

Всероссийский конкурс исследовательских и
проектных работ школьников «Высший пилотаж»

Групповая работа

**Проект: Разработка и исследование подводного средства
индивидуальной мобильности**

Направление *“Технические и инженерные науки”*

Авторы:

Учащаяся 11-И класса ГБОУ школы № 1517 г. Москва
Рыжова Кристина Алексеевна

Учащаяся 11-И класса ГБОУ школы № 1517 г. Москва
Ширманова Ксения Анатольевна

Учащийся 11-И класса ГБОУ школы № 1517 г. Москва
Горлов Фёдор Александрович

2025 г.

Аннотация

В современном мире, где технологии развиваются стремительными темпами, возникает необходимость в разработке новых более эффективных средств индивидуальной мобильности. Одним из таких инновационных решений может стать подводный ранец - устройство, предназначенное для перемещения под водой. Разбор аналогов показал, что на данный момент в РФ не существует СИМП, способных помочь человеку с перемещением под водой, существующие аналоги, выпускающиеся за рубежом, обладают крайне высокой стоимостью. Большинство подводных СИМП представляют собой подводные буксиры, главной проблемой которых является занятость обеих рук пловца.

Цель проекта — исследование и разработка подводного средства индивидуальной мобильности.

Задачи проекта:

- Провести анализ имеющихся аналогов;
- Разработать концепт устройства;
- Спроектировать 3Д-модель прототипа;
- Составить перечень электрических компонентов;
- Написать программное обеспечение для СИМП;
- Изготовить прототип;
- Провести цикл испытаний, подтверждающих работоспособность устройства;
- Провести анализ испытаний

Практическая значимость проекта заключается в возможности использования подводного ранца для решения различных задач, связанных с исследованием морского дна, туризмом, спортом и другими областями деятельности. Устройство может стать важным инструментом для подводных исследований и служб МЧС и гражданской обороны, обеспечивая более эффективное и безопасное перемещение под водой.

Список сокращений:

- СИМП - средство индивидуальной мобильности подводное;
- СИМ - средство индивидуальной мобильности
- СУ - силовая установка;
- ПАК - программно-аппаратный комплекс;
- САПР - система автоматизированного проектирования;
- ТХ - технические характеристики

Содержание

Введение.....	4
Основная часть.....	5
1. Обзор существующих решений.....	5
1.1.1 Подводные буксировщики.....	5
1.1.2 Сравнительная таблица современных буксировщиков.....	12
1.2. Подводные ранцы-нарукавники.....	12
1.3. Подводные ранцы типа “JetPack”.....	15
Дорожная карта.....	18
2.Первый прототип СИМП.....	19
2.1 Программно-аппаратный комплекс первого прототипа.....	19
2.1.1 Силовая установка.....	23
2.1.2 Система управления.....	24
2.1.3 Написание программного обеспечения.....	25
2.2 Конструкторская часть.....	26
2.2.1 Определение общего вида и компоновки изделия.....	26
2.2.1.1 Разработка внешнего корпуса.....	27
2.2.1.2 Разработка внутренней компоновки.....	29
2.2.1.3 Движительный комплекс.....	30
2.3 Испытания.....	32
2.4 Готовый первый прототип аппарат.....	34
3. Второй прототип СИМП.....	35
3.1.1 Силовая установка и регулятор оборотов.....	36
3.1.2 Написание программного обеспечения СИМП.....	38
Рисунок 31. Фрагмент кода.....	39
3.2 Конструкторская часть.....	40
3.2.1 Определение общего вида и компоновки изделия.....	40
3.2.1.1 Разработка прочного корпуса.....	40
3.2.1.2 Разработка лёгкого корпуса.....	42
3.2.1.3 Движительно-рулевой комплекс.....	42
3.2.1.3.1 Разработка герметичного корпуса для двигателя.....	42
3.2.1.3.2 Разработка герметичного корпуса для кнопки.....	46
3.3 Испытания.....	48
3.4 Сборка второго прототипа.....	49
Заключение.....	50
Список используемой литературы.....	50

Введение

На сегодняшний день, с учетом уровня развития технологий, имеется множество подводных объектов инфраструктуры, таких как скважины, трубопроводы, которые нуждаются в постоянном мониторинге и диагностике. Основная часть подводных работ проводится человеком в неблагоприятных условиях (низкие температуры воды, токсичные вещества, высокое давление, отсутствие света). Одним из способов сокращения времени работы под водой является повышение мобильности пловца. Возможным решением вопроса мобильности является средство индивидуальной мобильности подводное (СИМП), существенно увеличивающее скорость перемещения оператора под водой.

Таким образом, была определена необходимость создания подводного средства индивидуальной мобильности.

Цель проекта — исследование и разработка подводного средства индивидуальной мобильности.

Задачи проекта:

- Провести анализ имеющихся аналогов;
- Разработать концепт устройства;
- Спроектировать 3Д-модель прототипа;
- Составить перечень электрических компонентов;
- Написать программное обеспечение для СИМП;
- Изготовить прототип;
- Провести цикл испытаний, подтверждающих работоспособность устройства;
- Провести анализ испытаний

Основная часть

1. Обзор существующих решений

Подводные средства индивидуальной мобильности (СИМ) не так давно стали доступны любителям водных развлечений. До недавнего времени буксировщики были сугубо военной разработкой. Военные водолазы использовали их для быстрого покрытия значительных расстояний под водой. Позже подобные аппараты стали использоваться исследователями морских глубин, а сегодня разнообразные подводные скутеры доступны в продаже для всех желающих.

Современные модели сильно отличаются от своих прототипов. Они более совершенны и функциональны. В них предусмотрены все необходимые меры безопасности, так как они предназначены не только для профессиональных водолазов, но и для любителей. Рассмотрим виды существующих аппаратов.

1.1.1 Подводные буксировщики

Подводные буксировщики – это аппараты, которые относятся к снаряжению для подводного плавания. Они позволяют дайверам преодолевать большие расстояния, значительно облегчают движение под водой, экономят воздух и уменьшают усилия, затрачиваемые на гребки.

Изначально были разработаны для нужд военных, чтобы позволить преодолевать большие расстояния под водой или перевозить крупногабаритные предметы и боеприпасы. В мирных целях буксировщики применяются для археологических работ. Также подводные буксировщики используются для активного пляжного отдыха.

Буксир – небольшое устройство с защищенным гребным винтом, которое тянет дайвера за собой. На нем имеются органы управления и ручки с обеих сторон. Дайвер держится за ручки и использует их для управления скоростью вращения двигателя и выбора направления движения. Также буксир может быть выполнен в виде скутера. Дайвер лежит на нем всей грудью.

1.1.1 SEA-DOO EXPLORER



Рисунок 1. SEA-DOO EXPLORER

Трехскоростной подводный скутер SEA-DOO EXPLORER (Рисунок 1) создан для дайверов-профессионалов. Он оснащен системой безопасности, устраняющей все риски глубоких погружений. Работает на глубине до 50м. Индикатор заряда аккумулятора указывает запасы энергии. Агрегат защищен от высоких температур и попадания воды к электрическим схемам. При потере герметичности аппарат информирует пользователя звуковым сигналом.

Скорость	до 5,3 км/ч
Максимальная глубина	50 м
Масса	14,5 кг
Время работы в обычном режиме, при полной зарядке	120 мин
Время зарядки	5ч
Страна	Канада
Стоимость	80 тыс руб

1.1.2 ScubaJet PRO 400



Рисунок 2. ScubaJet PRO 400

Подводный буксировщик ScubaJet PRO 400 (Рисунок 2) – это аксессуар для любителей подводного плавания и дайвинга. ScubaJet PRO 400 оснащен мощным бесщеточным двигателем, который обеспечивает быстрое и плавное передвижение под водой. Максимальная глубина погружения – 60м. Устройство имеет несколько скоростных режимов, позволяющих адаптировать его под различные условия и уровень подготовки пловца. Буксировщик также оснащен системой безопасности, которая автоматически отключает двигатель при потере контакта с пользователем.

Управляется буксировщик с помощью контроллера с двуручным захватом, в центре контроллера расположен светодиодный дисплей, на который выводится вся необходимая информация о текущем профиле работы: потребляемая мощность, глубина погружения, температура воды и текущий заряд аккумулятора.

Скорость	до 7 км/ч
Максимальная глубина	60 м
Масса	4,95 кг
Время работы в обычном режиме, при полной зарядке	80 мин
Время зарядки	6ч
Страна	Австрия
Стоимость	350 тыс руб

1.1.3 Yamaha Seawing 2



Рисунок 3. Yamaha Seawing 2

Подводный буксировщик Yamaha Seawing Seascooter 2 (Рисунок 3) предназначен для активного пляжного отдыха и снорклинга. Запускается и управляется буксир следующим образом: дайвер держится за него двумя руками, при этом под указательными пальцами находятся клавиши, при нажатии на которые и происходит запуск электромоторов. Способен погружаться на глубину до 30м. Добавленный в этой версии аппарата OLED-экран показывает вашу текущую передачу (уровень

скорости) и уровень заряда батареи. Встроенный 2-уровневый переключатель скорости позволяет переключаться с пониженной передачи на повышенную. Лицевая часть буксировщика в базовой комплектации имеет крепление для Экшн-камеры.

Скорость	до 8 км/ч
Максимальная глубина	30 м
Масса	3,7 кг
Время работы в обычном режиме, при полной зарядке	40 мин
Время зарядки	3ч
Страна	Япония
Стоимость	150 тыс руб

1.1.4 Queena



Рисунок 4. Queena

Queena (Рисунок 4) - это подводный буксировщик, предназначенный для активного отдыха на пляже. Способен погружаться на глубину до 10 м с максимальной скоростью 4,8 км/ч (3mph).

Оснащен двигателем мощностью 300 Вт. В сравнении с другими моделями имеет менее низкий показатель максимальной глубины – 10 м, но за счет низкой стоимости (18000 руб) является хорошим вариантов для тех, кто хочет попробовать реактивное устройство в прибрежной зоне. Можно приобрести на озоне.

Макс. скорость	4,8 км/ч
Макс. глубина	10 м
Масса	6 кг
Время работы	60 минут
Время зарядки	6 ч
Страна	Китай
Стоимость	18000 руб

1.1.5 SEABOB F5/F5S/F5SR



Рисунок 5. SEABOB

Подводный скутер SEABOB (Рисунок 5), позволяющий своему оператору управлять им как под водной гладью, так и скользить по поверхности воды. За счет мощного электродвигателя и продвинутой электронной начинке аппарат обладает отличной управляемостью и маневренностью. Имеется HUD с указанием маршевой скорости скутера, а также коробка передач СУ с 6 скоростями (в топовой комплектации, стоковая версия - 3 скорости). Рабочая глубина аппарата – до 40 м.

