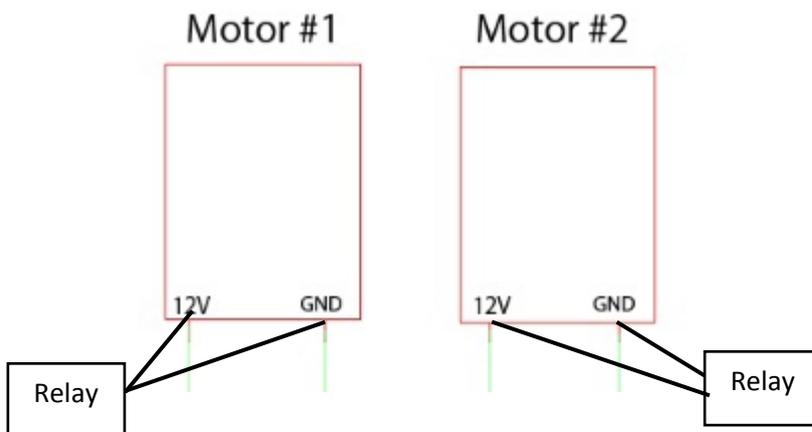


Рисунок 3.5. Схема подключения Двигателей к реле

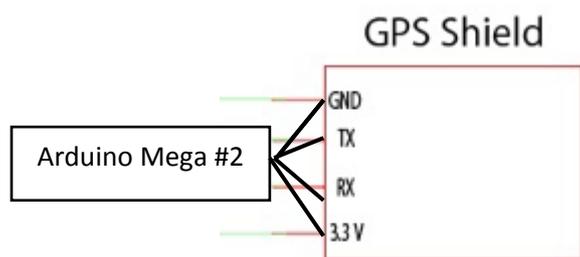


Рисунок 3.6. Схема подключения GPS к плате Arduino Mega

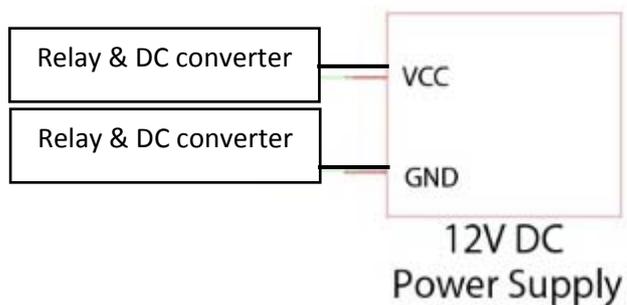


Рисунок 3.7. Схема подключения источника питания к реле и преобразователю напряжения

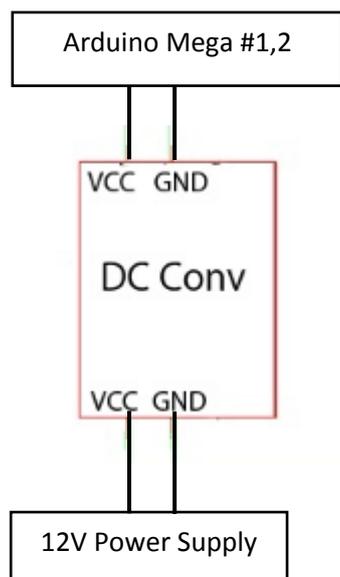


Рисунок 3.8. Схема подключения преобразователя напряжения к источнику питания и платам Arduino Mega

3.2. Печать элементов корпуса

Детали, составляющие корпус подводного аппарата, были напечатаны на 3d принтере. Для печати использовался принтер модели Creality Ender 5 pro. Принтеры этой модели используют технологию печати FDM (англ. Fused Deposition Modelling), при которой слои пластика ложатся друг поверх друга вертикально (т.е. по оси Z). В ходе печати печатающая каретка принтера движется по осям X и Y, в то время как платформа, на которой производится распечатка, двигается только по оси Z. Эта технология получила название CORE XY, она позволяет сократить время печати почти на 15% и приводит к меньшему количеству ошибок при печати.

Общий вид 3d принтера Creality Ender 5 pro дан на рисунке 3.13.



Рисунок 3.13 3d принтер Creality Ender 5 pro

Для печати на указанной модели принтера используется PLA-филамент российского производства (производитель – компания «BESTFilament»). Преимущества данного пластика – простота в использовании и отсутствие особых требований к условиям печати, температуре и влажности в помещении и т.п. Данный пластик в отличие от других используемых в 3d печати не требует особых условий для печати и известен своей простотой в использовании. Этим он выгодно отличается, например, от тоже широко распространенного пластик типа PETG. Филамент типа PETG требует для качественной печати необходимо долгой трудоемкой настройки параметров

подачи и возврата филамента («retraction» и «retraction speed»), а также довольно чувствителен к атмосфере в помещении.

Внешних деталей корпуса две (дно и крышка корпуса). Они изготовлены практически по единой модели, но различаются в постобработке. Деталь «Дно» нуждается в минимальной постпечатной обработке, в то время как в детали «Крышка» постобработка более существенна. В детали «Крышка» запланировано технологическое отверстие для выхода кабеля. Для качественной фиксации фланцевого шва в этой детали необходимо хорошо зашлифовать края отверстия. Кроме того, нужно подобрать подобрать запасные уплотнители для него, иначе возникает возможность протечки корпуса. Вследствие этого на обработку фланцевого шва и подбор уплотнителя следует обратить особое внимание.

Основные элементы корпуса показаны увидеть на рисунках 3.14. и 3.15.

