

Областное государственное бюджетное общеобразовательное учреждение  
"Томский физико - технический лицей"

**ТНПА «Морской Ёж»**  
**Создание бюджетного ТНПА**

Работу выполнили:  
ученики ОГБОУ «ТФТЛ»

М.С. Цыганкова  
Г.А. Пильщиков

Наставник проекта:  
Заместитель директора по  
информационным технологиям ОГБОУ  
«ТФТЛ»

С.В. Косаченко

Томск

2024

## Содержание

<b>Введение</b>	3
<b>Основная часть</b>	5
Понятие ТНПА	5
Планирование работ	7
Разработка ТНПА	9
Разработка ПО	14
Тестирование ТНПА	15
Доработка	16
Балластировка	23
Экспериментальный образец ТНПА	24
<b>Заключение</b>	27
Анализ себестоимости	27
Результаты и анализ результатов	28
Проблемы	28
Планы на будущее	29
<b>Список использованных источников</b>	30
<b>Приложения</b>	31
<b>Ссылки и контакты</b>	37

## **Введение**

### **Актуальность**

На данный момент мировой океан изучен только на 2-5%, для изучения которого необходимы человеческие ресурсы, что может быть не только дорого, но и опасно для человеческого здоровья. ТНПА позволяет не рисковать здоровьем водолазов и при меньших вложениях, повысить эффективность изучения вод. Кроме того, 40% акватории считаются «сильно пострадавшими» от деятельности человека, ТНПА помогает очищать воды от загрязнений даже в тех местах, куда не может попасть человек.

### **Проблема**

Во многих острых ситуациях, когда у водолазов нет возможности погрузиться или необходимо провести разведку местности перед погружением, а также необходимо провести очистку сложно доступных частей водоёмов/труб от загрязнений может помочь ТНПА. Такие аппараты, представленные на рынке промышленных технологий, имеют слишком большую стоимость. Поэтому наш проект решает проблему доступности ТНПА для мелких компаний, в том числе для компаний Томской области, так как на ее территории достаточно много водоемов.

### **Круг потенциальных заказчиков / потребителей / пользователей**

Исследовательские центры вод мирового океана, центры очистки и борьбы с загрязнениями вод, компании, проводящие мониторинга внутренностей гидротехнических сооружений различной направленности, компании, производящие различные подводные съемки или подводные поисковые операции, а также просто водным исследователям.

### **Показатели назначения**

Данная разработка предназначена для предварительного осмотра подводной местности перед погружением водолазов или местности недоступной водолазам, поднятие или помощь с поднятием грузов со дна, помощь в проведении поисковых операций под водой, а также изучение подводной местности.

## **Предполагаемый результат проекта**

Командой планировалось создать бюджетный самодельный ТНПА, не уступающий аналогам по функционалу, после нескольких лет разработки желаемый результат был достигнут.

## **Команда для реализации проекта**

- 1) Пильщиков Григорий - капитан команды, программист, конструктор робота, спаял электрическую схему, подготовил чертежи для лазерной резки, создал прототип самодельных движителей на магнитной муфте. Оператор ТНПА.
- 2) Цыганкова Мария - член команды, программист, балластировала ТНПА в воде, осуществила сборку механического манипулятора, оформила постер. Кабельменеджер.
- 3) Гетагазов Беслан - член команды, программист, спроектировал и запрограммировал подводную часть робота, спаял каркас робота, создал прототип самодельных движителей на магнитной муфте. Оператор ТНПА.
- 4) Косаченко Сергей Викторович - наставник команды.

## **Цель работы**

Создать бюджетный ТНПА, функционал которого не уступает аналогам.

## **Задачи**

1. Изучение аналогов
2. Разработка ТНПА
3. Тестирование и анализ
4. Доработка

## **Основная часть**

### **Понятие ТНПА**

Телеуправляемый необитаемый подводный аппарат (ТНПА) (англ. remotely operated underwater vehicle (ROV)) — это подводный аппарат, часто называемый роботом, который управляется оператором или группой операторов (пилот, навигатор и др.) с борта судна. Аппарат связан с судном сложным грузонесущим кабелем, через который на аппарат поступают сигналы дистанционного управления и электропитание, а обратно передаются показания датчиков и видеосигналы. Пилот находится на борту судна, поэтому аппарат необитаемый.

### **Анализ существующих аналогов**

#### **Micro Underwater Robot (MUR)**

Робот российского производства, предназначенный для демонстрационных, образовательных и соревновательных целей. Такие роботы достаточно надежны для изучения вод, однако при поломке деталей починить робота самостоятельно невозможно [5]. Однако не смотря на то что такие наборы ориентированы на детей их стоимость начинается от 400.000 рублей и может достигать 3.000.000 рублей, что ставит определенный барьер для образовательных организаций.

### **Океаника**

Океаника - российская компания, специализирующаяся на производстве ТНПА. В отличие от других компаний, главная цель Океаники - это обучение, так что она фактически производит образовательные конструкторы. Пока что в ассортименте компании 3 конструктора, это: Океаника Кит (от 369.000 руб), Океаника Батискаф (от 360.000 руб), Океаника Пиранья (от 190.000 руб) [2]. Все подводные части ТНПА оснащены двигателями для передвижения, камерой, подсветкой и опциональным манипулятором.

### **Chasing ROV**

Chasing - это китайская компания, что производит телеуправляемые необитаемые

подводные аппараты. В их ассортименте есть ТНПА 2 классов: "любительские" и "профессиональные" [4]. Любительские дроны оснащены специальным бумом на поверхности воды, что передаёт и принимает информацию с берега, посредством волнового спектра. Но таковые роботы не оснащены ни манипулятором, ни какими-либо другими дополнительными средствами, они главным образом предназначены для записи видео и фотосъёмки. Стоимость подобных дронов стартует приблизительно с 80.000 рублей [3].

Профессиональные дроны оснащены обыкновенным кабелем нулевой плавучести, через который подводная часть обменивается информацией с надводной. Эти роботы уже оснащены манипуляторами, подсветкой и большим количеством сильных двигателей, однако их стоимость стартует уже с 300.000 рублей.

### **BlueRobotic**

BlueRobotics – это высокопроизводительный подводный робот, предназначенный для длительных миссий в удаленных и враждебных условиях. Благодаря векторной конфигурации с 6 двигателями, электронике, программному обеспечению с открытым исходным кодом и большим возможностям расширения. Однако цена на такой ТНПА около 3.000.000 [6] что все еще недоступно для обычных обывателей.



Рисунок 1 - MUR



Рисунок 2 - Океаника



Рисунок 3 – Chasing ROV



Рисунок 4 – BlueRobotic

## Сравнение существующих аналогов

Проанализировав некоторые аналоги и составив сравнительную таблицу (см Приложение 1) можно сделать вывод, что несмотря на то, что наш ТНПА может проигрывать аналогам в некоторых критериях, например, глубина погружения, наш аппарат все еще может выполнять многие миссии на равных, при наименьшей себестоимости.

## Планирование работ

### 1) Создание каркаса/основы

Необходимые ресурсы/компоненты: полипропиленовые трубы, сварочный аппарат для пластиковых труб.

Промежуточный результат: готовый каркас для робота.

### 2) Разработка и компоновка движителей

Необходимые ресурсы/компоненты: источники информации о строении магнитных муфт и подводных движителей, разъемы ip68, ноутбук (для моделирования), пластик, 3D принтер, неодимовые магниты.

Промежуточный результат: каркас робота с рабочими движителями.

### 3) Разработка бокса для контролера ТНПА

Необходимые ресурсы/компоненты: пищевой контейнер, разъемы ip68, Arduino Duemilanove or Diecimila, драйверы для движителей.

Промежуточный результат: рабочая подводная часть робота.

### 4) Установка камеры

Необходимые ресурсы/компоненты: водопроводная труба, оргстекло, ЧПУ станок, герметик, разъемы ip68, автомобильная камера заднего вида.

Промежуточный результат: полностью готовая подводная часть робота.

### 5) Сборка кабеля:

Необходимые ресурсы/компоненты: кабель (2 шт. по 6 мм<sup>2</sup>, 1 шт. для камеры, 2 шт. по 0,25 мм<sup>2</sup>), пеноплекс для плавучести, вилка ШР20П5НГ10.