Макс. скорость	22 км/ч
Макс. глубина	40 м
Масса	от 29 до 35 кг
Время работы	60 минут
Время зарядки	90 минут
Страна	Германия
Стоимость	1500000 руб

Название	SEA-DOO EXPLORER	ScubaJet PRO 400	Yamaha Seawing 2	Queena	Seabob
Макс. скорость, км/ч	5,3	7	8	4,8	22
Макс. глубина, м	50	60	30	10	40
Масса, кг	14,5	4,95	3,7	6	29-35
Время работы, ч	2	1,3	0, 6	1	1
Время зарядки, ч	5	6	3	6	1,5
Страна	Канада	Австрия	Япония	КНР	ФРГ
Стоимость, руб	80 тыс	350 тыс	150 тыс	18 тыс	1300-1850 тыс

1.1.2 Сравнительная таблица современных буксировщиков

Проанализировав рынок подводных буксировщиков, можем сделать вывод о том, что в настоящий момент существует большое количество разнообразных подводных буксировщиков. Они могут быть выполнены в виде небольшого устройства с защищенным гребным винтом, которое тянет дайвера за собой, а также в виде скутера, на который дайвер ложится грудью. Цена подводных буксировщиков варьируется от ~18 тыс рублей до ~2 млн. Приобрести их можно как в официальных магазинах компаний по всему миру, так и на различных маркетплейсах (в тч ozon, aliexpress и др). Существующие буксировщики могут опускаться на разные глубины в соответствии с целями (до 60 м для работ; до 10 м для рекреации). Их масса может меняться от 3,7 кг до 35. Скорость может достигать 22 км/ч.

1.2. Подводные ранцы-нарукавники

1.2.1 S.C.P Marine Innovations (Underwater jetpack x2)



Рисунок 6. S.C.P Marine Innovations

Детище британского стартапа со средней рыночной стоимостью ниже, чем у полноценного подводного JetPack. Устройство S.C.P Marine Innovations (Рисунок 6) состоит из двух отдельных двигателей-водометов, крепящихся на запястья пользователя а также некого литиевого аккумулятора, способного обеспечивать эффективную и длительную работу всей системы в целом. По заверению разработчиков, аксессуар обеспечит скорость перемещения под водой до 10 км/ч. Стартап закрылся.

Максимальная скорость	2,8 м/с
Тяга	н.д
Габариты (ДхШхВ)	н.д
Масса	<1 кг
Время работы	н.д
Время зарядки	н.д

Максимальная глубина	н.д
Стоимость	360 тыс руб

1.2.2 Laohao



Рисунок 7. Подводные нарукавники laohao

Подводные нарукавники laohao (Рисунок 7) – аксессуар для дайвинга от компании laohao . Устройства крепятся на входящую в комплектацию защиту кистей. Чтобы начать движение, нужно сжать кулаки. Чтобы увеличить скорость, нужно направить запястья вниз. Рабочая глубина – до 20м. Можно приобрести на озоне за 50000 руб.

Максимальная скорость	8 км/ч
Тяга	по 10 кгс
Габариты (ДхШхВ)	26.8х8.7х8.8 см
Масса	1,7 кг

Страна	Китай
Максимальная глубина	20 м
Стоимость	50000 руб

Вывод: рынок подводных ранцев-нарукавниках слабо развит. Легко доступны лишь нарукавники с маркетплейса ozon. Их максимальная глубина погружения достигает 20 м, а скорость – 8 км/ч. Главным преимуществом таких аппаратов является освобождение рук, нарукавники крепятся на запястья сверху. Помимо этого, они более удобны в управлении за счет своих маневренных характеристик.

1.3. Подводные ранцы типа “JetPack”

Обычно джетпаками (реактивными ранцами) называют персональные летательные аппараты, которые надеваются на спину и поднимают человека в воздух за счет реактивной тяги. Но этот же способ передвижения можно использовать и под водой. Более того, так как в водной среде не требуется поднимать вес тела человека, то устройство может быть достаточно компактным по размеру. В самой простой комплектации устройство представляет из себя двигатель-водомер и корпус с креплениями на спину пользователя.

1.3.1 CudaJet



Рисунок 8. Подводный ранец CudaJet

Масса подводного джетпака (Рисунок 8) составляет 13,2 килограмм, он крепится на спине жилета массой от 1,5 до 1,7 килограмм (в зависимости от размера). За реактивное движение под водой отвечает водяная помпа, всасывающая воду через водозаборник в верхней части и выталкивающая ее через два сопла, расположенные в нижней части ранца, развивая при этом 40 килограмм тяги.

Пловец управляет тягой с помощью проводного ручного контроллера, а направление движения меняется с помощью положения тела. CudaJet позволяет пловцу не прилагая усилий разгоняться под водой до трех метров в секунду. Устройство рассчитано на максимальную глубину погружения 40 метров. Одной зарядки батареи в течение 75 минут хватает на 40 минут работы под водой. Базовая версия джетпака в интернет-магазине компании стоит 1,7 млн рублей

Максимальная скорость	3 м/с
Тяга	40 кгс
Габариты (ДхШхВ)	(495 x 306 x 200)
Масса	14 кг
Время работы	40 минут

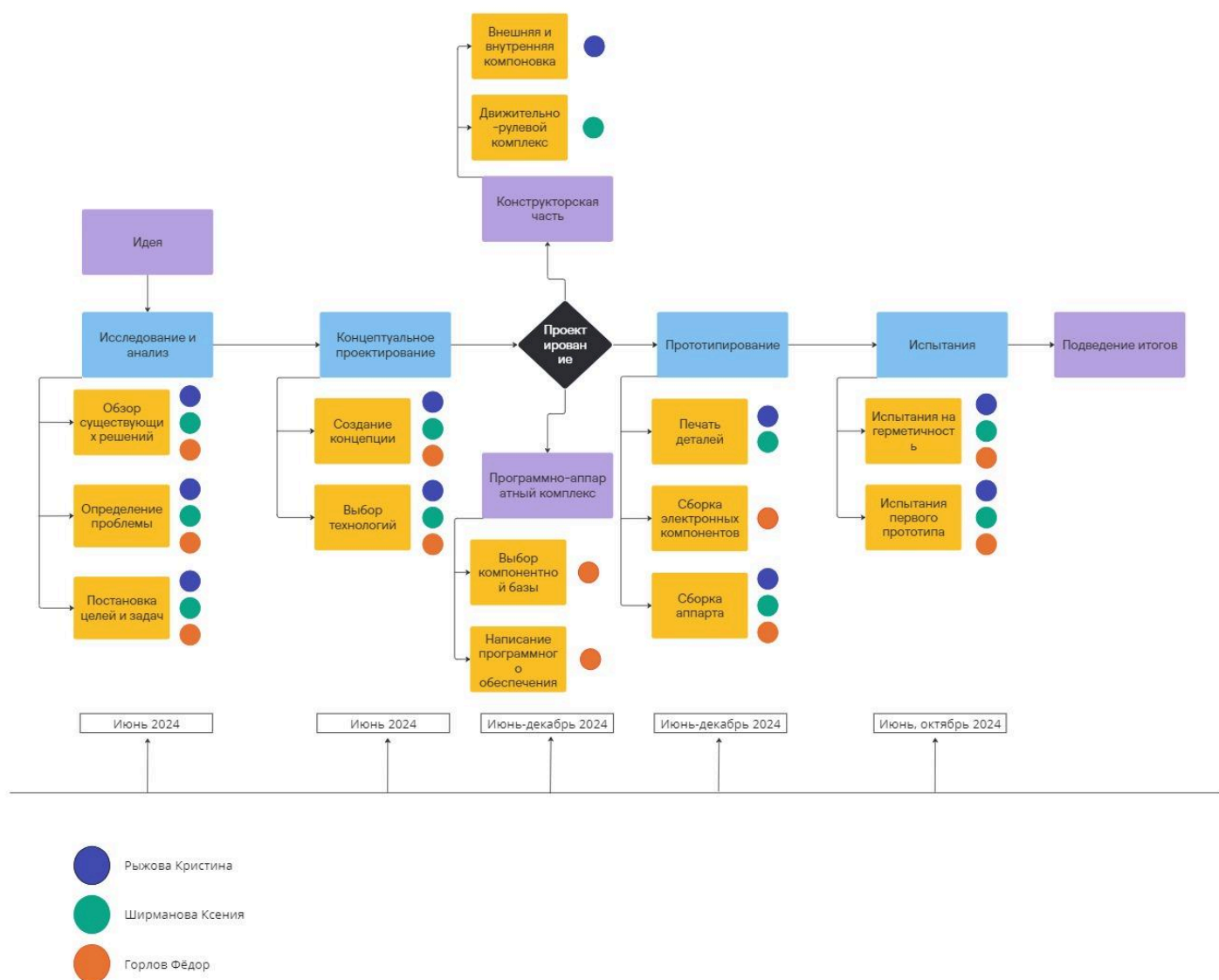
Время зарядки	75 минут
Максимальная глубина	40 м
Стоимость	1,7 млн руб

Таким образом, можем сделать вывод о том, что в современном мире интерес к разнообразным реактивным подводным аппаратам постоянно растет. На рынке начинают появляться новые модели разных форм и размеров с большим функционалом. Существующие уже продолжительное время, подводные буксировщики представлены в разных ценовых категориях для всех желающих. Они имеют следующие преимущества: удобное управление, большая глубина погружения, маневренность, возможность использования как под водой, так и над водой. Их недостатком является отсутствие свободы рук, которые должны держать устройство. Также сейчас активно происходит разработка проектов, связанных с устройствами, где этот недостаток убирается, т.е. с средствами, которые крепятся к телу человека: например, подводные ранцы-нарукавники и ранцы. К преимуществам ранца можно отнести свободу перемещения рук, скорость передвижения, видимость пространства спереди и снизу.

В результате сравнения аналогов было выявлено, что в мире существует лишь одна широко известная компания, изготавливающая такие ранцы, однако их поставка в РФ затруднительна. Более того, при осуществлении поставки на территорию РФ, стоимость такого ранца с доставкой составляет около 2 млн рублей.

Таким образом, было принято решение создать отечественный аналог подобного перспективного средства.

Дорожная карта



2.Первый прототип СИМП

На рисунке 9 представлена схема деления первого прототипа.