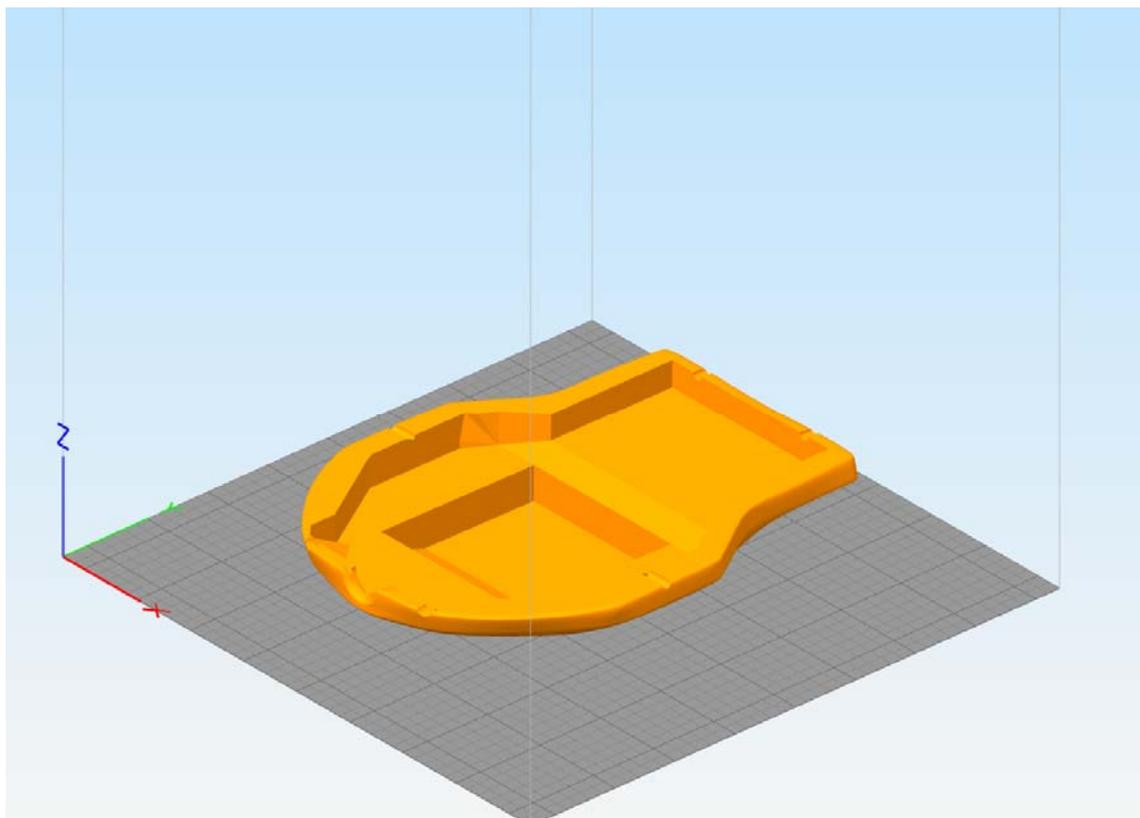


Рисунок 3.14 Деталь «Дно»

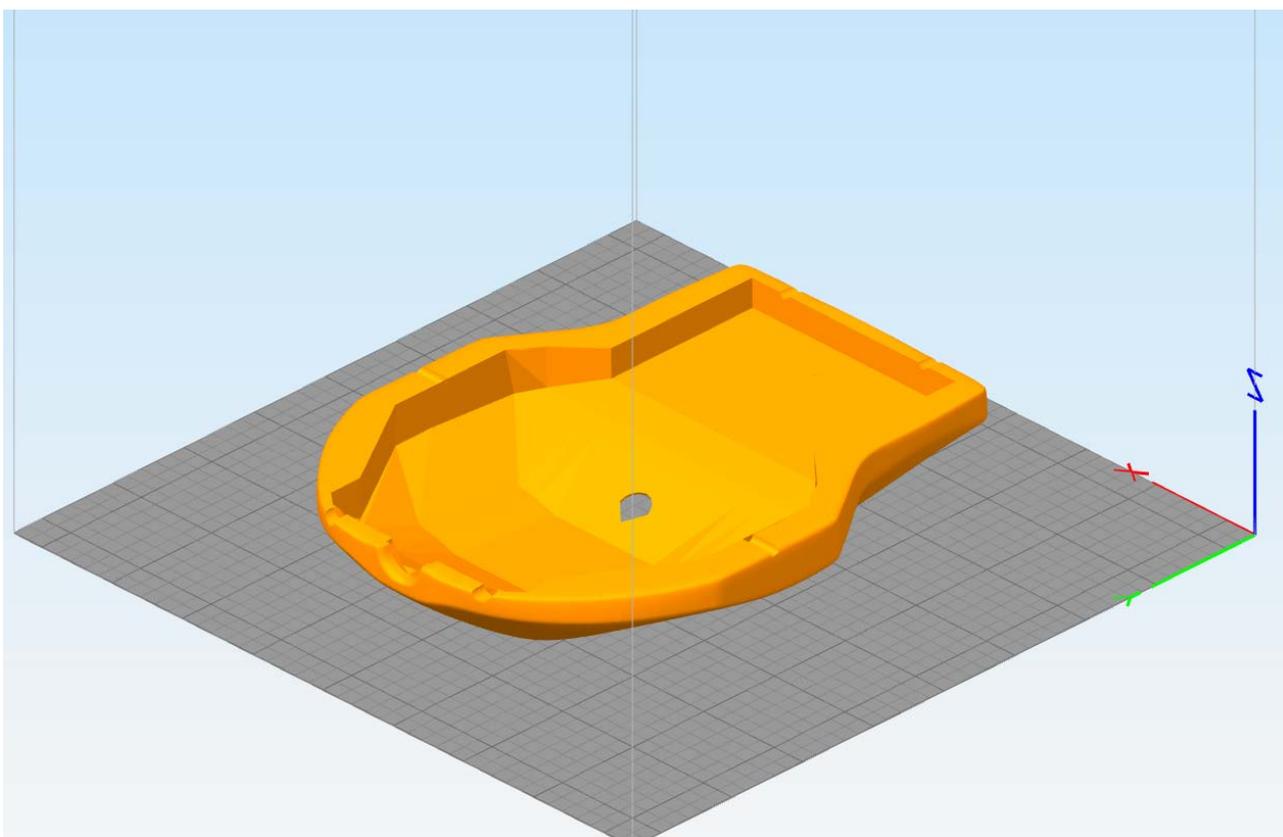


Рисунок 3.15 Деталь «Крышка»

Каждая из деталей печатается отдельно в горизонтальном положении.