Промежуточный результат: подводная часть робота с кабелем для передачи информации между подводной и надводной части роботов.

### 6) Разработка кейса оператора

Необходимые ресурсы/компоненты: ноутбук (для разработки чертежей), ЧПУ станок, фанера, блок питания, экран для камеры заднего вида, розетка ШР20П5ЭГ10Н.

Промежуточный результат: готовый кейс оператора.

7) Разработка ПО для ТНПА

Необходимые ресурсы/компоненты: ноутбук, кабель для программирования.

Промежуточный результат: рабочий экспериментальный образец ТНПА.

8) Балластировка

Необходимые ресурсы/компоненты: ножки от сломанных стульев, арматура, неодимовые магниты.

Промежуточный результат: ТНПА с нулевой плавучестью.

9) Тестирование и анализ результатов

Необходимые ресурсы/компоненты: бассейн около мастерской (для тестирования на герметичность и управляемость), большой бассейн (для тестирования манёвренности), большой бассейн с разработанными миссиями (для тестирования функционала).

Промежуточный результат: выявленные плюсы/минусы текущей версии ТНПА.

10) Доработка и усовершенствование

Необходимые ресурсы/компоненты: в зависимости от того, что будем улучшать.

---

ИТОГ: Экспериментальный ТНПА «Морской Ёж»



## Разработка 1-й версии ТНПА

### Разработка подводной части

#### Каркас робота

Каркас робота определяет форму, габариты и расположение компонентов у ТНПА. Сделали же мы его из полипропиленовых труб, потому что они относительно недорогие, лёгкие и удобные для сварки. Сами же габариты у каркаса мы решили взять универсальные, чтобы хватило места с запасом под движители, камеру, бокс для электроники и т.д. По нашим расчётам они должны были равняться 300мм x 300 мм x 200 мм.

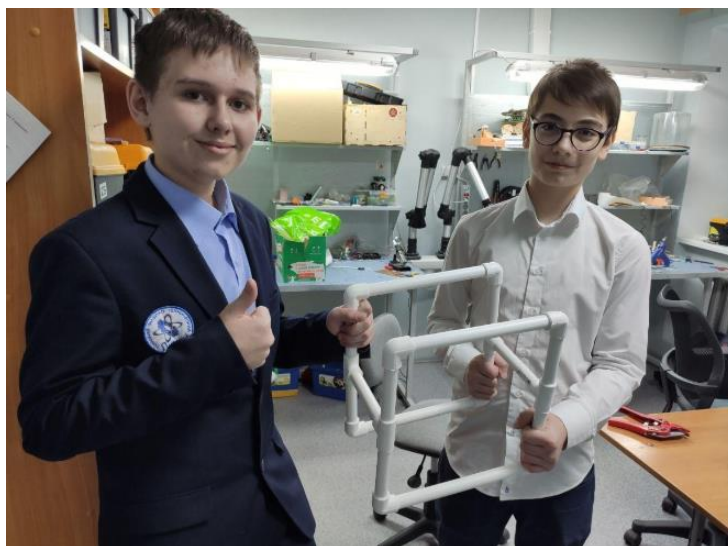


Рисунок 5 – Каркас робота

#### Разработка и компоновка движителей

Изначально команда планировала создать собственные движители для робота. В качестве корпуса наших движителей использовалась обычная водопроводная труба. С обеих сторон которой находились заглушки. В одной из них мы проделали отверстие под герметичный разъём ip68 для вывода кабеля питания движка из его корпуса.



Рисунок 6 – Водопроводные трубы и заглушки для движителей

Основой принципа действия нашего движителя послужила магнитная муфта [1]. Внутри корпуса, на валу двигателя располагалась насадка с неодимовыми магнитами, с чередующейся полярностью. Снаружи же мы создали пропеллер, так же с чередующимися неодимовыми магнитами.

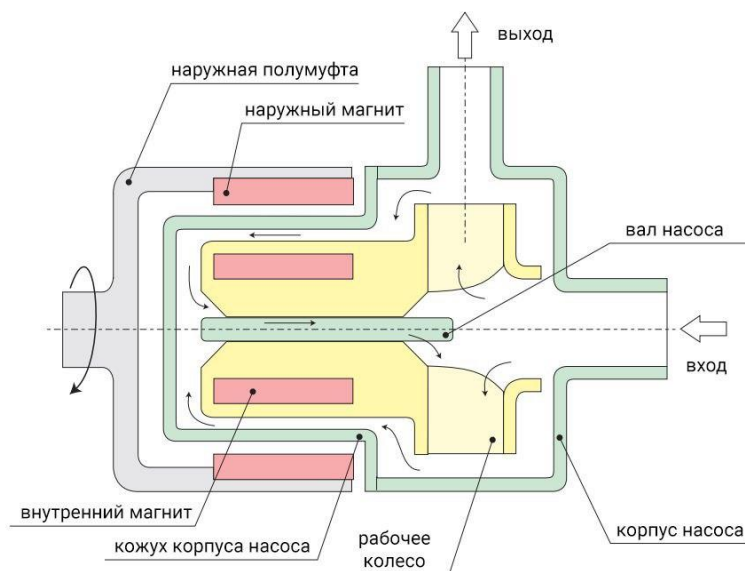


Рисунок 7 – Принцип работы магнитной муфты

Тут у команды появился вопрос: "Как крепить внешний пропеллер"? Вся беда заключается в том, что материал водопроводных труб крайне химически устойчив, и его не берут никакие клеи. Первой идеей было создание внешней оси, крепящейся к корпусу движителя, но вскоре от неё отказались, из-за слишком малой точности. После этого было решено прибегнуть к единственному способу закрепления оси на крышке - плавка. Для начала, осколки этих труб нагревались в специальной ёмкости, изготовленной из стальной трубы, посредством строительного фена и выдавливались в специальную форму оси, выточенной в бронзовой болванке на токарном станке. Далее с помощью обычного паяльника пытались припаять ось к центру окружности заглушки. Этим была вызвана огромная проблема: получилось изготовить только 1 опытный образец работающего движителя, но из-за неточностей его КПД оказался крайне низким, в связи с чем мы и были вынуждены перейти на альтернативный, покупной вариант от BlueRobotics.

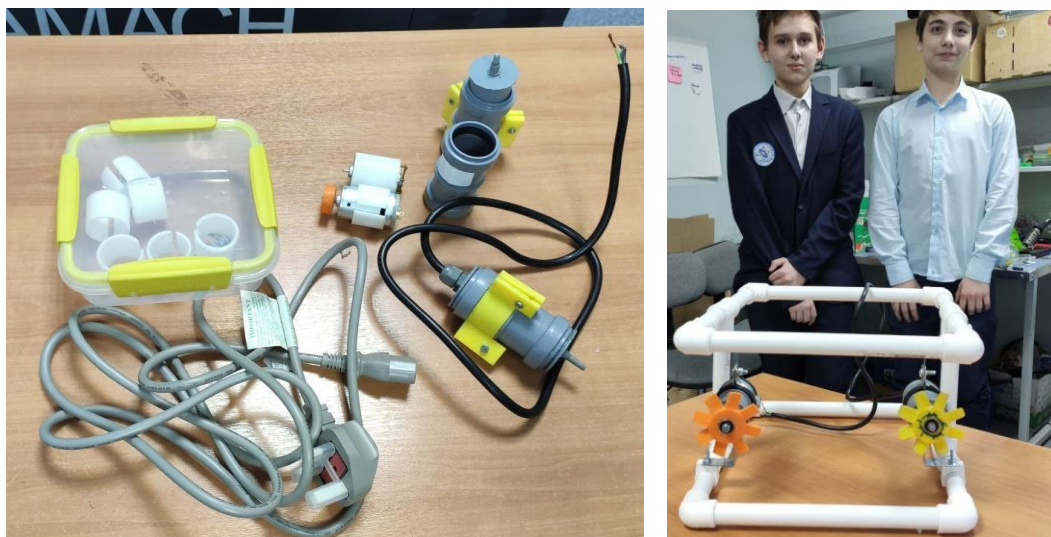


Рисунок 8-9 –Прототипы самодельных двигателей (правый – рабочий)

### Разработка бокса для контроллера

Далее следовал бокс с контроллером робота. Его мы решили изготовить из бокса для пищевых продуктов с резиновой прокладкой, так как он был герметичным и оптимальным по соотношению цена/качество, и был чуть ли не единственным доступным вариантом. Кабель от надводной части к боксу надо было провести, закрепить и загерметизировать. Мы решили придумать своё крепление кабеля к боксу. Мы купили в магазине гермоввод IP54 и залили его эпоксидной смолой с затвердителем, чтобы вода не попала в бокс.