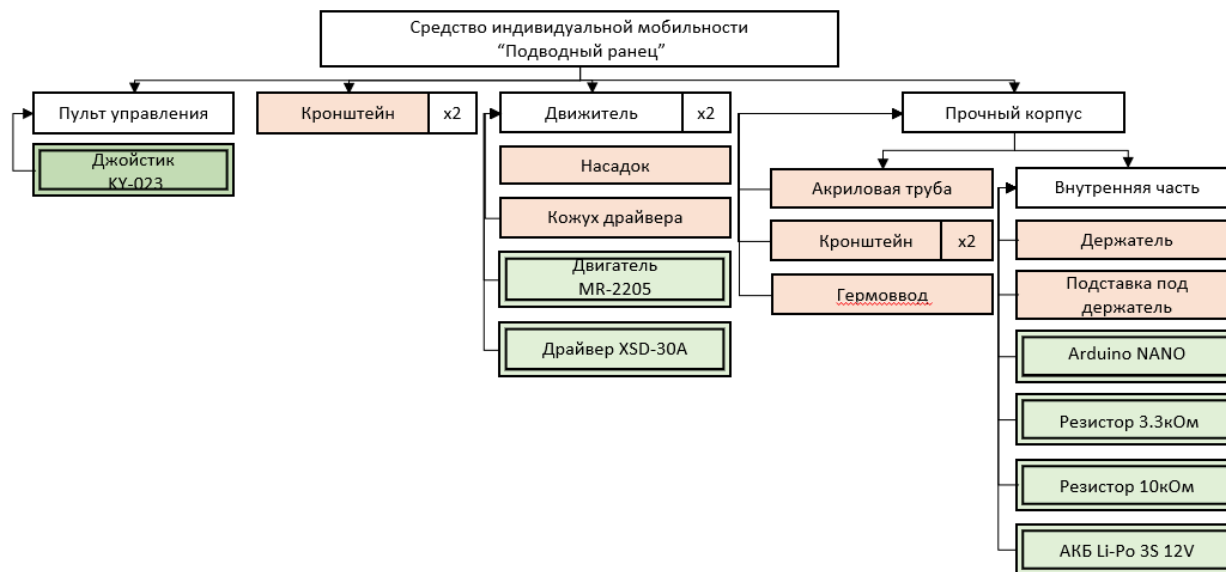


Рисунок 9. Схема деления первого прототипа

2.1 Программно-аппаратный комплекс первого прототипа

Аппаратная часть первого прототипа СИМП представляет из себя блок электроники, включающий в себя следующие компоненты, необходимые для полноценной работы аппарата:

- Микроконтроллер или микрокомпьютер;
- Драйверы (регуляторы оборотов);
- Бесколлекторные двигатели;
- Средство или система управления;
- АКБ

Снизу представлены электрические схемы (Рисунок. 10, Рисунок. 11) ЭЗ (электрическая принципиальная схема) и Э4 (схема электрических соединений), иллюстрирующие полный состав электрических компонентов, их коммутацию, взаимосвязь, а также детальное представление о принципе работы устройства СИМП.

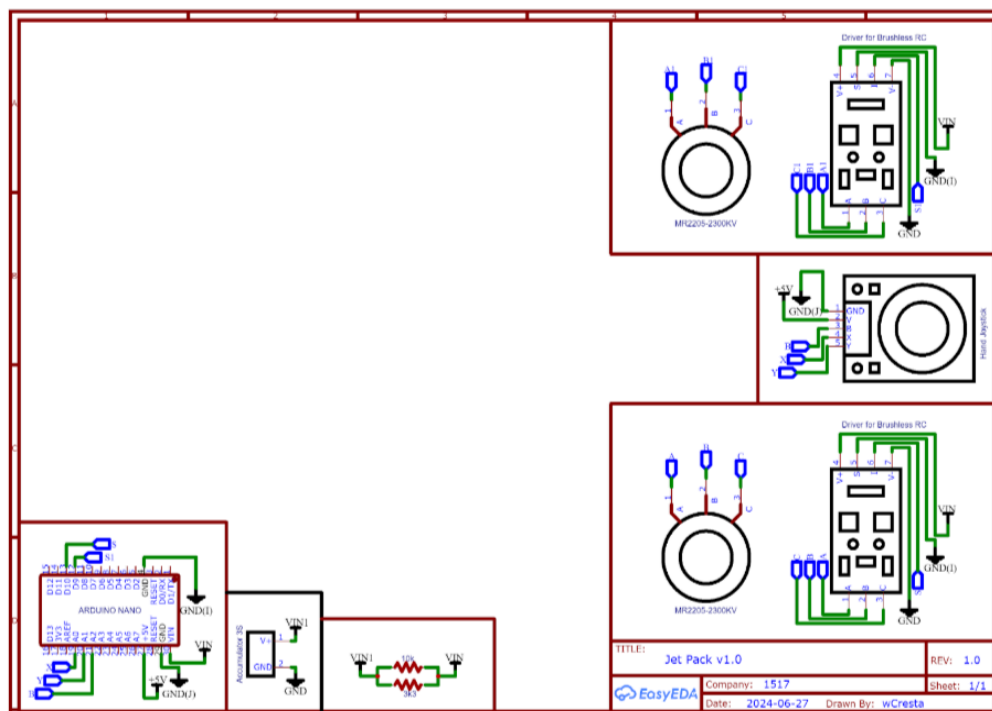


Рисунок 10. Схема Э3

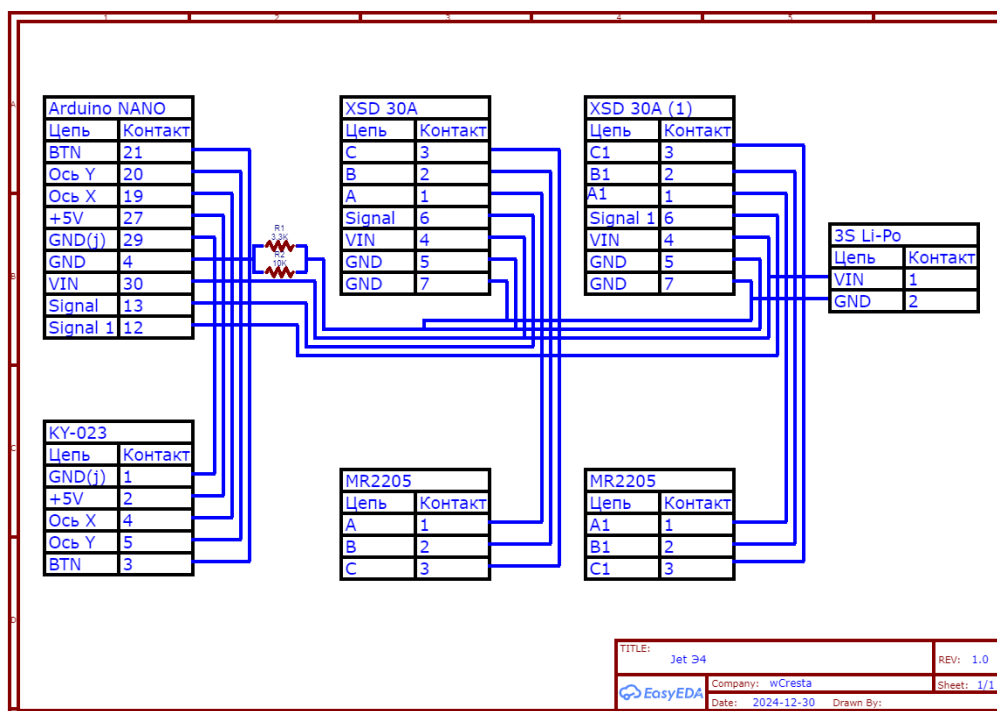


Рисунок 11. Схема Э4

Представленная электрическая принципиальная схема ЭЗ первого прототипа иллюстрирует соединение всех электрических компонентов изделия.

Выбор СУ пал на двигатели типа OutRunner MR2205 с максимальной тягой в 1150 г, данный тип двигателей широко применяется в подводных аппаратах и FPV-дронах. В качестве регулятора оборотов для этого используются драйверы бесщеточных двигателей XSD-30A (Рисунок. 13), рассчитанные на работу при силе тока в 30А. Питание на СУ, как и на плату обеспечивается при помощи 3-S Li-Po АКБ на 12V. KV данной СУ составляет 2750 оборотов на вольт, что обеспечивает необходимую для перемещения под водой аппарата тягу. В связи с относительно небольшими необходимыми вычислительными мощностями СИМП и в целях уменьшения его размеров, а также удешевления ПАК был выбран микроконтроллер Arduino NANO. Управление двигателями осуществляется за счет джойстика, подключенного к данному микроконтроллеру (Рисунок. 12).

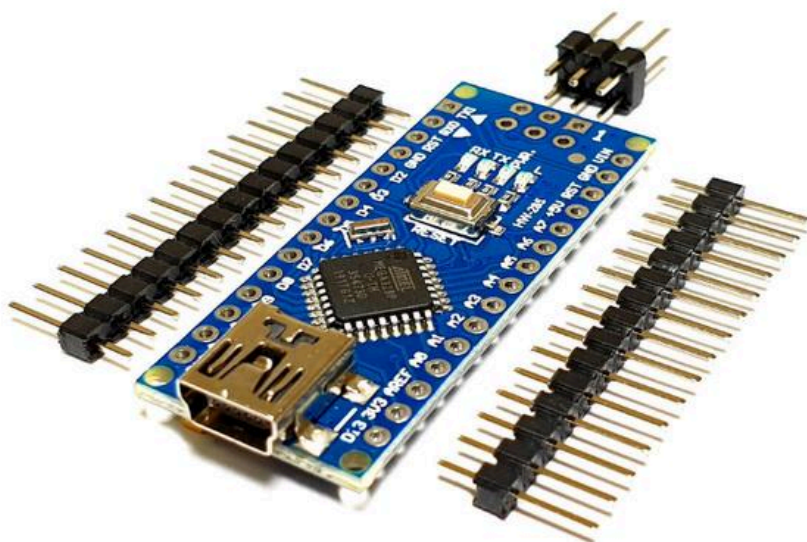


Рисунок 12. Arduino NANO



Рисунок 13. Регулятор оборотов XSD 30A

```
sketch_jun15a.ino
1  #include <Servo.h>
2
3  // Create servo objects to control the ESCs
4  Servo leftESC;
5  Servo rightESC;
6
7  // Define motor pins
8  const int leftMotorPin = 10;
9  const int rightMotorPin = 9;
10
11 // Define joystick pins
12 const int joystickXPin = A1;
13 const int joystickYPin = A0;
14 const int joystickButtonPin = A2;
15 // Оси X и Y поменяны местами
16
17 // Variables to store joystick values
18 int joystickXValue = 0;
19 int joystickYValue = 0;
20 int joystickButtonValue = 0;
21
22 // Variables to store motor speeds
23 int leftMotorSpeed = 0;
24 int rightMotorSpeed = 0;
25
26 // Variable to store motor state (on/off)
```

Output

Рисунок 14. Фрагмент кода

2.1.1 Силовая установка

Выбор СУ пал на двигатели типа OutRunner MR2205 (Рисунок. 15) с максимальной тягой в 1150 г , данный тип двигателей широко применяется в подводных аппаратах (подобная модель двигателя не нуждается в дополнительной герметизации, перемотки двигателя покрыты специальным лаком) и FPV-дронах. Питание на двигатели, как и на плату обеспечивается с 3-S Li-Po АКБ. KV СУ составляет 2750 оборотов на вольт. Впоследствии на следующих прототипах будет совершен переход на коллекторные электродвигатели в связи с их меньшей стоимостью при большей мощности. Переход на более мощные СУ позволит осуществить на будущих прототипах концепцию водометных двигателей, вследствие чего значительно возрастут скоростные характеристики СИМ. Внизу представлена таблица с характеристиками MR 2205.

Характеристики бесколлекторного двигателя MR2205	
Тяга одного двигателя	1,15 кг
Общая тяга силовых установок СИМП	2,3 кг
Количество оборотов на 1 вольт (KV)	2700 об/В
Пиковая мощность	520 Вт
Максимально возможный ток	36 А
Пиковое напряжение	14,4 В
Осуществление питания	3S/4S Li-Po аккумуляторы



Рисунок 15. MR2205

2.1.2 Система управления

Управление СИМ осуществляется за счет джойстика KY-023 (Рисунок. 16), подключенного к микроконтроллеру Arduino Nano. Джойстик выполняет роль устройства ввода информации, при изменении угла наклона ручки джойстика по осям O_x и O_y на плату подаются команды на изменение тяги. При помощи метода “map” создается декартова система координат джойстика. Ось O_y отвечает за увеличение или уменьшение тяги на обоих СУ, ось O_x отвечает за рысканье СИМ, создаваемую за счет одновременного увеличения или уменьшения тяги на одном из двигателей и уменьшении на другом. Нажатие на кнопку отключает обе СУ подводного ранца.