Это обусловлено технологией 3d печати FDM, требующей обязательного наличия так называемых «поддержек» в ходе печати предметов сложной формы. При печати в горизонтальном положении и при отсутствии фундамента, слои «поддержки» более тонкие, они легко обламываются при постобработке, что сокращает потраченное время и усилия. Если же печатать деталь «на боку», развернув ее, поддержки (обозначены на рисунке серым цветом) занимают значительную площадь. В этом случае на печать уходит гораздо больше времени, энергии и пластика, и несколько усложняется постобработка. (Рисунок 3.16 Отображение слоёв поддержки).

Если перевернуть деталь при печати не «на бок» (на 90 градусов), а на 180 градусов, высота поддержек значительно уменьшится, но возрастет их

общая площадь за счёт увеличения их количества по осям X и Y. Этот вариант также не позволяет сэкономить время печати и количество пластика. (Рисунок 3.17 Альтернативно выставленные поддержки)

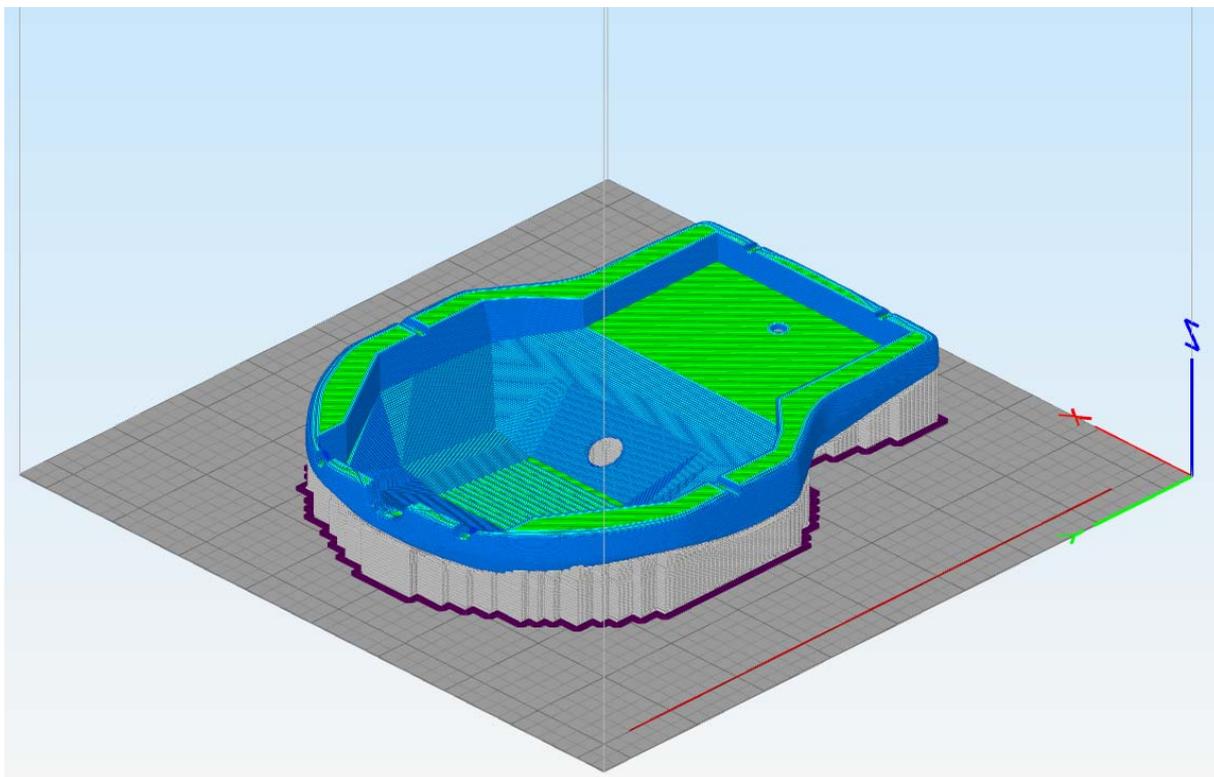


Рисунок 3.16 Отображение слоёв поддержки

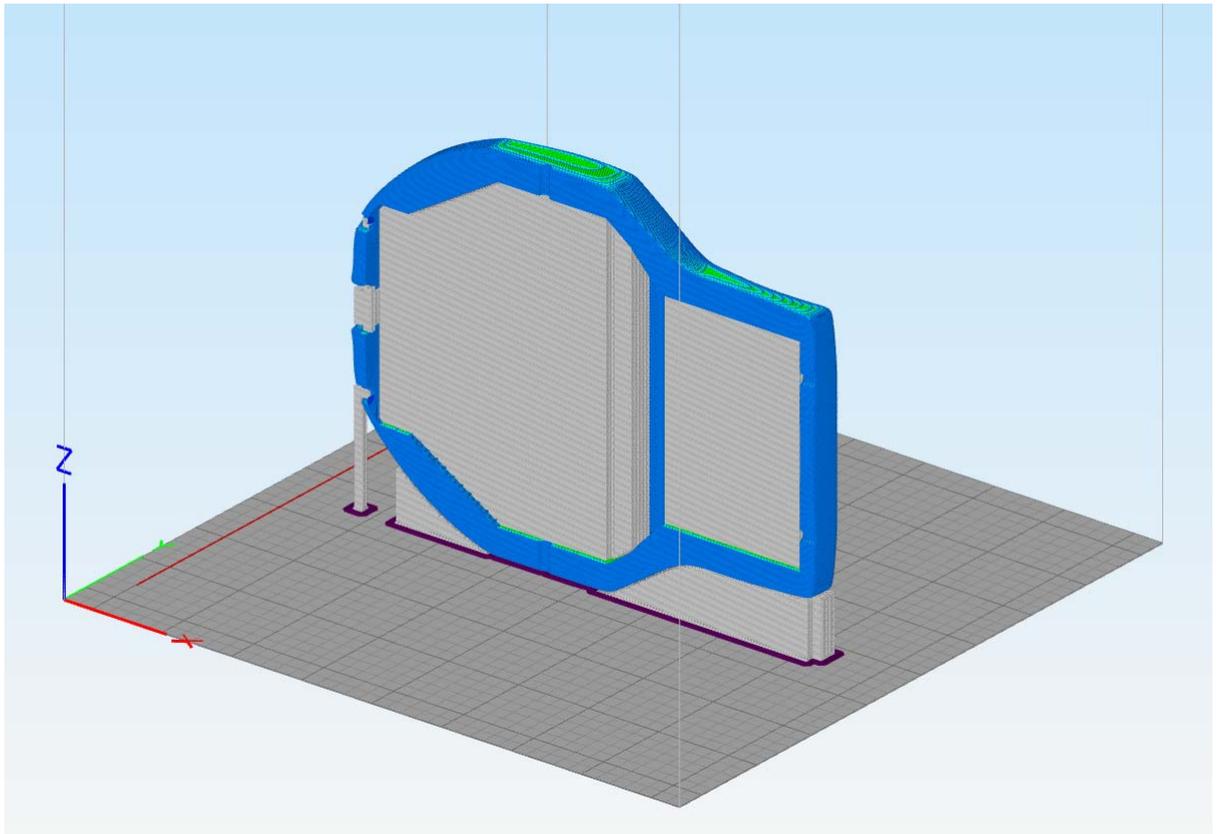


Рисунок 3.17 Альтернативно выставленные поддержки

Таким образом получается, что придётся печатать эти два ключевых компонента в их стандартном варианте. Это не займёт много времени, по оценкам программы Cura (программа для обработки 3d моделей в g-code) печать одной такой модели займёт от 14 до 100+ часов в зависимости от толщины слоя и % внутреннего заполнения пластиком. Данный разброс показаний обуславливается тем, что минимальная толщина слоя у большинства принтеров — 0.1 мм. Это означает, что каждый слой будет составлять у нас 0.1мм, и, если, скажем, у нас 2000 слоёв (что отнюдь не редкость в печати, зачастую это даже считается маленькой распечаткой), и печать каждого слоя составляет 1 секунду, то мы всё равно получим впечатляющие 2000 секунд, что