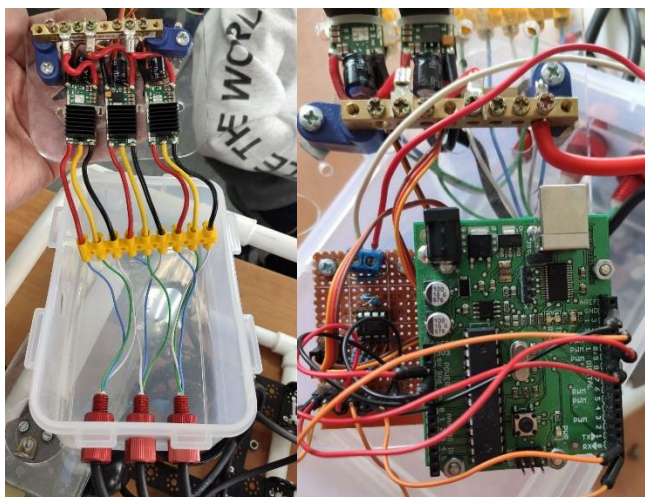


Рисунок 10-11 Внутреннее устройство бокса для контроллера

### Установка камеры

После бокса следовала камера, которую решено было поместить в полипропиленовую трубу из-за герметичности. Эта труба по заявленным характеристикам может выдерживать 0.5 атмосфер, что примерно равносильно 5 метрам глубины. Камеру заднего вида мы взяли от автомобиля формата av, потому что она аналоговая и этим обеспечивается простота подключения. Для её питания нужно 12 Вольт. Мы закрыли отверстие трубы на герметики орг. стеклом, так как его удобно резать, и сделали провод с гермовводом IP68, чтобы обеспечить хорошую герметичность.



Рисунок 12 – Автомобильная камера заднего вида



## Итог

В результате разработки команда получила первую версию подводной части экспериментального ТНПА «Морской Ёж». Позже при тестировании 1-й версии ТНПА были добавлены крючки для выполнения первых миссий.

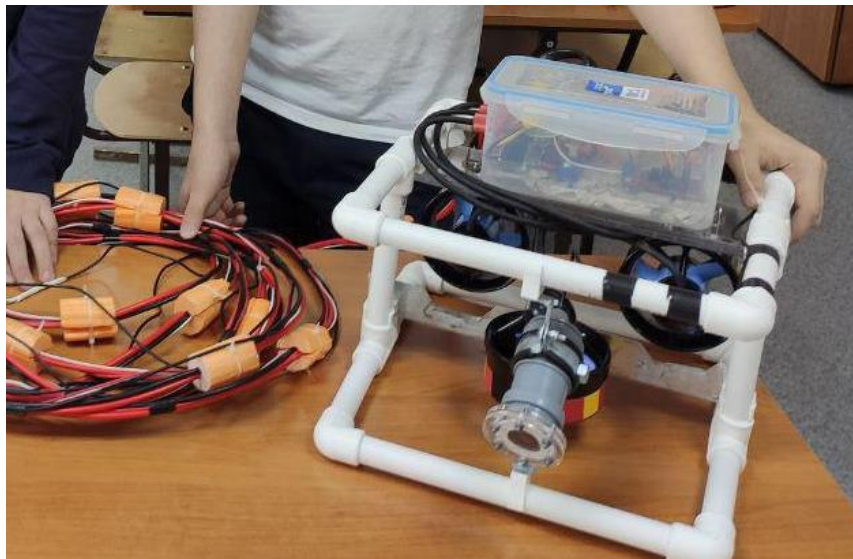


Рисунок 13 – Подводная часть робота. Версия 1

## Разработка надводной части робота

### Изготовление кейса оператора

После подводной части мы начали делать надводную (кейс). Делать его было решено из того что есть под рукой — фанеры. Вырезав необходимые части для сборки с заранее заготовленными отверстиями под выходы и монитор. Габариты кейса основывались на размере блока питания и того, сколько ещё места нужно всем остальным комплектующим.



Рисунок 14 – Кейс оператора

## Изготовление джойстиков

Далее перешли к джойстикам, которые решено было купить б/у, так как стоили они дешевле и всё равно мы их перепаявали, подключившись к потенциометрам.

## Итог

В результате этого этапа получилась готовая надводная часть робота.

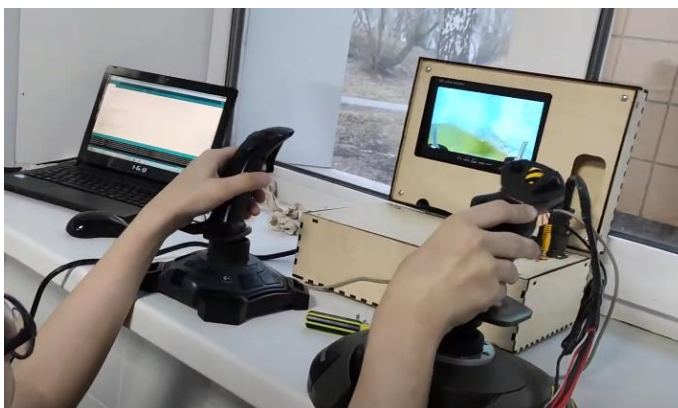


Рисунок 15 – Надводная часть робота. Версия 1

## Разработка ПО

ПО в нашем случае это программы для Arduino (подводной и надводной), они были связаны портом serial. Сначала нам нужно было прописать протокол передачи данных, посредством которого они и должны общаться. Мы просто отправляли с верхней arduino значение на движителях в следующем формате: «А....» - если мы хотели передать значение вращения на левый движитель, где сначала стоит А, следом - число, соответствующее этому значению, где 1100 - нижний порог, то есть полный "назад", 1900 - полный "вперёд", а 1500 - состояние покоя, на правый движитель мы ставим перед числом букву В, а на вертикальный - С. Но как же мы определяем это значение? Мы просто считываем значение осей с потенциометров в джойстиках, переводим их в удовлетворимые нам, и с помощью специальных формул преобразуем их в скорости для движителей. Нижняя же arduino принимает этот поток данных, находит эти буквы (А, В, С), если после них стоит число, то подаёт текущую скорость на соответственный движитель.

Фрагмент кода для управления движителями:

```
int joy_UpDn = analogRead(A0);
int joy_LeftRight = analogRead(A2);
int joy_ForwardBack = analogRead(A1);
int joy1 = map(joy_UpDn,920,135,1100 + coff,1900 - coff);
int joy2 = map(joy_ForwardBack,0,910,1100 + coff,1900 - coff);
int joy3 = map(joy_LeftRight,0,910,1100 + coff,1900 - coff);
```

```

if(joy1<1525 && joy1>1475){
    joy1 = 1500;
}
if(abs(oldjoy - joy1) > 5){
    t = millis();
    Serial.print("C");
    if(joy1 < 1475){
        Serial.print(joy1 + 25);
    }
    else if(joy1 > 1525){
        Serial.print(joy1 - 25);
    }
}
else{
    Serial.print(joy1);
}
Serial.println(" ");
oldjoy = joy1;
int motor_a = joy3 - joy2 + 1500; //Формула преобразования значений потенциометров в скорости
int motor_b = joy2 + joy3 - 1500; //Формула преобразования значений потенциометров в скорости

```

### Тестирование 1-й версии ТНПА

Самые первые тесты производились в нашем бассейне ТФТЛ, размеры которого: 2 м. в длину, 1 м. в ширину и 0,5 м. в глубину. Благодаря этому мы смогли наладить необходимый нам уровень плавучести у робота и у кабеля. Также мы тестировали эту версию робота в таком водоёме, как Белое озеро. После тестов было выявлено, что при запуске в подобной местности на движители необходимо установить защиту, ибо в каждый из них забивалось огромное количество водорослей. Впоследствии, по мере пилотирования этого аппарата, были сделаны следующие заключения: у этой версии было очень шаткое крепление для камеры, поэтому она постоянно смотрела под различными углами, что требовало изменений. Была острая необходимость в повороте этой самой камерой для удобства, помимо этого выяснилось, что не все элементы состязаний можно было без проблем достать крючком, а в некоторых случаях, это было и вовсе невозможно, следовательно, появилась потребность в манипуляторе.