Рисунок 16. KY-023

2.1.3 Написание программного обеспечения

Написание кода для ПО СИМ было произведено на языке программирования “С++” при помощи библиотеки “Servo” в среде разработки Arduino IDE. Далее будут представлены фрагменты блоков кода ПО СИМП.

```
void setup() {  
  // Attach the ESCs to the motor pins  
  leftESC.attach(leftMotorPin, 1000, 2000); // (pin, min pulse width, max pulse width in microseconds)  
  rightESC.attach(rightMotorPin, 1000, 2000);  
  // Initialize joystick button pin as input  
  pinMode(joystickButtonPin, INPUT_PULLUP);  
  Serial.begin(9600);  
}
```

```

void loop() {
    // Read joystick values
    joystickXValue = analogRead(joystickXPin);
    joystickYValue = analogRead(joystickYPin);
    joystickButtonValue = digitalRead(joystickButtonPin);

    // Map joystick values to motor speeds
    int thrustDifference = map(joystickXValue, 0, 1023, -90, 90);
    int overallThrust = map(joystickYValue, 0, 1023, 0, 180);
    leftMotorSpeed = constrain(overallThrust + thrustDifference, 0, 180);
    rightMotorSpeed = constrain(overallThrust - thrustDifference, 0, 180);

    if (joystickButtonValue == LOW) {
        motorsEnabled = !motorsEnabled;
        delay(500); // Debounce delay
    }
}

```

2.2 Конструкторская часть

2.2.1 Определение общего вида и компоновки изделия

Эскизный проект

К разрабатываемому изделию предъявляются следующие основные требования (техническое задание):

- глубина погружения 5-15 метров;
- система движения, которая позволит передвигаться под водой;
- система управления глубиной, которая позволяет двигаться под водой.

На основе выдвинутых требований технического задания были определены основные конструктивные задачи:

- обеспечить герметичность устройства;
- обеспечить достаточную плавучесть, чтобы удерживать человека на поверхности воды;
- обеспечить стабильность, чтобы не переворачиваться при движении.

Разрабатываемый ранец конструктивно состоит из следующих сборочных узлов:

- внешний корпус;
- внутренняя компоновка
- движительный комплекс

2.2.1.1 Разработка внешнего корпуса

Модель внешнего корпуса устройства представлена на Рисунке 17:

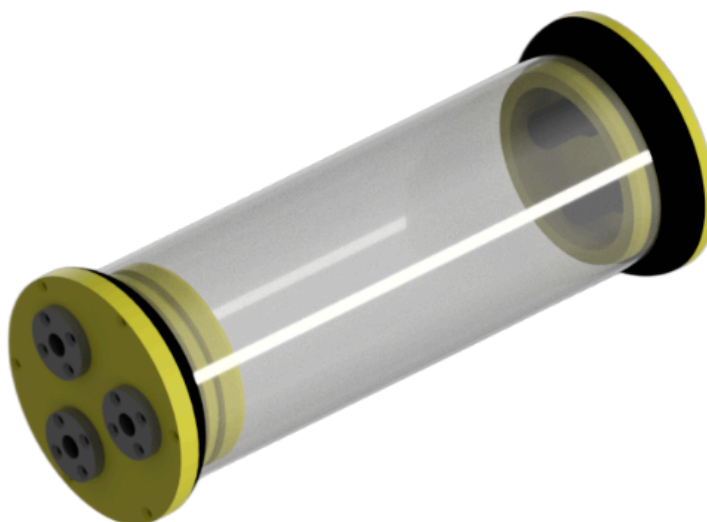


Рисунок 17. Внешний корпус

Внешний корпус выполнен из акриловой трубы внешним диаметром 90 мм, толщиной стенок 3 мм и длиной 256мм. С двух сторон в трубу вставляются две комбинированные крышки. Крышка собирается из трех деталей: две напечатаны на 3Д-принтере с помощью технологии FDM, в которой используется PLA-пластик и одна выполнена в технологии LCD-печати, которая основана на облучении лазером жидкой фотополимерной смолы. Крышка выполнена таким образом по следующим причинам:

–внешняя и внутренняя часть крышки требуют прочности. Помимо этого в них вплавляются втулки. Для этого требуется технология FDM-печати, позволяющая сделать это.

– основание крышки обязано быть герметичным, т. к. оно находится между трубой и внешней средой. Фотополимерная смола обеспечивает герметичность детали, поэтому данная часть выполнена в технологии LCD. В эту деталь устанавливается радиальное уплотнение в виде двух резиновых колец по ГОСТ 9833-73. Размер колец 078-084-36. Они прижимаются трубой и обеспечивают герметичность прочного корпуса.

В крышке (Рисунок 18) проделаны отверстия под три гермоввода: через два из них идут два кабеля для двух двигателей, находящихся с внешней части прочного корпуса, и один используется для системы управления СИМП.

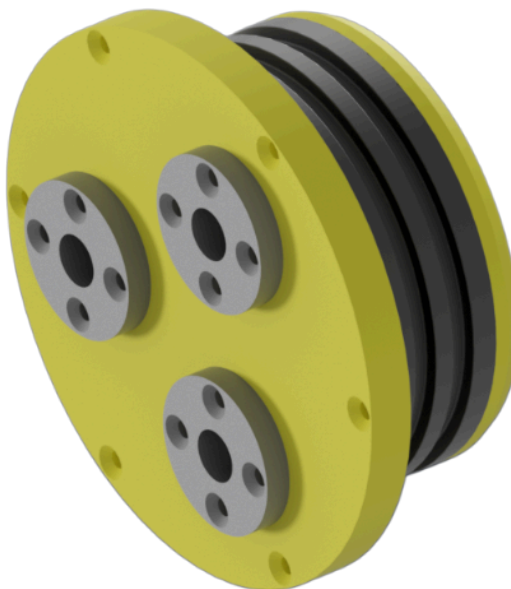


Рисунок 18. Комбинированная крышка

Гермоввод представляет собой деталь, напечатанную с помощью технологии LCD. Для обеспечения герметичности данной детали с внешней части используется радиальное уплотнение в виде двух резиновых колец размера 013-016-19. Кольца прижимаются с внешней стороны крышкой, поэтому конструкция герметична с внешней стороны. Внутри через гермоввод идет кабель. Данная часть герметизируется с помощью эпоксидной смолы. Для этого замешиваются два ее компонента: смола (компонент А) и отвердитель (компонент В). Затем смола дегазируется с помощью вакууматора. Предварительно оклеив кабель с помощью термо-пистолета снизу гермоввода, сверху заливается эпоксидная смола. По прошествии приблизительно 8 часов смола затвердевает, после чего ее можно использовать.

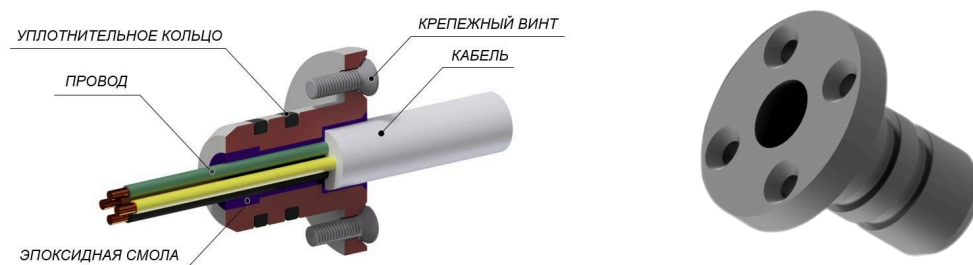


Рисунок 19. Гермоввод

Крышка находится в фиксированном положении из-за специального крепления, к которому она прикручивается винтами.

Для крепления движительного комплекса к аппарату используется кронштейны - две симметричные детали, которые скрепляются между собой винтами.

2.2.1.2 Разработка внутренней компоновки

Внутренняя компоновка (Рисунок 20) состоит из:

- литий-ионного аккумулятора
- печатной платы

На печатной плате размещаются электронные компоненты СИМПа.

- держателя внутренних компонентов

На нижней стороне держателя закреплена литий-ионный аккумулятор с помощью стяжек-липучек. Благодаря ребрам жесткости высотой 4 мм он плотно лежит на держателе.

На верхней стороне держателя закреплена печатная плата с помощью 4х межсекционных стоек и 4-х винтов с полукруглой головкой М3х8

Держатель совпадает по длине с расстоянием между двумя крышками для прижима в двух сторон

- двух подставок под держатель

Подставки представляют собой две детали, внешний диаметр которых совпадает с внутренним диаметром трубы. Один из держателей прикрепляется к одной из крышек, после чего сборка крышки и внутренней компоновки размещается внутри трубы и прижимается второй крышкой.

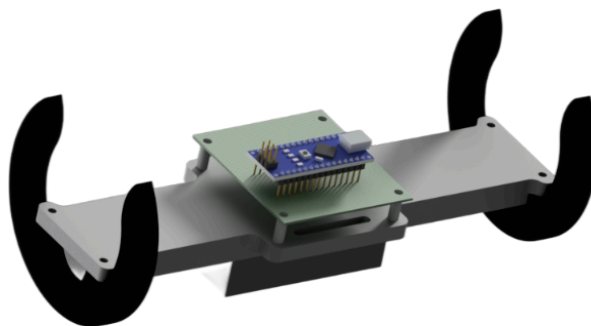


Рисунок 20. Внутренняя компоновка

2.2.1.3 Движительный комплекс

Движительный комплекс (Рисунок 21) представляет собой сборку из следующих деталей:

- Двигатель с винтом
- Насадок

Внутри насадка находится двигатель, приводящий в движение СИМП. Функция насадка состоит в обеспечении защиты от внешних факторов.

- Кожух для драйвера

Внутри кожуха помещается драйвер, который заливается дегазированной эпоксидной смолой. Это нужно для того, чтобы на драйвер не попала вода. (Рисунок 22)

- Кронштейны

Кронштейны представляют собой симметричные детали, которые скрепляются между собой и прижимаются к трубе с помощью втулок и винтов. К кронштейнам крепятся кожух с насадком.

Движительно-рулевой комплекс соединяется с прочным корпусом прототипа благодаря кабелю, который проходит через гермоввод. Гермоввод вставляется в комбинированную герметичную крышку.