равняется 55 минутам. Для того, чтобы избежать подобного, я предполагаю, что более качественным вариантом будет использовать слой в 0.4 мм. Такой слой будет более заметнее, однако никакого эффекта оно не должно будет возыметь, если слои будут нормально «спекаться между собой» (это зависит напрямую от температуры плавления пластика и наличия/отсутствия обдува для охлаждения свежих слоёв). Сравнение слоёв можно увидеть на рисунке 3.18. Данная фотография была взята с ресурса 43print.org (<https://43dprint.org/layer-height-3d-printing/>).

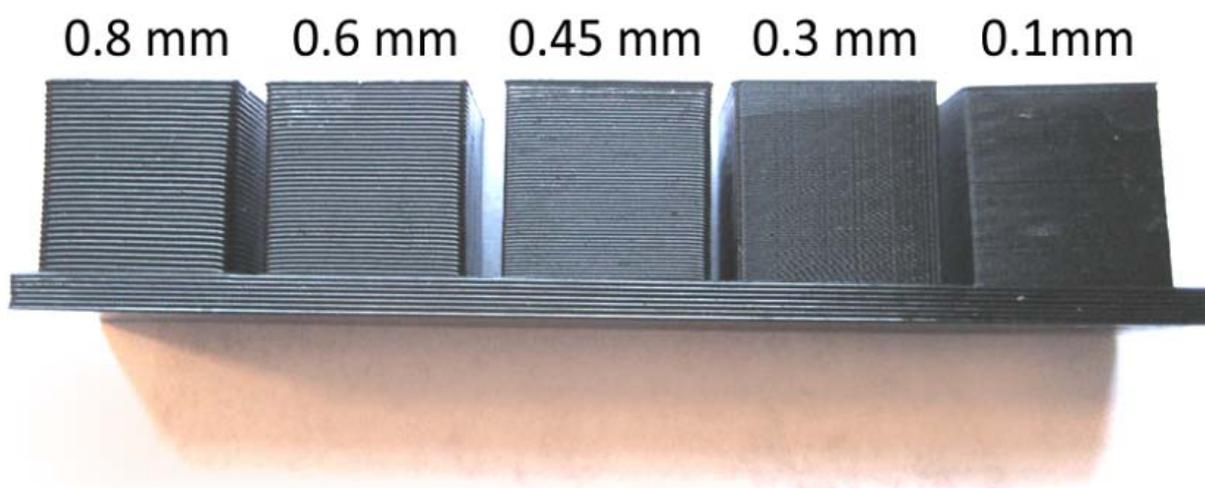


Рисунок 3.18 Сравнение толщины слоёв от 0.8 до 0.1мм

Следующим этапом будет работа с центральной деталью, предназначенной для крепления электронных компонентов. (Рисунок 3.19) На данной детали будут закрепляться платы, преобразователь напряжения. Между дном и центральной деталью будет свободное пространство, в котором будет располагаться реле. В носовой части будет располагаться камера, по бортам будут находиться сервомоторы, а основные движители будут находиться в корме. Т.к. в данном прототипе отсутствует активная система контроля угла наклона и её регуляторы, то придётся установить дополнительный внутренний

балласт для распределения нагрузки по длине. На данный момент это кажется самым простым и недорогим средством решения таковой проблемы. Рисунок 3.20- техническое изображение дополнительно установленного балласта.