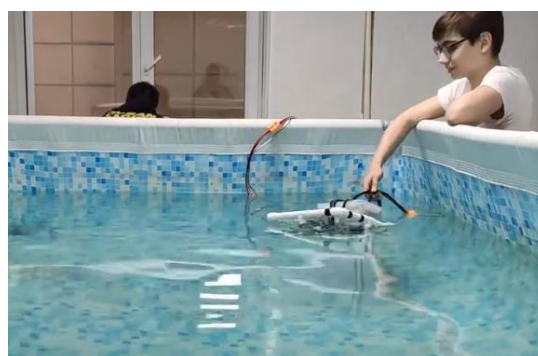


Рисунок 16-17 Пильщиков Григорий и Гетагазов Беслан тестируют 1-ю версию ТНПА»

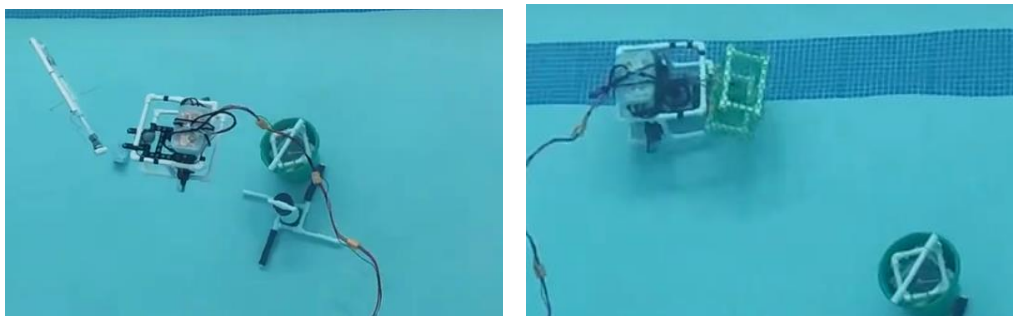


Рисунок 18-19 1-я версия ТНПА «Морской Ёж» выполняет свою первую миссию в г. Новосибирск

## Доработка 1-й версии ТНПА

### Разработка движущейся камеры

После тестирования 1-й версии ТНПА команда начала добавлять функционал роботу, и первое нововведение - это движение камеры. Для того что бы она могла вращаться по вертикальной оси мы использовали серводвигатель, а для того что бы что-либо увидеть нужен стеклянный сосуд округлой формы, этим сосудом стала обыкновенная кружка. Она стянута с 2 сторон заглушками из оргстекла. Так же для герметичности используется автомобильный герметик, который наносится на выходную заглушку. Наша камера крепиться к валу серводвигателя, который вмонтирован в оргстекло. В свою очередь заглушка имеет отверстие под разъём Ir68



Рисунок 20 – Герметичный корпус для камеры

### Создание манипулятора



Первый манипулятор (и по совместительству, как окажется в дальнейшем, самый успешный) базировался на гидравлике. Выбор пал на этот принцип действия, ибо мы не хотели использовать магнитную муфту, т.к. у нас уже был с ней неудачный опыт, а других способов смыкать и размыкать клешню мы в тот момент не обнаружили. В чём состояла суть конструкции манипулятора: корпус был опять выполнен из полипропиленовых труб, с 2 заглушками по концам, разъем ip68 с обоих концов, с одной стороны - смыкает провод, с другой - сосуд с водой. Двигатель внутри трубы вращает ось, на оси находится приваренная к каретке гайка, она с кареткой при вращении перемещается либо вперёд, либо назад. К каретке с другой стороны подсоединён шток шприца, при вращении оси он двигался. Этот шприц через сосуд соединен с другим – снаружи, что своим штоком управляет клешнями из орг. стекла, которые позже были покрашены в черный цвет, для лучшей видимости в воде.

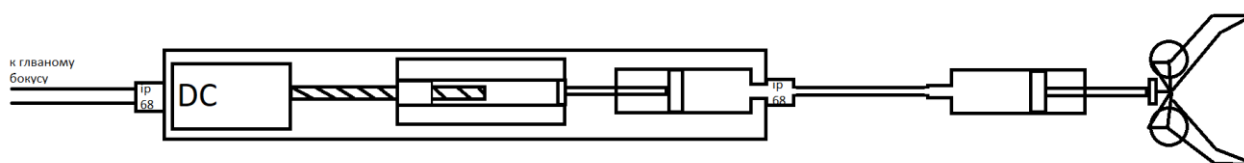


Рисунок 21 – устройство манипулятора



Рисунок 22 – Внутреннее устройство манипулятора



Рисунок 23 – Клешни манипулятора



Рисунок 24 – Манипулятор в собранном виде

## Доработка кейса оператора

Для того чтобы оператор мог смыкать и размыкать манипулятор в кейс оператора были добавлены соответствующие кнопки, а также кнопки регулировки скорости двигателей и сжатия/разжатие манипулятора.



Рисунок 25 Улучшенная версия кейса оператора



Рисунок 26 Вид манипулятора со стороны оператора

### Доработка ПО

Когда появилась камера, способная двигаться, появились соответствующие им кнопки на кейсе, а также в тот период мы решили поставить регулятор скорости, точно так же посредством кнопок. Регулятор работал следующим образом - он просто преобразовывал диапазон значений в большую сторону или меньшую, к примеру - по умолчанию диапазон значений, подаваемых на двигатели составляет 1300-1700, при нажатии на кнопку, со знаком "плюс", он увеличиться на 100: 1250-1750, но если нажать на "-", то уменьшиться на 100: 1350-1650. Понятное дело этот диапазон ограничен значениями 1100-1900, т.к. это пределы подаваемых значений на двигатели. После добавления манипулятора нам пришлось в протокол добавить новую букву - D, после него следовало значение со знаком - или без знака, оно показывало в какую сторону и с какой скоростью будет вращаться ось гидравлического манипулятора, а следовательно - и сжатие/разжатие. Для поворота камеры была добавлена буква - E, и следующее за ним число показывало угол поворота сервопривода, от 0 до 180.

Фрагмент кода для управления манипулятора:

```
int button1_camera_up = digitalRead(4);
int button2_camera_centre = digitalRead(5);
int button3_camera_dn = digitalRead(3);
int button4_manipulator_shvat = digitalRead(2);
int button5_manipulanor_rashvat = digitalRead(6);
int button6_power_plus = digitalRead(9);
int button7_power_standart = digitalRead(8);
int button8_power_minus = digitalRead(7);
```

```
if ( button4_manipulator_shvat == 1){  
    Serial.print("E");  
    Serial.print(99);  
    Serial.println(' ');  
  
    while(button4_manipulator_shvat == 1){  
        delay(10);  
        button4_manipulator_shvat = digitalRead(5);  
    }  
}
```