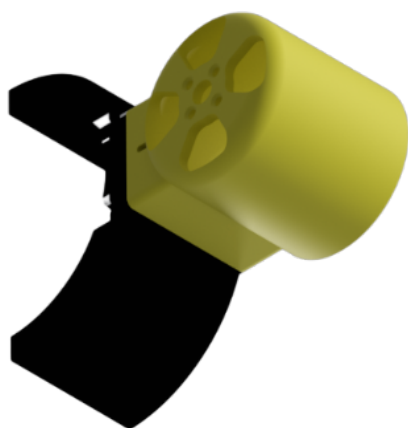


Рисунок 21. Двигательно-рулевой комплекс

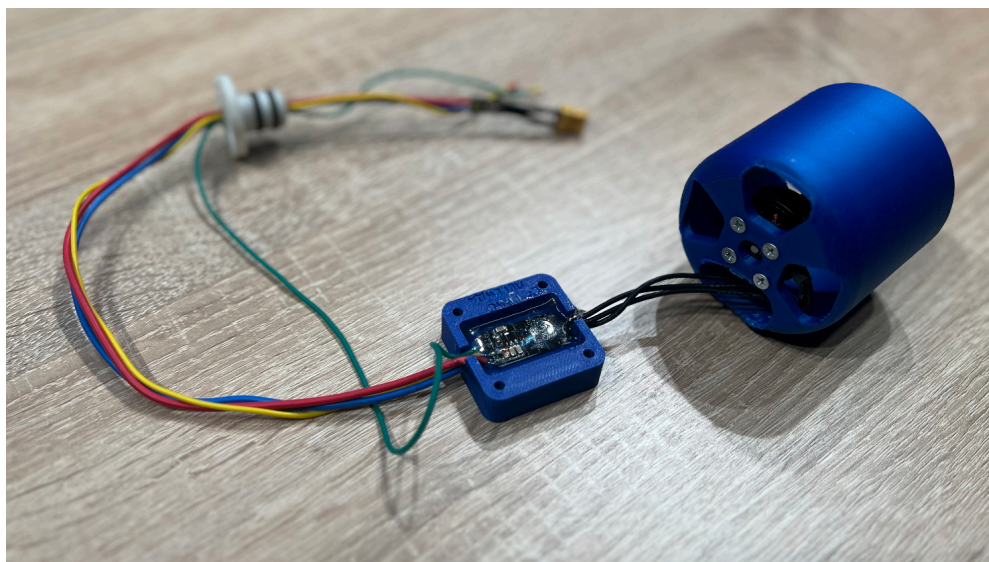


Рисунок 22. Заливка драйвера эпоксидной смолой

3D-модель первого прототипа СИМП (Рисунок 23):

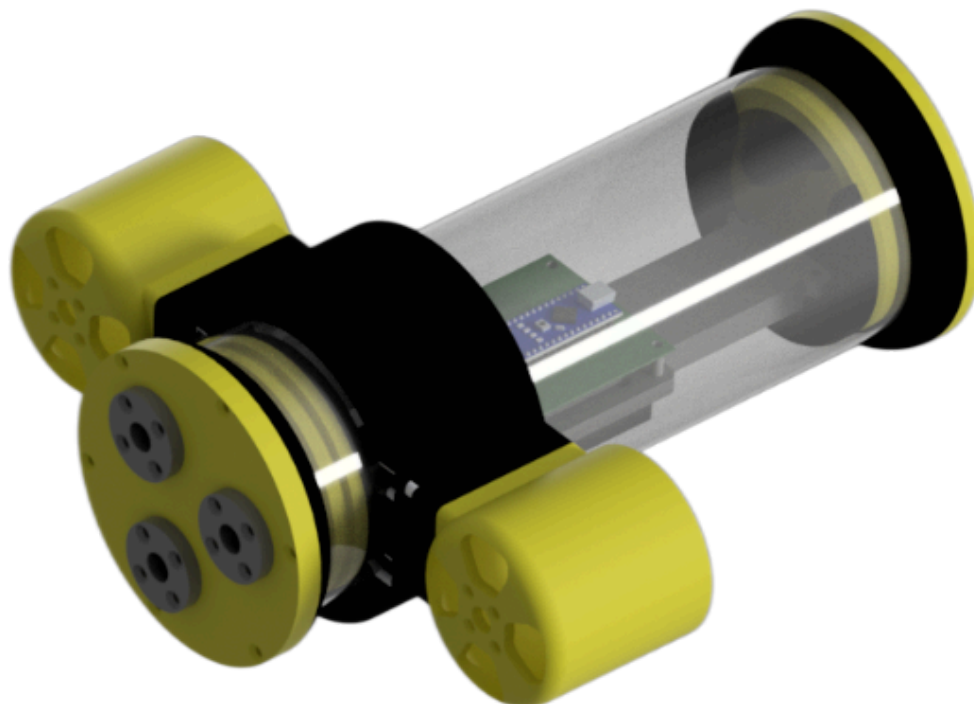


Рисунок 23. 3D-модель устройства первого прототипа СИМП

2.3 Испытания

2.3.1 Испытания на герметичность

Сначала были проведены испытания на герметичность конструкции (Рисунок 24). Для этого в сосуд с водой был погружен полностью собранный аппарат.

Начальные условия:

Глубина погружения – 30 см

Время нахождения под водой – 5 минут

Испытания подтвердили герметичности конструкции.

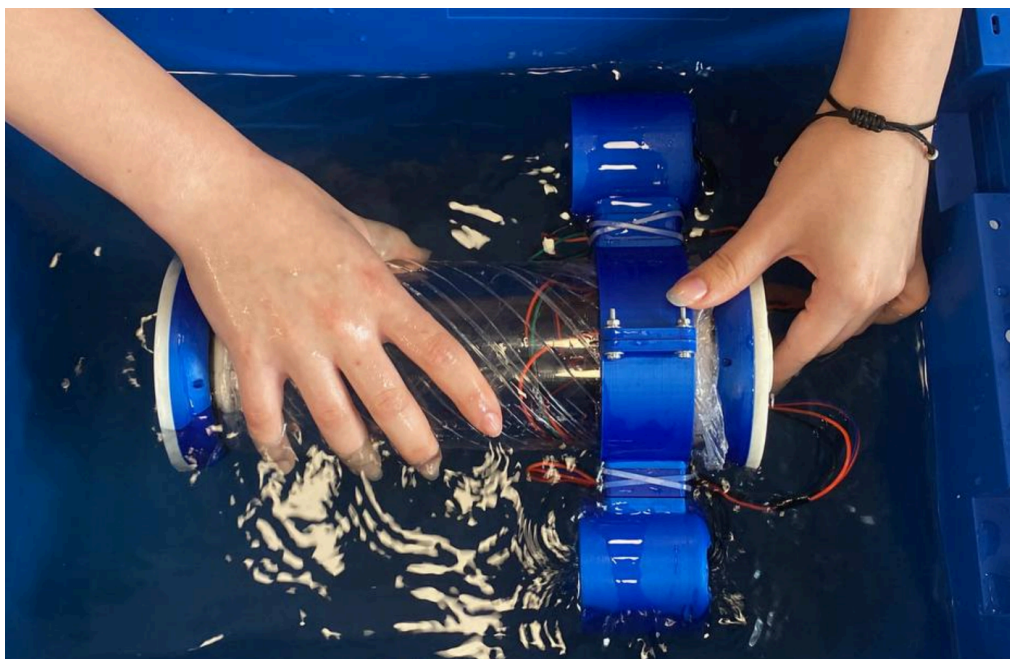


Рисунок 24. Испытания на герметичность

2.3.2 Испытания готового прототипа

Позднее были проведены испытания прототипа с электронными компонентами внутри (Рисунок 25), которые подтвердили работоспособность первого прототипа аппарата. Однако, во время испытаний, на значении оборотов 1800 эпоксидная смола потеряла свои свойства и дала трещину. Это произошло по причине сильного нагрева драйвера изнутри и внешнего воздействия низкой температуры. Также было выявлено, что мощность двигателя не позволяет тянуть под водой человека.

Дальнейшим решением проекта являлся переход ко второй версии СИМПа с заменой двигателя на более мощный.

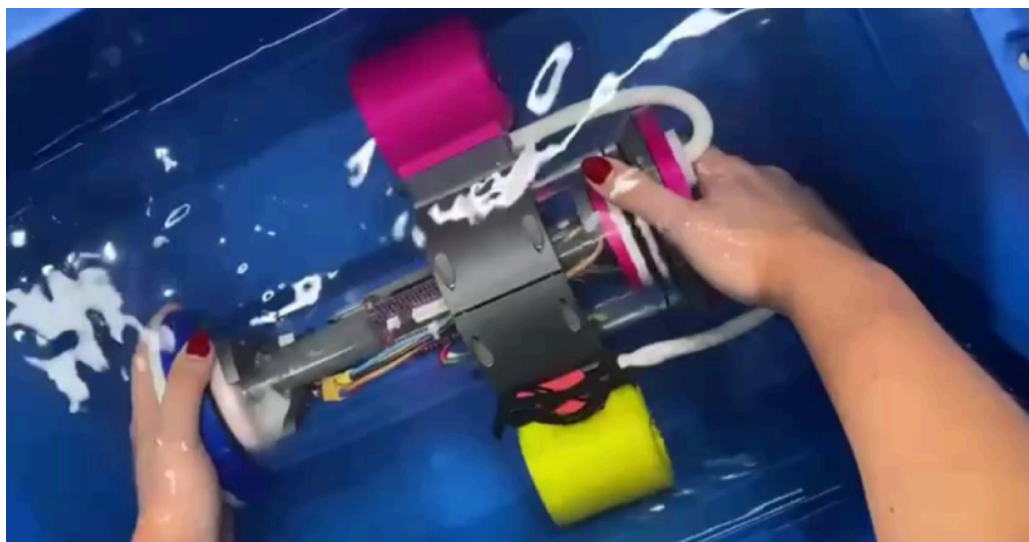


Рисунок 25. Испытания собранного прототипа

2.4 Готовый первый прототип аппарат

В результате проделанной работы получили первый прототип СИМП, работоспособность которого была подтверждена испытаниями. После анализа испытаний, было принято решение перейти ко второму прототипу СИМПа.



Рисунок 26. Первый прототип СИМП

3. Второй прототип СИМП

На рисунке 27 представлена схема деления второго прототипа.