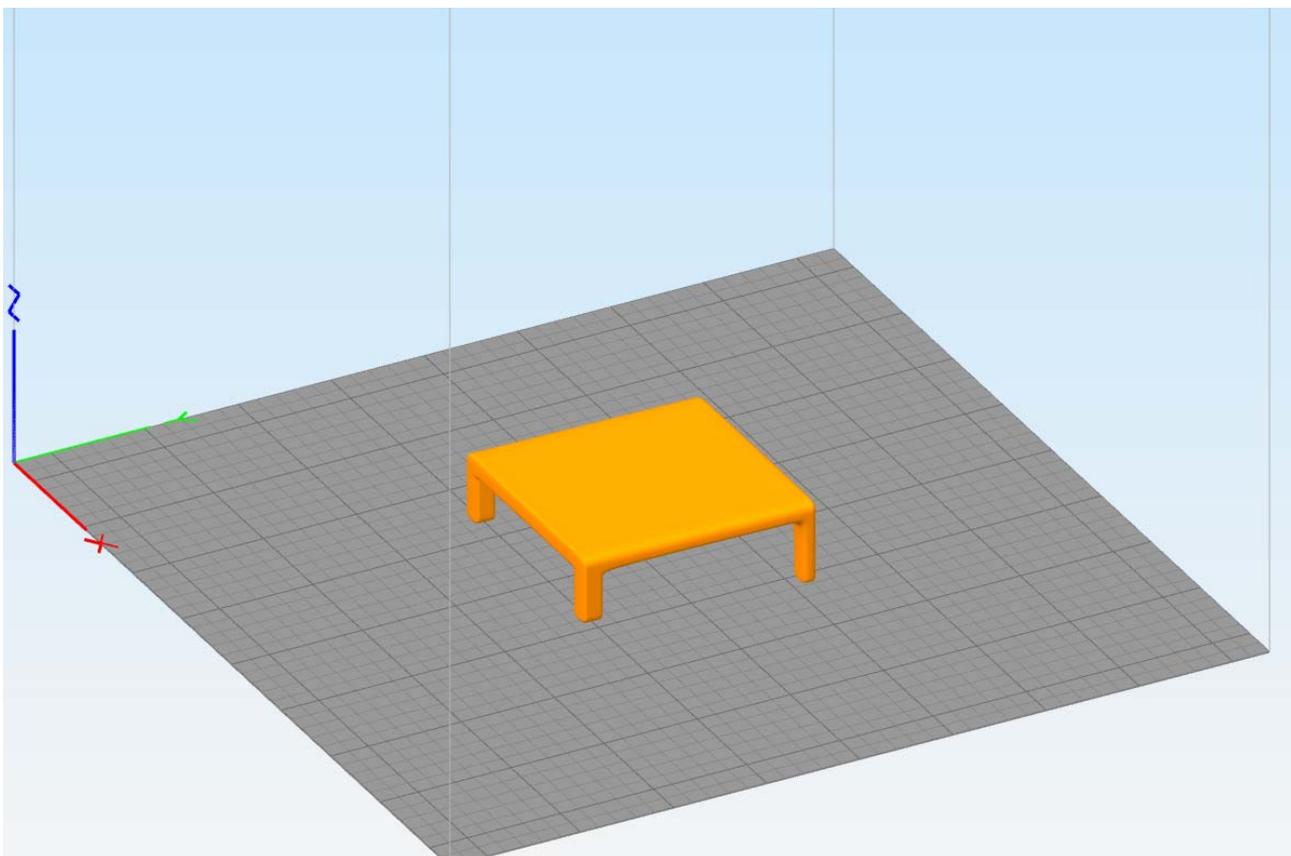


Рисунок 3.19. Центральная деталь

После этого начинаются распечатка и установка плавников и винтов для аппарата. Они так же будут распечатаны из пластика типа PLA и будут иметь соответствующий вид (Рисунки 3.21 и 3.22)