## Итог

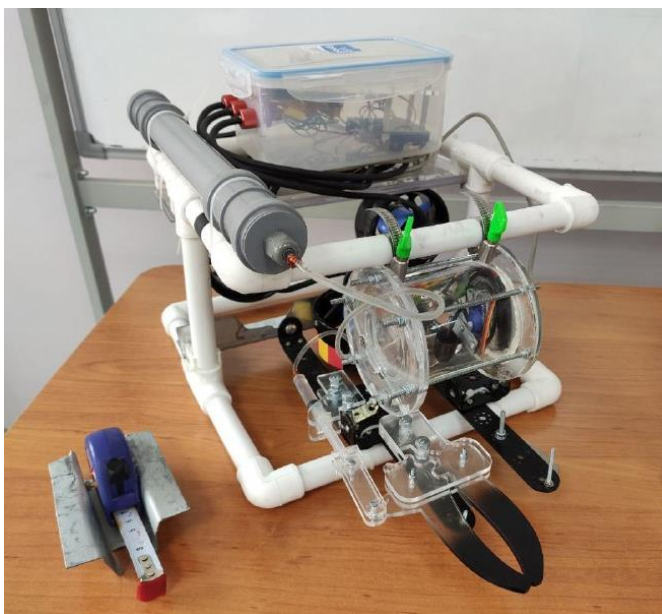
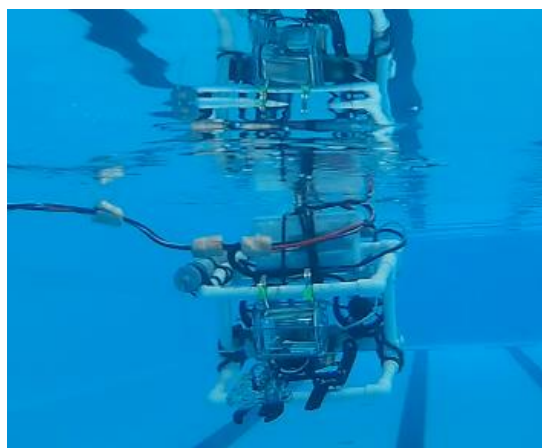
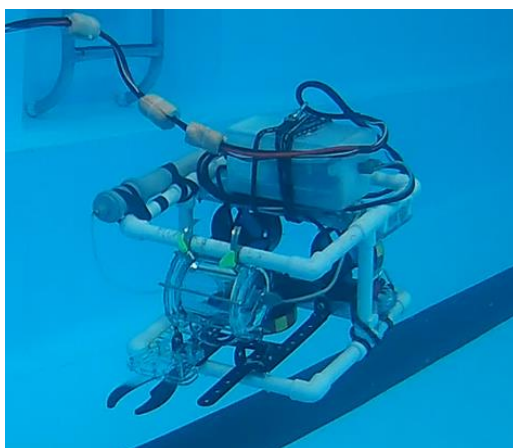


Рисунок 27 – Подводная часть робота Версия 2

### Тестирование 2-й версии ТНПА

Тестирование данного манипулятора происходило так же в нашем бассейне ТФТЛ и непосредственно на соревнованиях. В ходе этого тестирования было выявлено следующее: Из плюсов: манипулятор функционировал, схват был вполне жёстким. Из минусов: форма клешней (из-за её специфики мелкие объекты либо было очень сложно схватить, либо невозможно), скорость сжатия/разжатия была очень низкой, а также у нас отсутствовали какие-либо логические ограничители в конструкции и так как двигатель в манипуляторе стоял очень сильный, при чрезмерной прокрутке вала, конструкция внутри корпуса могла сломаться.



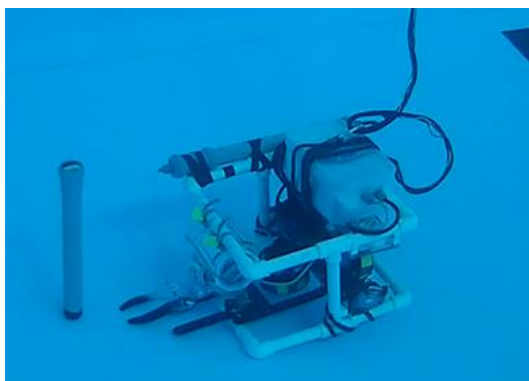


Рисунок 28-31 Тестировка 2-й версии ТНПА в бассейне г.Асино



Рисунок 32 ТНПА «Морской Ёж» выполняет миссию в г. Владивосток



## Доработка 2-й версии ТНПА

### Создание 2-й версии манипулятора

После тестирования и анализа 2-й версии робота было принято решение сделать новый экспериментальный механический манипулятор-руку, который будет сделан из не скользящего материала, быстрее по сжатию/разжатою, легче в обслуживании, иметь более 2-х точек схвата и с возможностью доработки 2-й оси вращения. В качестве основного механизма были выбраны похожие клешни, которые приводятся в движение с помощью шестерней и моторчика. В качестве не скользящего материала была выбрана диэлектрическая перчатка, так как она не проскальзывает и достаточно водонепроницаемая. Сначала мы начертили все шестерни, вырезали их на станке ЧПУ и собрали внутренний механизм манипулятора



Рисунок 33 Чертеж клешней манипулятора



Рисунок 34 Сборка внутреннего механизма манипулятора

После того как мы собрали и протестировали силу и скорость схвата, мы начали делать внешнюю часть манипулятора. Для крепления перчатки использовался пищевой контейнер с отверстием под разъем ip68, который прочно зафиксировали медицинским жгутом и начали испытывать корпус на водонепроницаемость.



Рисунок 35-36 Тестирование корпуса манипулятора на водонепроницаемость

После того как корпус прошел испытания на водонепроницаемость мы выбрали подходящее (самое удобное для оператора) положение, сделали крепление на роботе из водопроводных труб и зафиксировали манипулятор.

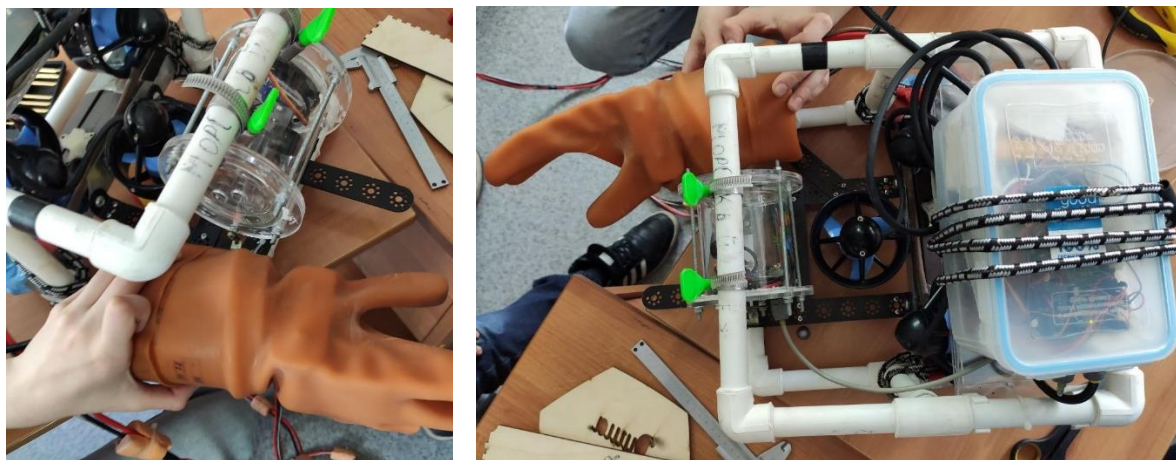


Рисунок 37-38 Установка манипулятора

### Тестирование 3-й версии ТНПА

Первые тесты 3-й версии робота также проходили в бассейне ТФТЛ. После, были тренировки на соревнованиях в г. Новосибирске. Проанализировав все испытания была выявлена проблема «чрезмерной резкости» в движениях, а также трудности захвата и поднятия мелких предметов со дна.