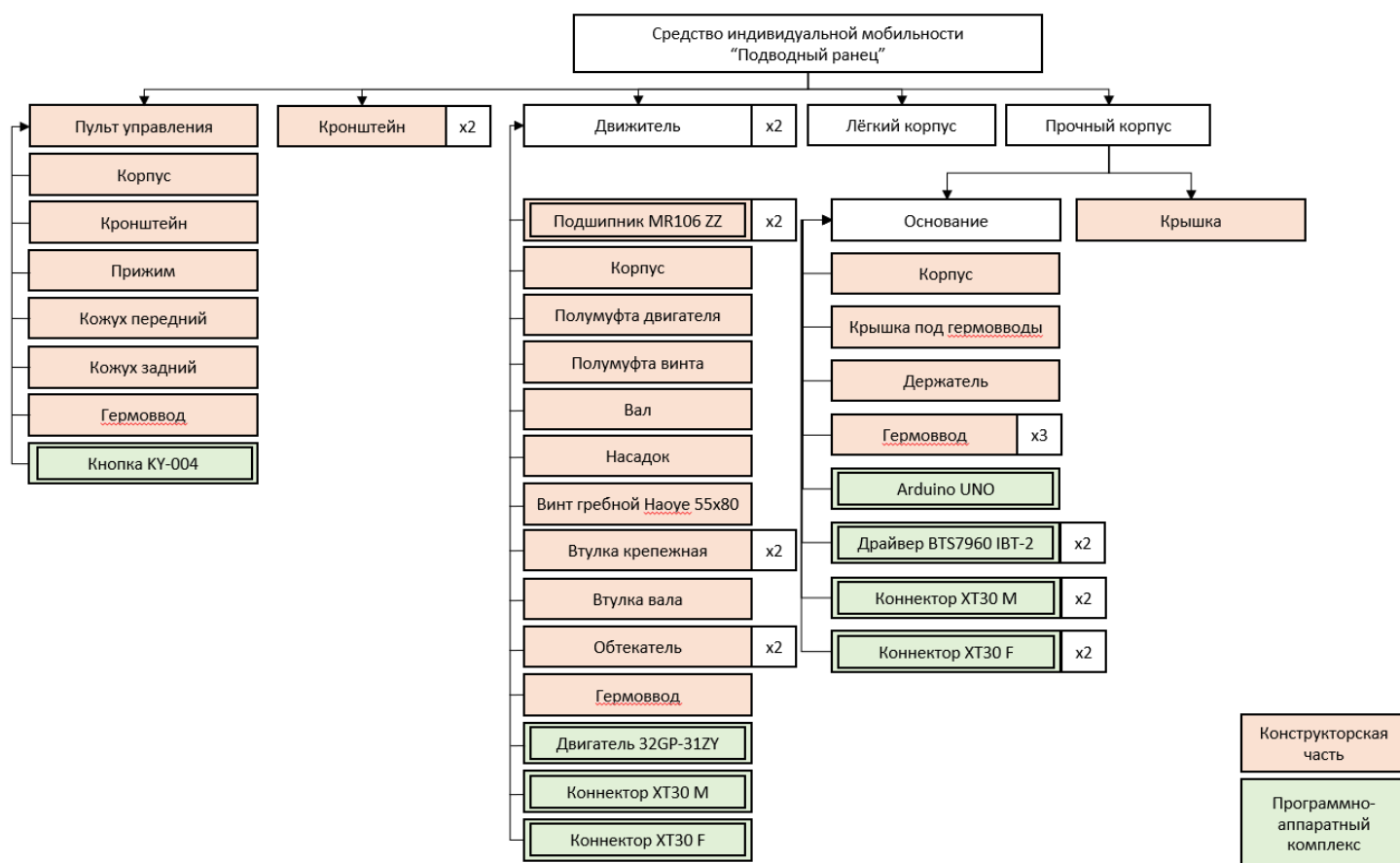


Рисунок 27. Схема деления второго прототипа

Аппаратная часть второго прототипа СИМП представляет из себя схожий блок электронного оборудования (Схема ЭЗ (Рисунок. 28)) включающий в себя часть компонентов, используемых в первом прототипе:

- Микроконтроллер или микрокомпьютер;
- Драйверы (регуляторы оборотов);
- Коллекторные двигатели постоянного тока;
- Средство или система управления;
- АКБ

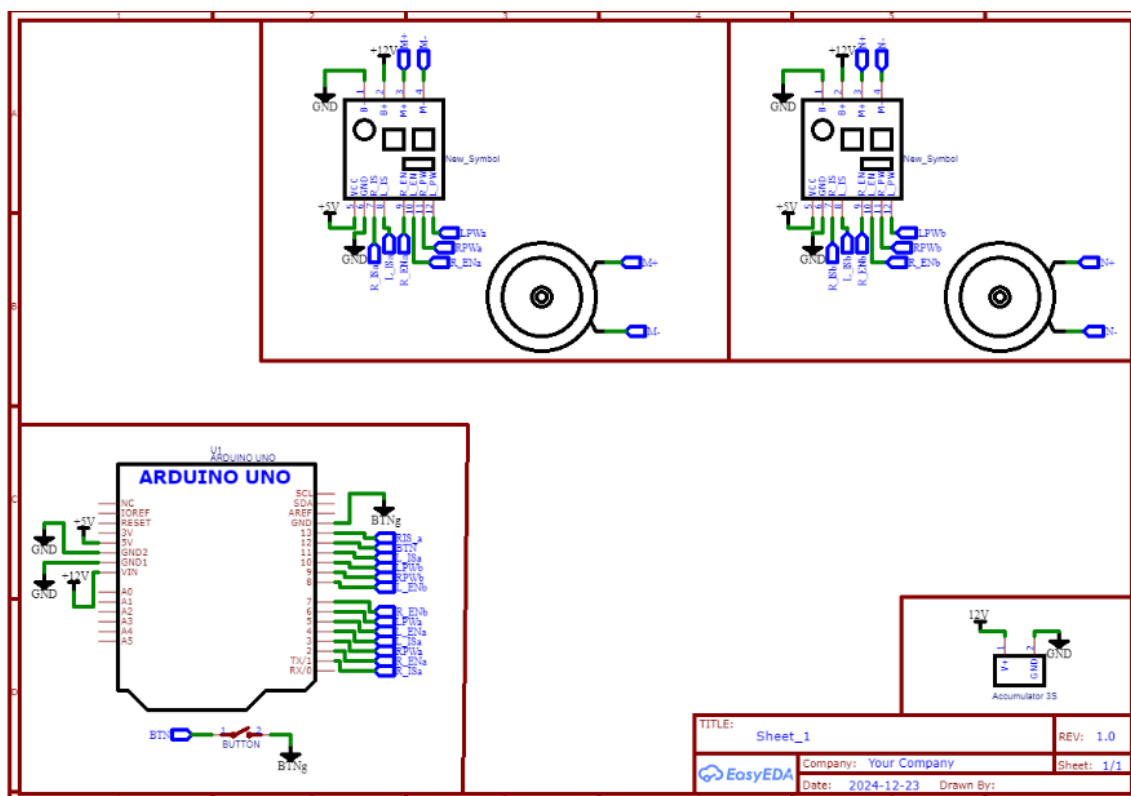


Рисунок 28. Схема ЭЗ

Перечень электронных компонентов, используемый во втором прототипе СИМП :

- Arduino Uno
- Драйвер IBT-2 x2
- Коллекторный двигатель с планетарным редуктором 12v (2шт)
- Кнопка KY-04
- АКБ 3S Li-Po 1300maH TATTU

3.1.1 Силовая установка и регулятор оборотов

В качестве силовой установки второго прототипа было решено использовать коллекторный двигатель постоянного тока. В ходе испытаний первого прототипа СИМП было выяснено, что бесколлекторные двигатели MR 2205. В целях исследования было решено перейти на щеточный тип электродвигателя. Выбранная силовая установка обладает большим моментом, что положительно влияет на упор (тягу) СИМП под водой. Выбор пал на коллекторный двигатель 32GP-31Z 12/24V (Рисунок. 29).

В качестве регулятора оборотов такой силовой установки было решено использовать драйвер IBT-2 в связи с его надежностью и размещенной на нем радиаторной решеткой, обеспечивающей достаточное охлаждение драйвера.



Рисунок 29. 32GP-31Z 24V

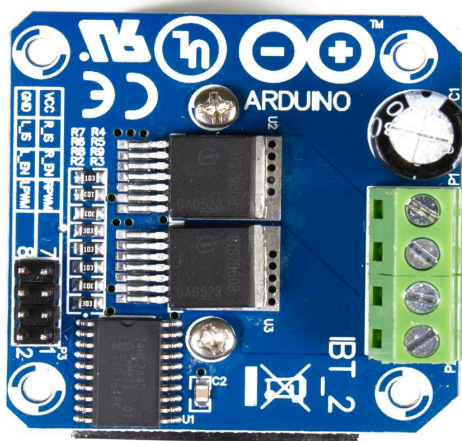


Рисунок 30. Регулятор оборотов IBT-2

Внизу представлена таблица характеристик драйвера (регулятора оборотов) IBT-2.

Характеристики драйвера IBT-2	
Напряжение питания силовой установки	6 - 27,5 В
Напряжение питания логики драйвера	5 В
Максимальный ток для СУ	10 А
Максимальный ток нагрузки	43 А
Максимальная частота ШИМ	25 КГц

3.1.2 Написание программного обеспечения СИМП

Написание кода для ПО второго прототипа СИМ было также произведено на языке программирования “С++” в среде разработки “Arduino IDE”. Снизу представлен фрагмент кода.

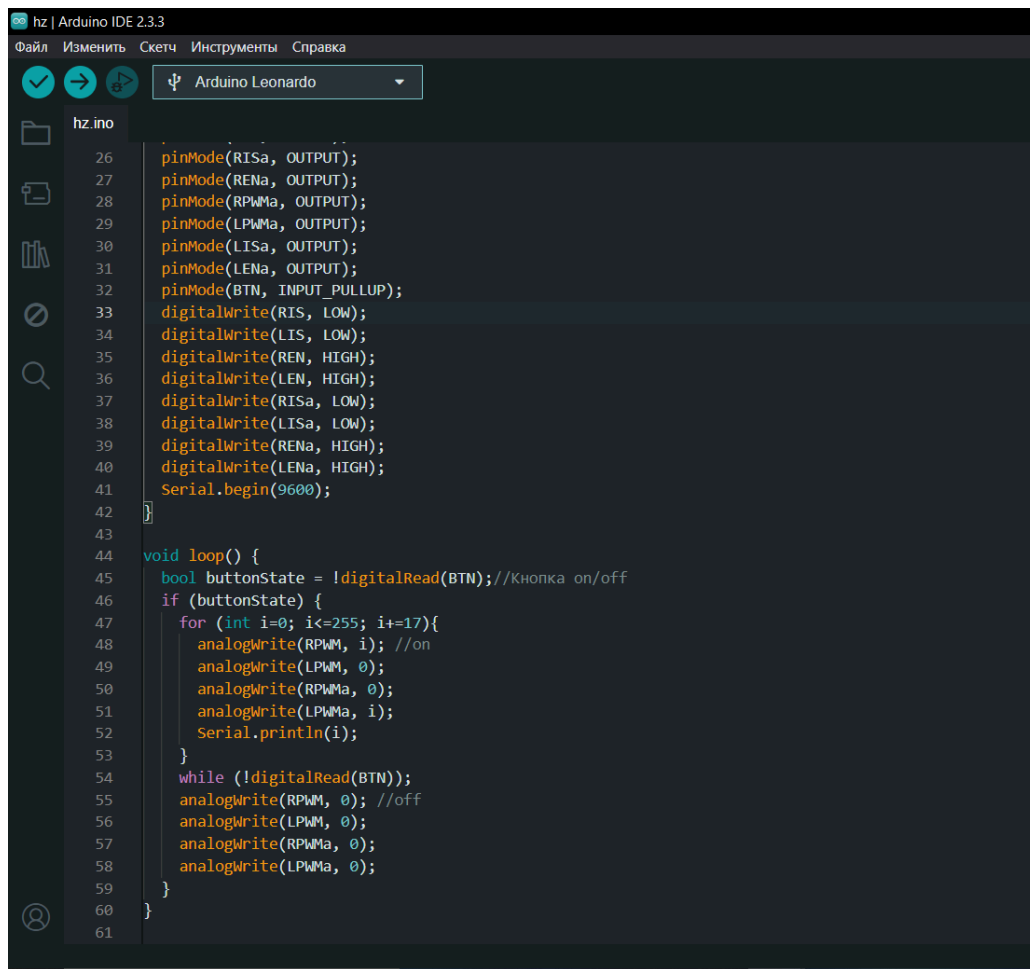


Рисунок 31. Фрагмент кода

```

void loop() {
    bool buttonState = !digitalRead(BTN); //Button VKL/VYKL
    if (buttonState) {
        for (int i=0; i<=255; i+=17){
            analogWrite(RPWM, i); //ON
            analogWrite(LPWM, 0);
            analogWrite(RPWMa, 0);
            analogWrite(LPWMa, i);
            Serial.println(i);
        }
    }
}

```

3.2 Конструкторская часть

3.2.1 Определение общего вида и компоновки изделия

Эскизный проект

К разрабатываемому изделию предъявляются те же основные требования, что и к первому прототипу СИМП.