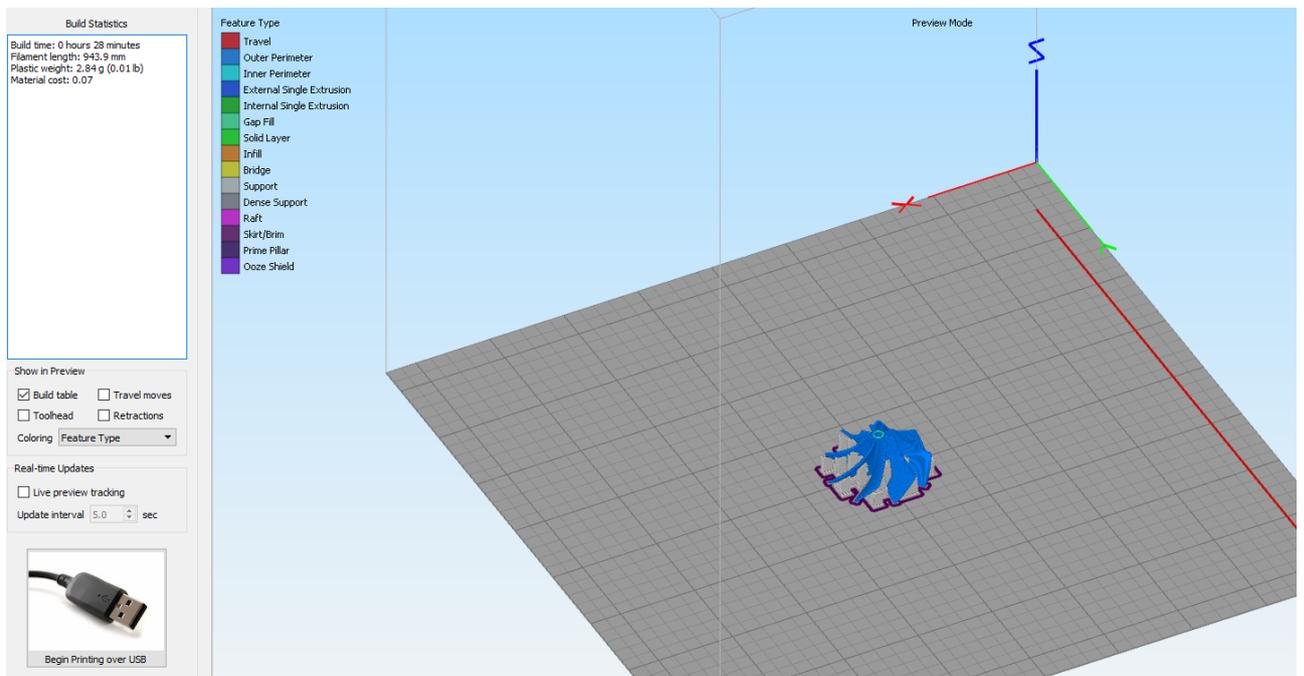


Рисунок 3.20. Винты

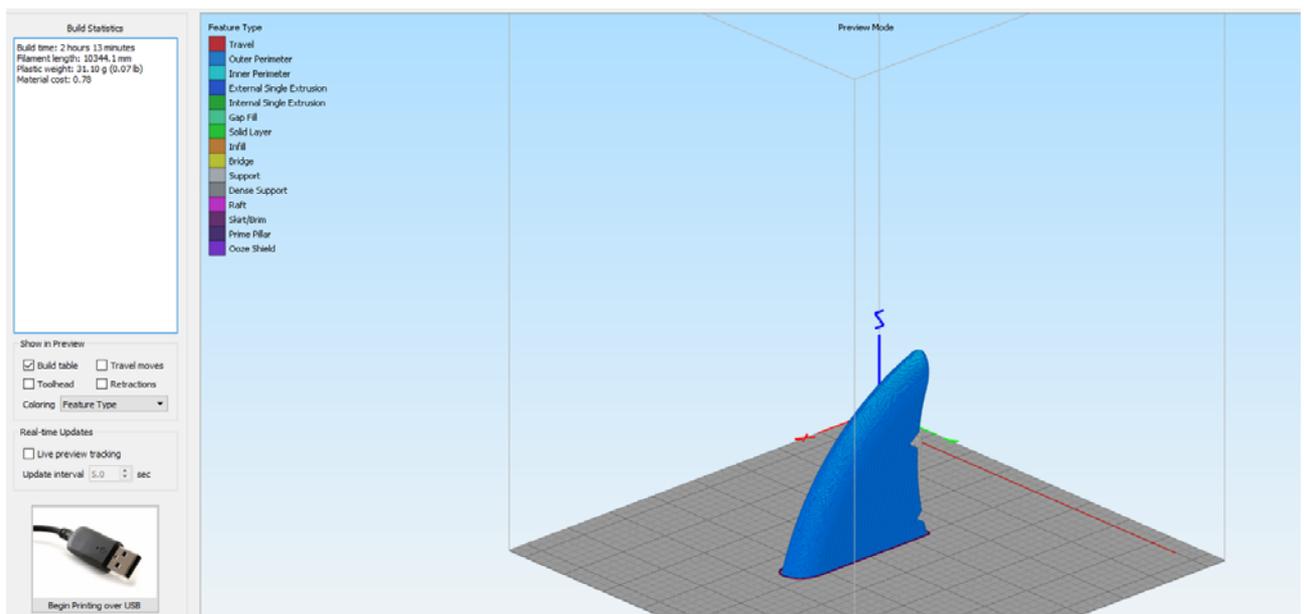


Рисунок 3.21. Плавники

3.3 Сборка и отладка подводного аппарата

Сборка подводного аппарата производится после окончания печати и постобработки всех деталей его корпуса.

На готовую центральную деталь по ширине корпуса монтируются платы. Спереди по бокам и сзади в кормовой части по центру устанавливаются сервомоторы, модуль GPS будет крепиться изнутри небольшого бугра, который выходит на поверхность. Модуль камеры крепится в специальной выемке, предусмотренной спереди детали, выше сервомоторов. Размещение компонентов на центральной детали приведено на Рисунке 3.22.