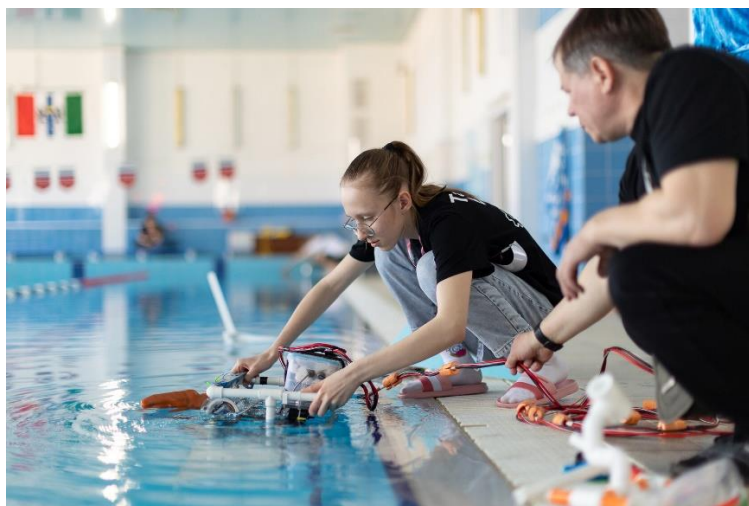


Рисунок 39 Цыганкова Мария и Косаченко Сергей тестируют ТНПА в г. Новосибирск

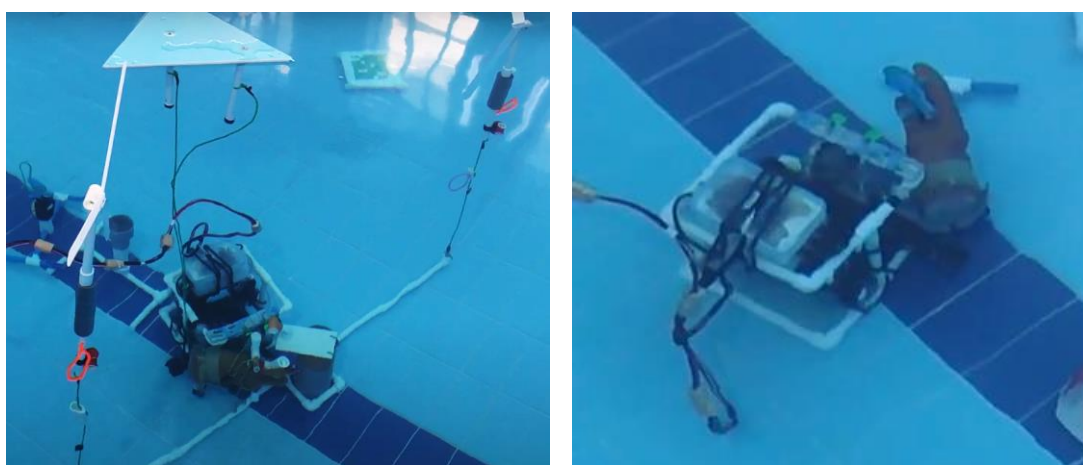


Рисунок 40-41 ТНПА «Морской Ёж» выполняет миссию

## Балластировка

Перед любым тестированием ТНПА (кроме тестирования на герметичность) было необходимо проводить балластировку – установку необходимого уровня плавучести, так как управлять постоянно тонущем или всплывающим ТНПА невозможно. Сначала, еще при разработке робота, на кабель при помощи стяжек были прикреплены куски пеноплекса, что создавало нулевую плавучесть кабеля. Для балластировки самого ТНПА использовались списанные ножки от стульев, они полые и поэтому мы положили туда ненужных гаек и других тяжелых металлических предметов, а для избегания попадания внутрь воды и появления ржавчины мы запаяли концы ножек пластиковыми бутылками при помощи строительного фена. И на первых этапах разработки, этого балласта было достаточно. Позже, к ножкам стульев добавился кусок небольшой выброшенной арматуры сзади и дополнительные ножки спереди, где мы решили наоборот просверлить отверстия в заглушках (при погружении кабельменеджер вливает туда воду, следовательно, масса



увеличивается).

На этапе разработки 3-й версии робота с добавлением перчатки появились изменения плавучести (при погружении она сжимается – плавучесть больше в минус, при всплытии разжимается – плавучесть в плюс), поэтому мы прикрепили металлические пластины, куда мы стали добавлять неодимовые магниты разной массы, это нововведения позволяют легко и быстро балластировать ТНПА прям в бассейне.

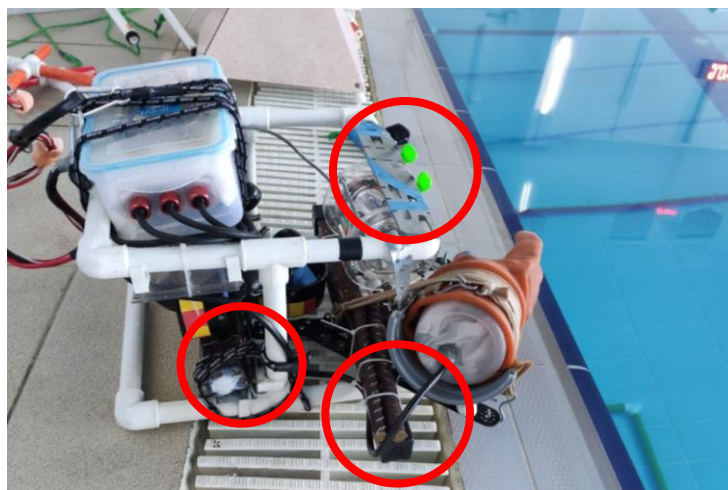


Рисунок 42 – Элементы баллаستировки ТНПА (отмечены красным)

### Итоговая экспериментальная 3-я версия ТНПА «Морской Ёж» (Рис 43-45)

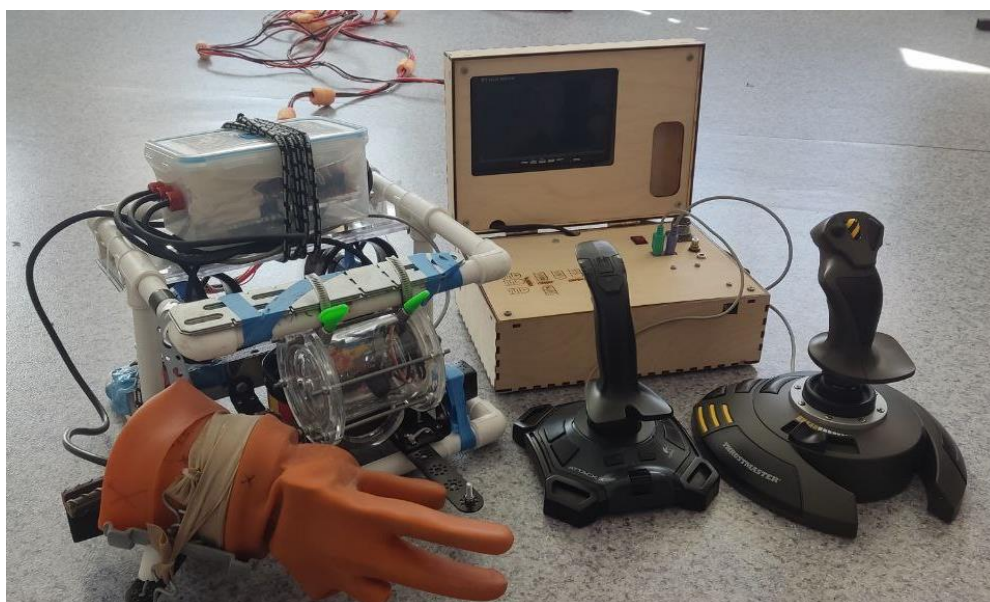


Рисунок 43

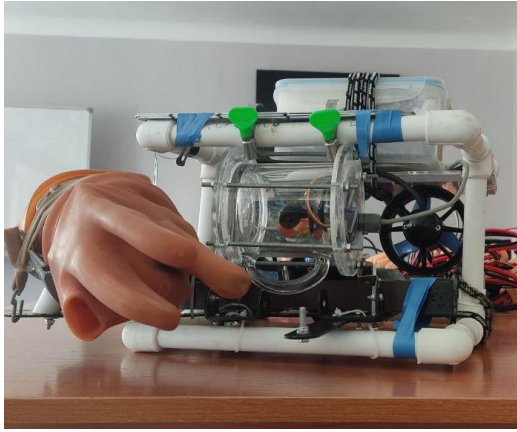


Рисунок 44

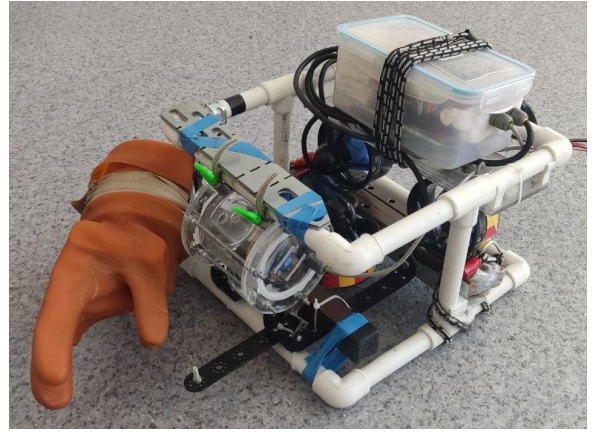


Рисунок 45

## Заключение

### Анализ себестоимости ходовой части робота

Название компонента	Стоимость компонента	Количество	Итоговая стоимость, руб
Двигатель T200 Thruster	13.437,53 руб	3 шт.	40.312,59
Кабель, сечение 6 кв. мм	50 руб за 1 м	20 м	1000
Кабель, сечение 0.25 кв. мм	8 руб за 1м	20 м	160
Разъём (вилка отдельно и розетка) Розетка ШР20П5ЭГ10Н блочная без корпуса, Вилка ШР20П5НГ10	25 руб за вилку, 25 руб за розетку	По одной розетке и вилке	50
Блок питания Kejjan S-800-12 (12В, 66.6А) на 800 Ватт	4.199	1 шт.	4.199
Полипропиленовые трубы (диаметр 20 мм)	2 м по 120 руб	6 м	360
Уголки полипропиленовые	15 руб	8 шт.	120
Т-соединители полипропиленовые	20 руб	4 шт.	80
Камера av 12 вольт	497,61 руб (со скидкой 25%)	1 шт.	497,61
Бокс для еды с резиновой прокладкой	140 руб	1 шт.	140
Freeduino	700 руб	2 шт.	1.400
Телевизор TFT LCD 7 дюймов для AV камеры	2.339,15 руб	1 шт.	2.339,15
Джойстики, б/у	500 руб	2 шт.	1.000
Вся стоимость			51.658,35