Разрабатываемый ранец конструктивно состоит из следующих сборочных узлов:

- прочный корпус;
- легкий корпус;
- движительно-рулевой комплекс

3.2.1.1 Разработка прочного корпуса

Прочный корпус (Рисунок 32) представляет собой сборку основания корпуса и крышку, которые скрепляются между собой винтами. Общие габариты прочного корпуса 13,4 см*20,7см*6,5 см.

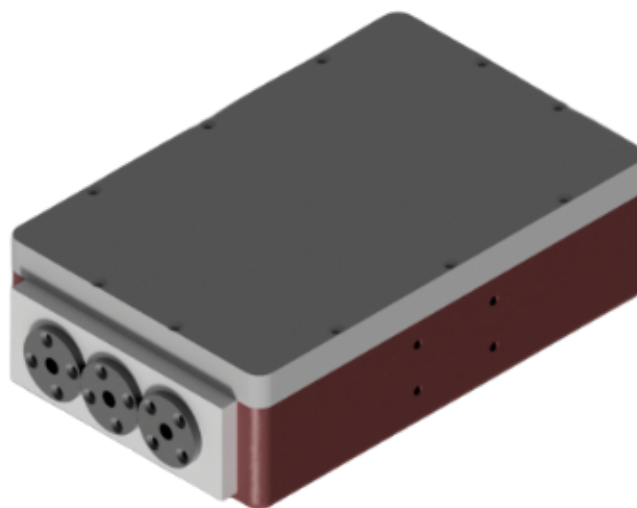


Рисунок 32. Модель прочного корпуса

Основание корпуса – ‘короб’ размерами 13,4см*20,7см. Для герметизации прочного корпуса в основание устанавливается торцевое уплотнение в виде резинового кольца по ГОСТ 9833-73. Размер

кольца 190-195-36. Оно прижимается крышкой, поэтому прочный корпус отвечает условиям герметичности. Крышка присоединяется к основанию 8 винтами М3.

Помимо этого в основании корпуса находится крышка для гермовводов – деталь, напечатанная с помощью технологии LCD. Она вставляется в корпус, предварительно залитый эпоксидной смолой в месте под крышку. Таким образом конструкция отвечает условиям герметичности во всех местах, соединяющих внешнюю среду и внутреннюю компоновку аппарата.

Внутри прочного корпуса размещаются следующие электронные компоненты СИМП:

- Arduino uno
- драйвер IBT-2 x2
- Аккумулятор

Модель прочного корпуса с размещенной электроникой представлена на Рисунке 33:

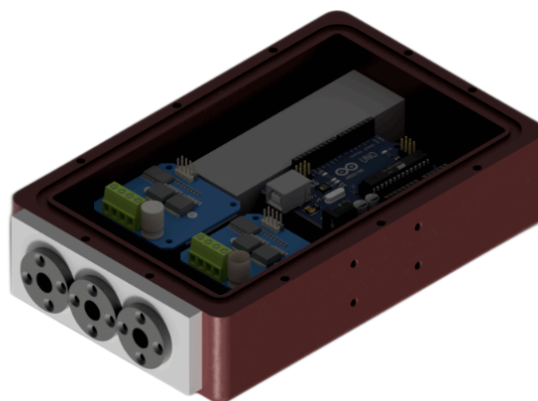


Рисунок 33. Модель прочного корпуса с размещенной электроникой

К прочному корпусу с двух сторон прикрепляются кронштейны, к которым будут прикрепляться два двигателя аппарата.

Общая компоновка аппарата представлена на Рисунке 34.

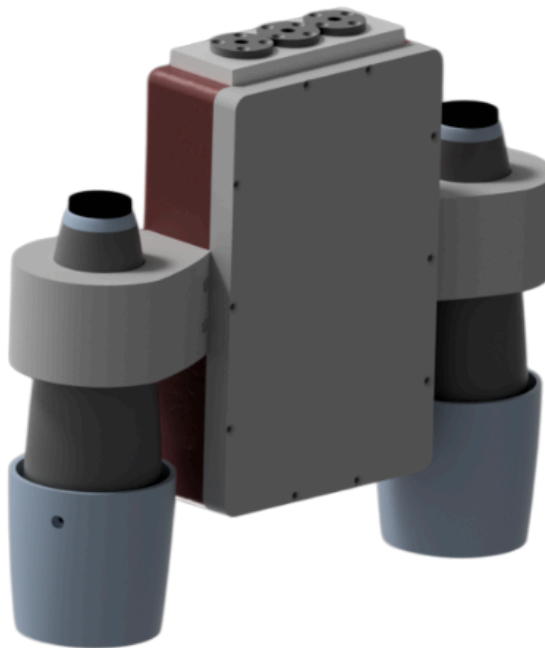


Рисунок 34. Общая компоновка второго прототипа СИМП

3.2.1.2 Разработка лёгкого корпуса

Легкий корпус представляет из себя внешнее изделие, выступающее в роли оболочки для всех составляющих СИМПа. Он выполняет функцию защиты аппарата от внешних воздействий, а также функцию эстетики. Корпус состоит из 4-х сборных деталей, которые склеиваются между собой. Две детали корпуса прикрепляются к прочному корпусу с помощью винтов. Две другие приклеиваются к паре первых. На данный момент легкий корпус находится в разработке.

3.2.1.3 Движительно-рулевой комплекс

Движительно-рулевой комплекс состоит из двух движителей и пульта управления.

3.2.1.3.1 Разработка герметичного корпуса для двигателя

Второй вариант проекта “Подводный ранец” состоит из коллекторного двигателя с достаточно большим моментом. Было принято решение разработать модель с использованием двух полумуфт с

неодимовыми магнитами. Отличительная особенность таких муфт: передача крутящего момента осуществляется без механического взаимодействия ведущего и ведомого вала.

Модель двигателя (Рисунок 35) состоит из:

- двух полумуфт
- основного корпуса
- герметичной крышки
- насадка на внешний корпус
- гребного винта
- круглого вала
- двух подшипников
- двух обтекателей
- гермоввода

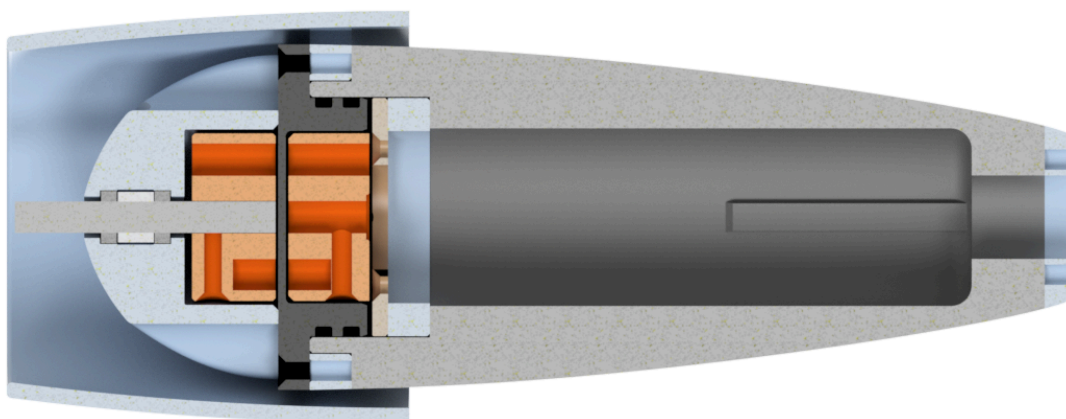


Рисунок 35. Внутренняя часть модели для двигателя

Полумуфта крепится к валу двигателя за счет винта М3. На валу есть фаска, в которой был сделан небольшой вырез для винта, чтобы ведущий вал без проскальзывания вращал полумуфту. Крепится двигатель к основному корпусу с помощью детали, в которую вставляются винты с потайной головкой М3:

Чтобы двигатель не шатался и четко стоял в корпусе, были сделаны небольшие выступы.

В основном корпусе находится отверстие для гермоввода, через него проведён кабель к основному корпусу.

Гермоввод представляет собой деталь, напечатанную с помощью технологии LCD. Для обеспечения герметичности данной детали с внешней части используется радиальное уплотнение в виде двух резиновых колец размера 013-016-19. Кольца прижимаются с внешней стороны крышкой, поэтому конструкция герметична с внешней стороны. Внутри через гермоввод идет кабель. Данная часть герметизируется с помощью эпоксидной смолы. Для этого замешиваются два ее компонента: смола (компонент А) и отвердитель (компонент В). Затем смола дегазируется с помощью вакууматора. Предварительно оклеив кабель с помощью термо-пистолета снизу гермоввода, сверху заливается эпоксидная смола. По прошествии приблизительно 8-ми часов смола затвердевает, после чего ее можно использовать.

Крышка, герметизирующая основной корпус для двигателя уплотнительными кольцами (размер: 042-046-25, ГОСТ-9833), имеет достаточно тонкую стенку для того, чтобы магниты могли вращать ведомый вал с помощью притяжения северных и южных полюсов.

На основном корпусе для двигателя так же будут располагаться детали для вставки втулок. Чтобы детали находились в фиксированном положении, были сделаны выступы на корпусе и каждой детали.

Слева от крышки находится точно такая же полумуфта с неодимовыми магнитами размерами 6мм*8 мм, имеющие силу сцепления 1.9 кг.

Полумуфта крепится к ведомому валу с помощью винта М3.

Снаружи закрывает полумуфту обтекатель, состоящий из двух деталей, которые скрепляются винтами М3 между собой с двух сторон.

К ведомому валу прикреплены два подшипника размером 6 на 3 мм, чтобы не создавалось трение деталей.

Для защиты гребного винта, который будет крепиться на вал, сделан насадок.