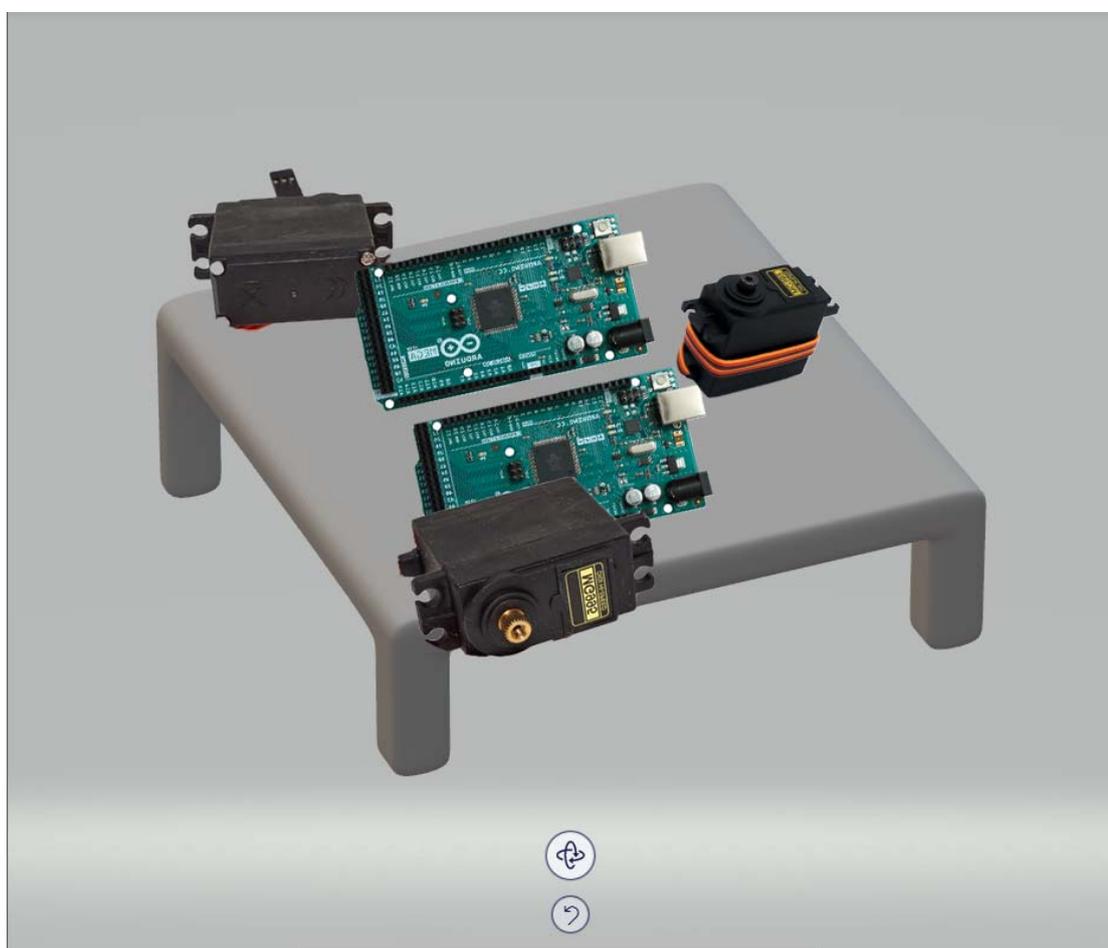


Рисунок 3.22. Размещение компонентов на центральной детали

Для подключения моторов к винтам необходимы два отверстия в кормовой

части. Они проделываются инструментальным путем. Таким же образом выполняются еще три отверстия (помимо основного) в крышке корпуса. Эти отверстия предназначены для крепления плавников (два отверстия сбоку и одно под плавник «влево - вправо»).

Следующая операция – вставка реле для включения по команде движителей (реле устанавливается в дно под среднюю деталь) и прокладка проводов питания к нему.

По окончании процесса установки элементов все детали (крышка, центральная и дно) собираются вместе, затем места соединения «крышки» с «дном» фиксируются для герметичности эпоксидной смолой.

После этого поверх предварительно подключённого кабеля, через отверстие в крышке, устанавливается и фиксируется фланцевое соединение. Пульт управления является ноутбуку, к которому напрямую будет подключена видеокамера.

3.4. Математическое модулирование характеристик.

Был произведен предварительный расчет для проведения первых корректирующих действий в разработке конструкции малогабаритного подводного аппарата для работы в ледовых условиях в результате данных расчётов были получены гидродинамические характеристики малогабаритного подводного аппарата для работы в ледовых условиях. На рисунке 3.23 представлены линии тока обтекания одного из возможных прототипов корпуса аппарата при течении 1.2м/с.

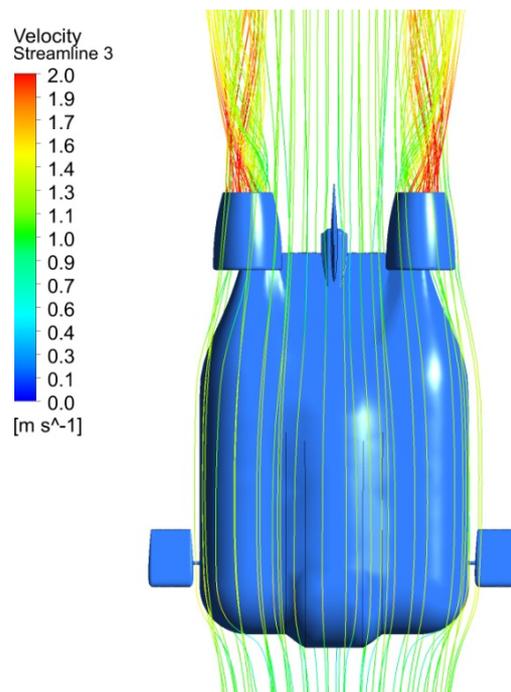


Рис 3.23 линии тока обтекания корпуса при течении 1.2 м/ с

Сам корпус аппарата имеет внутреннюю длину в 170 мм, ширину 130 мм и высоту в 60 мм. Основной корпус имеет окружность с диаметром в 75 мм радиусом.

Электродвигатель обеспечивает на винте 3500 об/мин. Тяговые характеристики левого и правого винтов максимально составили 8.66/8. 87 Н «на швартовых» и 3.686/3.686 Н на течении 1.2м/с. Необходимый момент на одном винте составил 0,139715 Нм при максимальной тяге.

Сила сопротивления легкого корпуса малогабаритного подводного аппарата при течении составила 6.11827 Н, что меньше, чем тяговые характеристики выбранных винтов, что подразумевает о возможности выбранных электродвигателей поддерживать заданную скорость движения аппарата.

Также в результате расчетов было выявлено, что для достижения нужной плавучести малогабаритного подводного аппарата для работы в ледовых

условиях, необходимо регулировать баланс массы аппарата в пределах 8,4 кг. Это можно решить за счет закрепления балластных пластин в нижней части корпуса. Выбранная форма корпуса показала хорошую маневренность, что является преимуществом для заявленных задач.

Заключение по главе 3

В главе 3 подробно описан процесс печати составных блоков устройства на 3d принтере, рассмотрены наиболее удачные с точки зрения практики положения деталей в ходе печати, их постобработка. Объяснен критерий выбора пластика для 3d печати.

После завершения изготовления деталей осуществлена сборка и отладка подводного аппарата, которая подробно изложена в этой же главе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Цель проделанной работы – разработка подводного аппарата для оперативного подводного обследования корпуса судна.