Анализ: таким образом, нам удалось заметно сократить себестоимость ТНПА, при этом, после предварительных подсчетов себестоимостей всех видов манипуляторов и других улучшений, себестоимость возрастает не более, чем на (1.500-2.000) руб

## **Результаты и анализ результатов**

### **Достигнутые результаты**

Команда достигла желаемого результата, был разработан и протестирован рабочий экспериментальный образец ТНПА «Морской Ёж». При тестировании ТНПА на Белом озере Томской области был установлен наш личный рекорд по длительности погружения – 30 минут. В 2023 году командой был проведен мастер класс по подводной робототехнике в г. Асино Томской области. А также команда несколько раз поучаствовала и в окружных и во всероссийских соревнованиях по подводной робототехнике.

### **Проблемы, с которыми мы столкнулись на этапе реализации**

Первой проблемой, с которой мы столкнулись на этапе реализации, было то, что наши двигатели слишком мощные для текущей конструкции и движения получаются очень резкими, вследствие чего, управлять роботом было довольно трудно. Во - первых мы немного оптимизировали передачу значений с одной на другую arduino, во-вторых решили ограничить программно максимальный диапазон, а также для того, чтобы в случае необходимости можно было уменьшить или увеличить силу тяги двигателей, вынесли соответствующие кнопки.

Следующей проблемой можно выделить протечки, что случались во время тестирования. Мы сделали датчик протечки в нижнем кейсе, что располагался на самом дне контейнера и в случае протечки лазер в боксе загорается и сообщает кабельменеджеру о проблеме. Протечки были вызваны 2 факторами: не надёжно затянутым разъёмом-пенетратором ip54, под главный кабель, и качеством некоторых кабелей, что мы использовали для соединения главного блока с манипулятором. Как оказалось, некоторые шнуры для питания компьютеров, могут быть сверх гладкими, что и создавало нашу проблему. Позже, она была решена уплотнением кабеля в местах стыка с разъёмом ip68 посредством уплотнительной сантехнической ленты.

## **Планы на дальнейшую доработку**

При тестировании 3-й версии робота оказалось, что при помощи механического манипулятора мы решаем проблему выскальзывания предметов и недостаточного количества клешней, однако при такой конструкции захватывать маленькие предметы стало очень сложно. Поэтому было решено сделать еще одну версию манипулятора, работающего на гидравлике, но без минусов, присутствующих у 1-й версии манипулятора.

Нам не удалось решить проблему «чрезмерной резкости» движения робота, мы предположили, что проблема заключается в драйверах и их нужно менять.

## **Благодарности**

Мы благодарим Томский Физико-Технический Лицей за предоставление мастерской и движителей, также благодарим команду Enigma за передачу опыта, знаний и некоторых деталей. Благодарим компанию ТЭК за предоставленный сертификат, который позволил нашей команде инвестировать в детали для робота, фирму Веллком за возможность обменять сертификат на необходимый блок питания. Благодарим Макарову Наталью Сергеевну за помощь в редактировании текста. А также мы хотим выразить отдельную благодарность нашему наставнику Косаченко Сергею Викторовичу, за хорошие идеи и помощь с решениями проблем.

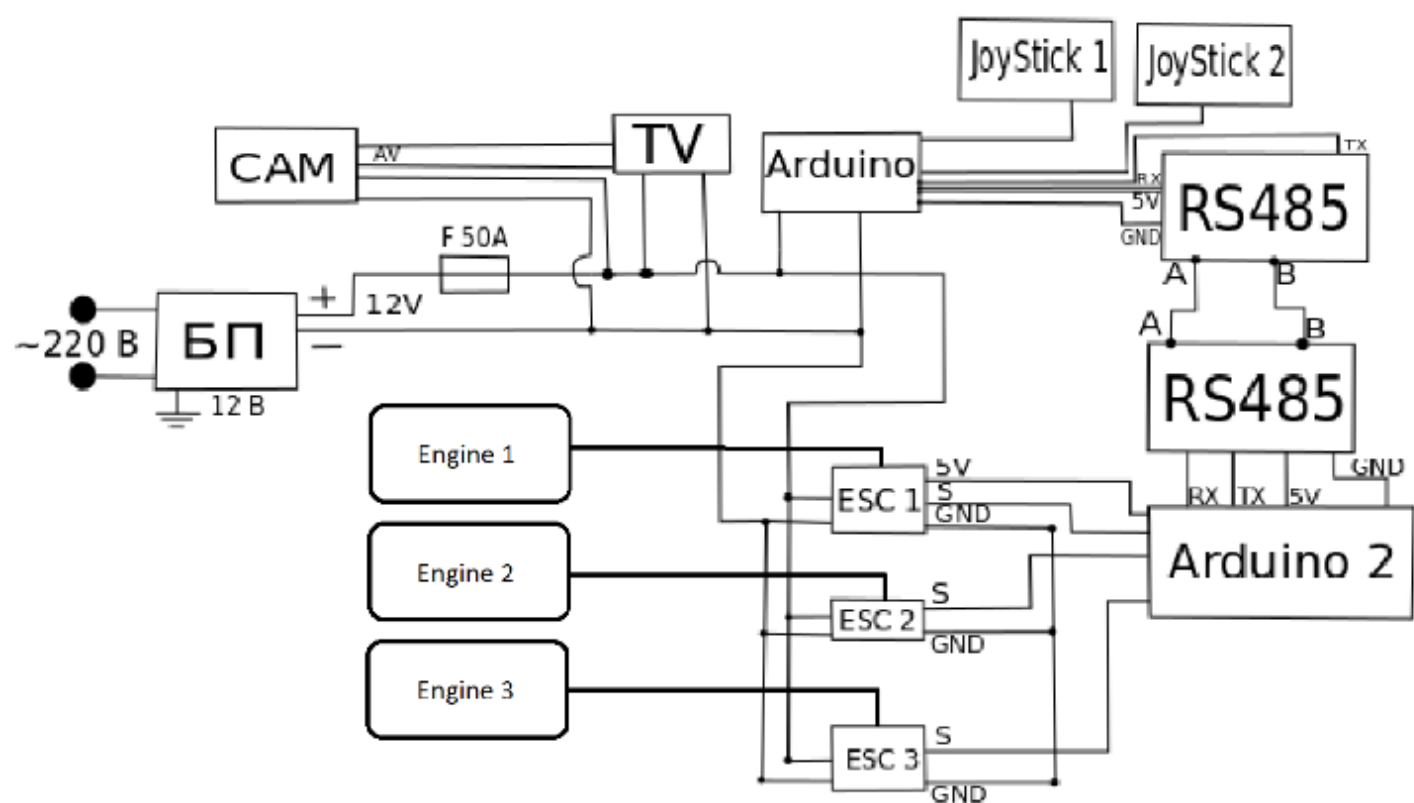
### **Список использованных источников**

- [1] <https://ytspumps.ru/info/articles/printsip-deystviya/magnitnaya-mufta-printsip-raboty-ustroystvo-ekspluatatsiya/> (последняя дата обращения: 17.01.24)
- [2] <https://www.oceanika.ru/roboty> (последняя дата обращения: 12.12.23)
- [3] <https://glazamidrona.ru/gladius/podvodnyy-dron-chasing-dory/> (последняя дата обращения: 12.12.23)
- [4] [https://www.chasing.com/en\\_](https://www.chasing.com/en_) (последняя дата обращения: 12.12.23)
- [5] <https://murproject.com/> (последняя дата обращения: 12.12.23)
- [6] <https://bluerobotics.com/product-category/rov/> (последняя дата обращения: 12.12.23)