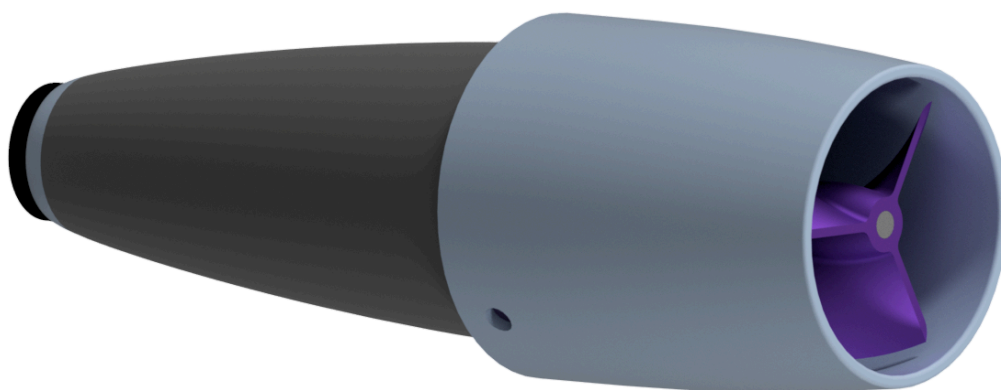


Рисунок 36. Внешний корпус двигателя

Готовая модель: ([Рисунок 37](#))

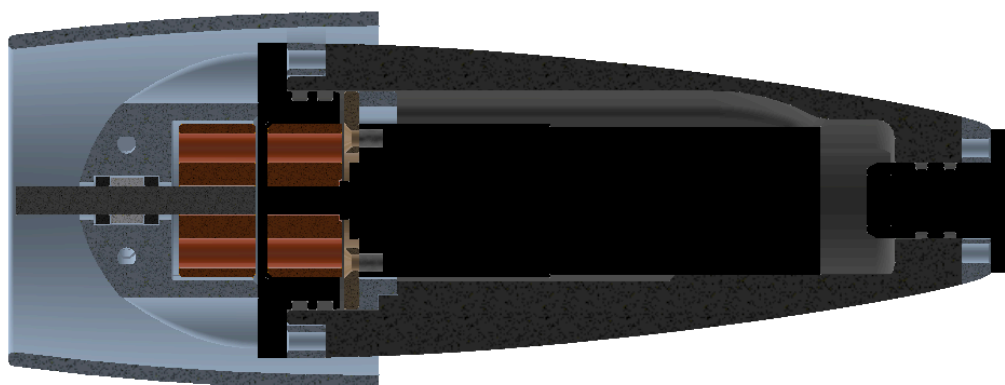


Рисунок 37. Готовая модель двигателя

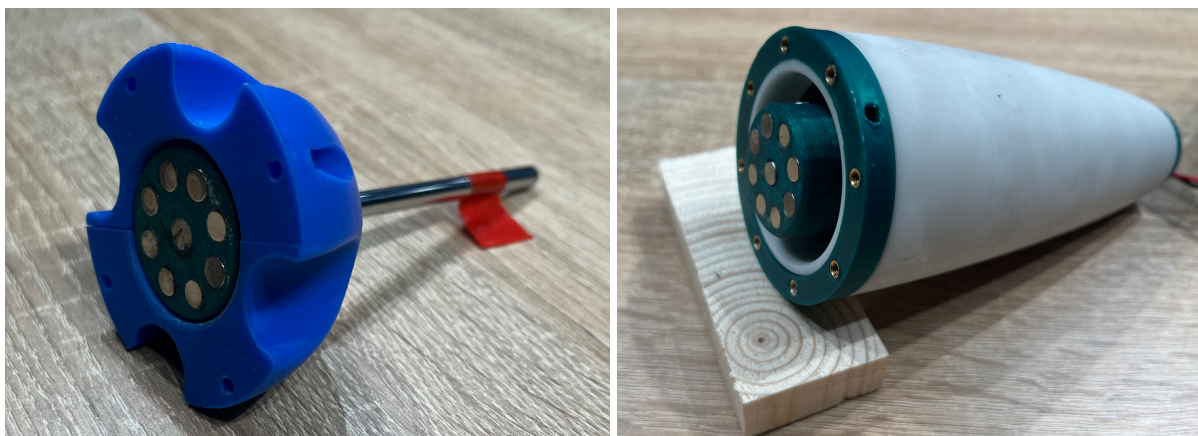


Рисунок 38. Собранная модель двигателя

3.2.1.3.2 Разработка герметичного корпуса для кнопки

Управление СИМП будет осуществляться за счёт пульта (Рисунок 39), в котором будет располагаться кнопка с режимами включения и выключения. Данная модель состоит из:

- Кронштейна
- Основного корпуса джойстика
- Прижима
- Гермоввода
- Двух кожухов



Рисунок 39. - Модель пульта управления

Сборка деталей, в которых расположена кнопка (Рисунок 40), состоит из подставки для кнопки, кронштейна, силиконового “колпачка”, прижима, детали для вставки втулок.

Кнопка устанавливается в кронштейн. Для фиксации используется отдельная деталь, которая крепится к основной с помощью винтов М3 с потайной головкой. Для обеспечения полной герметичности кнопки была разработана специальная форма, в которую заливается силикон, что позволяет получить герметичный "колпачок". Прижим, представляющий собой отдельный элемент, надежно соединяет колпачок с основной деталью кнопки.

Эта сборка помещается в корпус кнопки, а герметичность обуславливается уплотнительными кольцами (ГОСТ-9833, размер: 036-040-25). Для обеспечения устойчивости сборка прикручивается к основному корпусу с помощью винтов.

Основной корпус герметизирует провода, которые соединяются с платой кнопки. Сборка с кнопкой устанавливается в основной корпус, а провода проходят через гермоввод. На гермовводе предусмотрены два углубления для уплотнительных колец, чтобы предотвратить протечки в основной корпус. Все размеры соответствуют ГОСТ-9833, а размер колец составляет 013-016-19. Гермоввод фиксируется к основному корпусу с помощью винтов М3.

Два кожуха приклеиваются к основному корпусу джойстика. Они разработаны для удобства держания пульта в руке. На одной из деталей предусмотрены углубления для пальцев, это обеспечивает более комфортный захват.



Рисунок 40. Сборка деталей, в которых расположена кнопка



Рисунок 41. Собранная модель пульта управления

3.3 Испытания

3.3.1 Проверка работоспособности движительно-рулевого комплекса и электронной базы в прочном корпусе:

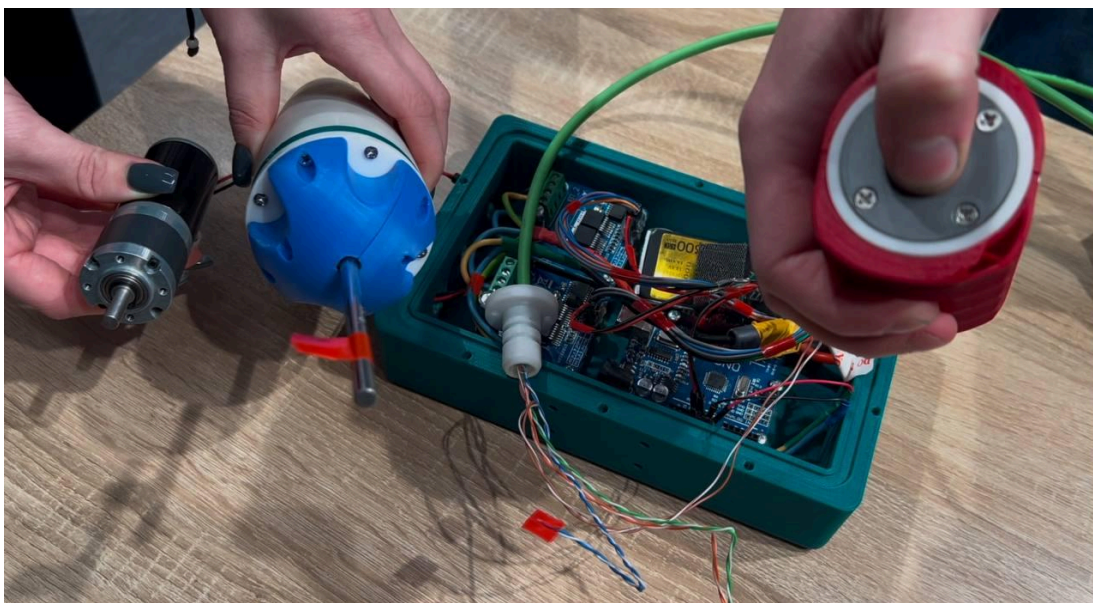


Рисунок 42. Проверка работоспособности второго прототипа

3.4 Сборка второго прототипа

Результатом работы над вторым прототип стала сборка прочного корпуса внутренней компоновкой (Рисунок 43) и сборка движительно-рулевого комплекса аппарата. В планах работы над вторым прототипом – осуществить переход к прочному корпусу в виде трубы , а также разработать легкий корпус аппарата. После чего будет осуществлена сборка прототипа и проведены испытания готового аппарата.

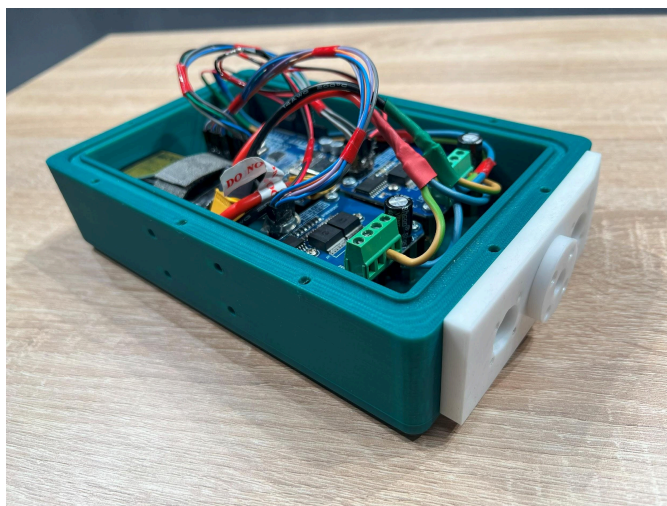


Рисунок 43. Сборка прочного корпуса с внутренней компоновкой

Заключение

В ходе работы над проектом были выполнены следующие задачи:

- Проведён обзор аналогов
- Разработан концепт устройства
- Разработаны и составлены 3D-модели двух прототипов
- Составлены перечни электрических компонентов двух прототипов
- Собраны первый и второй прототипы
- Проведены испытания первого прототипа
- Выполнен анализ испытаний первого прототипа
- Собран второй прототип СИМП

В планах на будущее стоят следующие задачи

- Разработать и изготовить легкий корпус аппарата
- Осуществить переход к прочному корпусу в виде трубы во втором прототипе
- Разработать новую систему управления и бортового компьютера
- Собрать итоговый прототип СИМП
- Провести испытания итогового прототипа СИМП

Таким образом, в результате проделанной работы было разработано средство индивидуальной мобильности в виде подводного ранца. Аппарат представляет собой устройство, которое помогает дайверам повысить скорость передвижения.

Испытания первого прототипа аппарата подтвердили работоспособность аппарата.

Список используемой литературы

- Подводные буксируемые системы : [Учеб. пособие для вузов по специальностям “Судостроение и судоремонт”] В. И. Егоров. - Ленинград
- Расчет и анализ показателей пропульсивного комплекса судна : учебно-метод. пособие к выпол. курс. работы для студ. оч. и заоч. обуч. по спец-ти 26.05.06 «Эксплуатация судовых энергетических установок» / А.А. Кеслер — Н. Новгород