Задачи – анализ компонентной базы для выбора комплектующих разрабатываемого аппарата, выбор материала и технологии печати для изготовления корпуса аппарата, печать деталей корпуса, сборка и окончательная отладка подводного аппарата.

В ходе работы над дипломным проектом цель разработки подводного аппарата была достигнута, а также решены все перечисленные выше задачи. Разработанный прототип предназначен для обследования подводных объектов.

В первой главе работы дается подробный анализ отечественных и импортных комплектующих, пригодных для разработки небольшого аппарата для подводных работ. Приводится также описание рыночной ситуации с доступностью конкретных плат в петербургских магазинах и под заказ. С учетом проведенного анализа и доступности конкретных компонентов для реализации проекта были выбраны следующие комплектующие: Arduino mega 2560 в количестве двух единиц, камера Eachine 1000TVL и GPS щит NEO-6M. В роли пульта было решено использовать портативный компьютер для облегчения управления и уменьшения количества компонентов.

Во второй главе приводится детальное описание разработанной схемы управления подводным аппаратом. Управление аппаратом реализовано на базе двух плат с микроконтроллерами Atmega8U2, к которым подключены сервомоторы, двигатели и GPS-шилд. Такая схема управления позволяет обеспечить стабильную работу всех подключенных элементов.

Главными причинами выбора использованных плат (Arduino Mega 2560) стали их основные технические характеристики и их хорошая представленность

на российском рынке. Большинство использованных компонентов ремонтнопригодны и легко заменяемы.

Остальные элементы в схеме также имеют технические характеристики, которые позволяют обеспечить работоспособность подводного аппарата на его рабочей глубине. Наиболее удачными решениями стали потоковая передача видеоматериала и использование в аппарате GPS-шилда. Ввиду потоковой передачи видеоматериала, ориентирование под водой будет в разы проще для пользователя, а GPS-шилд поможет определить более точное местоположение.

В главе 3 подробно описан процесс печати составных блоков устройства на 3d принтере, рассмотрены наиболее удачные с точки зрения практики положения деталей в ходе печати, их постобработка. Объяснен критерий выбора пластика для 3d печати.

После завершения изготовления деталей осуществлена сборка и отладка подводного аппарата, которая подробно изложена в этой же главе.

Разработанный в настоящем дипломе прототип подводного аппарата может быть в дальнейшем улучшен. Возможные параметры улучшения:

- 1) Выполнить полностью беспроводную автономную версию, которая потребует больший корпус, более качественно продуманный балласт.
- 2) Более мощный микропроцессор, способный одновременно управлять несколькими процессами, для более качественной работы аппарата.
- 3) Установка гиростабилизатора, который позволит стабилизировать аппарат при неожиданном изменении его положения во время работы.
- 4) Увеличение времени автономной работы – можно достигнуть путем установки внутри корпуса более мощного аккумуляторного блока.

Список литературы:

1. Вильямс Д. Программируемый робот, управляемый с КПК / Д. Вильямс. – М.: НТ-Пресс, 2006. – 224 с.
2. Предко М. Устройства управления роботами: схемотехника и программирование / М. Предко. – М.: ДМК, 2004. – 204 с.
3. Бишоп О. Настольная книга разработчика роботов / О. Бишоп. – М.: Корона-Принт, 2010. – 400 с.
4. Юревич Е.И. Основы робототехники / Е.И. Юревич. – СПб.: БХВ-Петербург, 2018. – 304 с.
5. Азимов А. Азимовский путеводитель по науке / А. Азимов. – М.: Центрполиграф, 2007. – 788 с.
6. Спасский М.А., Соболев М.В., Миклуш В.А. Создание подводного аппарата для визуального контроля повреждений морских объектов // Информационные технологии и системы: управление, экономика, транспорт, право. – 2019. – № 3 (35). – С. 149-152.
7. Аандрэ Ф. Микроконтроллеры семейства SX фирмы Ubicom / Ф. Аандрэ. – М.: ДМК, 2016. – 272 с.
8. Алехин В.А. Микроконтроллеры PIC: основы программирования и моделирования в интерактивных средах MPLAB IDE, mikroC, TINA, Proteus. Практикум / В.А. Алехин. – М.: ГЛТ, 2016. – 248 с.
9. Белов А.В. Программирование микроконтроллеров для начинающих и не только / А.В. Белов. – СПб.: Наука и техника, 2016. – 352 с.
10. Белов А.В. Микроконтроллеры AVR: от азов программирования до создания практических устройств / А.В. Белов. – СПб.: Наука и техника, 2016. – 544 с.

- 11.Статья Алексея Бартоша (<http://elektrik.info/main/school/1537-что-такое-tverdotelnoe-rele-i-kak-ego-pravilno-ispolzovat.html>)
- 12.Статья Евгении Каровольской. (<https://oobask.ru/baza-znanij/upravlenie-kontaktorom-s-pomoshhyu-tverdotelnogo-rele>)
13. Изображения с ресурса 43dPrint <https://43dprint.org/layer-height-3d-printing/>
14. Статья Александра Русса (<https://www.compel.ru/lib/134297>)
15. Информация с ресурса Новые Энергетические Технологии (<https://newet.ru/article/princip-raboty-ponizajushhego-dc-dc-preobrazovatelja/>)
16. Информация с ресурса Halzen (<https://halzen.ru/case/podklyuchenie-servoprivodov-k-arduino-upravlenie-servodvigatelyami-s.html>)
17. Информация с ресурса RedComrade (<https://redcomrade.ru/security/kak-upravlyat-servoprivodom-dvumya-knopkami-upravlenie-servoprivodom-sg90/>)
18. Статья с ресурса Halzen (<https://halzen.ru/case/podklyuchenie-servoprivodov-k-arduino-upravlenie-servodvigatelyami-s.html>)
19. Статья с ресурса RedComrade (<https://redcomrade.ru/security/kak-upravlyat-servoprivodom-dvumya-knopkami-upravlenie-servoprivodom-sg90/>)