## Приложение 1 – Сравнительная таблица аналогов

Робот	Средняя стоимость, руб.	Макс. глубина погружения, м.	Длина кабеля, м.	Габариты, см^3	Комплектация
MUR	1.800.000	20	20	29*29*29	Конструктор. Наличие манипулятора - в зависимости от конструктора, 3 или 4 движителя (в зависимости от конструктора), камера с поворотом, кейс оператора – резиновый, джойстик с маленькими стиками, датчик глубины.
Океаника	300.000	5	5	32*29*14	Конструктор. Наличие манипулятора – в зависимости от конструктора, 5 движителей, камера с поворотом джойстики с маленькими стиками, коммуникационный буй, подсветка.
Chasing ROV	450.000	100	100	38*27*17	В сборе. Наличие манипулятора – в зависимости от набора, 8 движителей, камера, FPV джойстики, консоль для управления, лазерный дальномер, LED подсветка.
Blue Robotics	2.500.000	100	25-300	46*34*25	Конструктор. Наличие манипулятора – в зависимости от конструктора, 6 движителей, камера с поворотом, джойстики с маленькими стиками, компас, барометр, подсветка.
Морской Ёж	54.000	5	10	20*30*30	В сборе. Манипулятор – гидравлика/механический, 3 движителя, камера с поворотом, полноценные джойстики.

## Приложение 2 – Электрическая схема ходовой части ТНПА





### Приложение 3 – Исходная программа для надводной Arduino v1.1

```
int D = 44;
int coff = 200;
int oldjoy = 1500;
int oldmotor_b = 1500;
int oldmotor_a = 1500;
int oldservo = 44;
uint32_t t;

void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  Serial.begin(9600);
  Serial.print("D");
  Serial.println(44);
  Serial.print("C");
  Serial.println(1500);
  Serial.print("B");
  Serial.println(1500);
  Serial.print("A");
  Serial.println(1500);
  pinMode(2,INPUT);
  pinMode(3,INPUT);
  pinMode(4,INPUT);
  pinMode(5,INPUT);
  pinMode(6,INPUT);
  pinMode(7,INPUT);
  pinMode(8,INPUT);
  pinMode(9,INPUT);
}

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
  int button1_camera_up = digitalRead(4);
  int button2_camera_centre = digitalRead(5);
  int button3_camera_dn = digitalRead(3);
  int button4_manipulator_shvat = digitalRead(2);
  int button5_manipulanor_rashvat = digitalRead(6);
  int button6_power_plus = digitalRead(9);
  int button7_power_standart = digitalRead(8);
  int button8_power_minus = digitalRead(7);
  if(button4_manipulator_shvat == 1){
    Serial.print("E");
    Serial.print(99);
    Serial.println(' ');
    while(button4_manipulator_shvat == 1){
      delay(10);
      button4_manipulator_shvat = digitalRead(5);
    }
  }
  if(button5_manipulanor_rashvat == 1){
    Serial.print("E");
    Serial.print(-99);
    Serial.println(' ');
    while(button5_manipulanor_rashvat == 1){
      delay(10);
```

```

        button5_manipulanor_rashvat = digitalRead(6);
    }
}
if(button2_camera_centre == 1){
    D = 44;
}
I f(button1_camera_up == 1){
    D = D + 2;
    delay(100);
}
if(button3_camera_dn == 1){
    D = D - 2;
    delay(100);
}
if( D > 175){
    D = 175;
}
if( D < 5){
    D = 5;
}
if(abs(oldservo - D) > 1){
    Serial.print("D");
    Serial.print(D);
    Serial.println(' ');
    oldservo = D;
}
if (button7_power_standart == 1){
    coff = 200;
}
if(button6_power_plus == 1){
    coff = coff + 50;
    while(button6_power_plus == 1){
        delay(10);
        button6_power_plus = digitalRead(9);
    }
}
if (coff > 300){
    coff = 300;
}
if(coff < 0){
    coff = 0;
}
int joy_UpDn = analogRead(A0);
int joy_LeftRight = analogRead(A2);
int joy_ForwardBack = analogRead(A1);
int joy1 = map(joy_UpDn,920,135,1100 + coff,1900 - coff);
int joy2 = map(joy_ForwardBack,0,910,1100 + coff,1900 - coff);
int joy3 = map(joy_LeftRight,0,910,1100 + coff,1900 - coff);
joy1 = (joy1 + oldjoy) / 2;
if(joy1<1525 && joy1>1475){
    joy1 = 1500;
}
if(abs(oldjoy - joy1) > 5){
    t = millis();
    Serial.print("C");
    if(joy1 < 1475){
        Serial.print(joy1 + 25);
    }
}

```

```

    }
    else if(joy1 > 1525){
        Serial.print(joy1 - 25);
    }
    else{
        Serial.print(joy1);
    }
    Serial.println(" ");
    oldjoy = joy1;
}
int motor_a = joy3 - joy2 + 1500;
int motor_b = joy2 + joy3 - 1500;
if (motor_b > 1900 - coff){
    motor_b = 1900 - coff;
}
if(motor_a > 1900 - coff){
    motor_a = 1900 - coff;
}
if (motor_b < 1100 + coff){
    motor_b = 1100 + coff;
}
if(motor_a < 1100 + coff){
    motor_a = 1100 + coff;
}
motor_a = (motor_a + oldmotor_a) / 2;
if(motor_a<1525 && motor_a>1475){
    motor_a = 1500;
}
if(abs(oldmotor_a - motor_a) > 5){
    t = millis();
    Serial.print("A");
    if(motor_a < 1475){
        Serial.print(motor_a + 25);
    }
    else if(motor_a > 1525){
        Serial.print(motor_a - 25);
    }
    else{
        Serial.print(motor_a);
    }
    Serial.println(" ");
    oldmotor_a = motor_a;
}
motor_b = (motor_b + oldmotor_b) / 2;
if(motor_b<1525 && motor_b>1475){
    motor_b = 1500;
}
if (abs(oldmotor_b - motor_b) > 5){
    t = millis();
    Serial.print("B");
    if(motor_b < 1475){
        Serial.print(motor_b + 25);
    }
    else if(motor_b > 1525){
        Serial.print(motor_b - 25);
    }
    else{

```

```

        Serial.print(motor_b);
    }
    Serial.println(" ");
    oldmotor_b = motor_b;
}
if(millis() - t > 2000){
    Serial.print("A");
    if(motor_a < 1475){
        Serial.print(motor_a + 25);
    }
    else if(motor_a > 1525){
        Serial.print(motor_a - 25);
    }
    else{
        Serial.print(motor_a);
    }
    Serial.println(" ");
    Serial.print("B");
    if(motor_b < 1475){
        Serial.print(motor_b + 25);
    }
    else if(motor_a > 1525){
        Serial.print(motor_b - 25);
    }
    else{
        Serial.print(motor_b);
    }
    Serial.println(" ");
    Serial.print("C");
    if(joy1 < 1475){
        Serial.print(joy1 + 25);
    }
    else if(joy1 > 1525){
        Serial.print(joy1 - 25);
    }
    else{
        Serial.print(joy1);
    }
    Serial.println(" ");
    oldmotor_b = motor_b;
    oldmotor_a = motor_a;
    oldjoy = joy1;
    t = millis();
}
delay(100);
}

```

## **Ссылки на нас**

Здесь вы можете подробнее прочитать про этот и другие проекты команды «Таёжные Ёжики», изучить чертежи, код, а также посмотреть на все испытания и тесты ТНПА «Морской Ёж»

<https://github.com/Grin2020/TE2022> (наш GitHub)

<https://www.youtube.com/@user-cj5jf6zu6l> (наш YouTube)

<https://www.youtube.com/@SergKosachenko> (YouTube нашего тренера, здесь можно посмотреть запись испытаний)

## **Контактные данные**

М.С. Цыганкова: [maria.tsygankova.tftl@gmail.com](mailto:maria.tsygankova.tftl@gmail.com)

Г.А. Пильщиков: [p.g.a.2019@mail.ru](mailto:p.g.a.2019@mail.ru)

С.В. Косаченко: [kosachenkosv@yandex.ru](mailto:kosachenkosv@yandex.ru)