

**ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ «ШАГ В БУДУЩЕЕ»
ПО ПРОФИЛЮ «ИНЖЕНЕРНОЕ ДЕЛО»**

регистрационный номер

Секция: Многоцелевые роботы и летательные аппараты (СМ11)

название секции

Исследование и разработка автономного необитаемого
подводного аппарата как перспективного средства для
исследовательских поисковых и осмотровых работ

название работы

Автор:

Кузнецов Арсений Николаевич

фамилия, имя, отчество

ГБОУ Школа №1517

наименование учебного заведения, класс

Научный руководитель:

Смирнов Иван Алексеевич

фамилия, имя, отчество

ФГУП "ЦНИИХМ"

место работы

Научный сотрудник

звание, должность

подпись научного руководителя

АННОТАЦИЯ

Объектом исследования являются способы выполнения исследовательских, осмотровых и поисковых работ под водой. Предмет исследования — автономные необитаемые подводные аппараты.

Целью проекта является создание автономного необитаемого подводного аппарата (АНПА) для исследовательских, осмотровых и поисковых работ.

Спектр научно-исследовательских задач, выполняемых под водой с каждым годом увеличивается.

В ходе работы был проведён сравнительный анализ классов АНПА, в результате которого было выявлено, что самым перспективным является лёгкий класс АНПА для поставленных задач.

По проведённому обзору отечественных и зарубежных аналогов, стало видно, что отечественные разработки уступают зарубежным, таким образом на основе полученных данных составлены требования к аппарату, для выполнения поставленных задач.

Разрабатываемый АНПА представляет собой модульное устройство, состоящее из рубки, носового отсека, отсека аккумуляторно-кислотных батарей (АКБ), отсека системы изменения плавучести (СИП) и движительно-рулевого комплекса (ДРК).

Были изготовлены проверочные стенды. Среди них стенд для проверки инерциальной системы, стенд проверки работоспособности ДРК, АКБ, системы изменения плавучести. В результате стендовых испытания были проверены работы отсеков по отдельности и собран первый прототип аппарата.

3д модель спроектирована в программе Autodesk Inventor Professional. Изготовлен аппарат с помощью аддитивных технологий 3д печати (SLA и FDM).

СОДЕРЖАНИЕ

АННОТАЦИЯ	2
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ	4
ВВЕДЕНИЕ.....	5
1.ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	7
1.1. Обзор отечественных и зарубежных аналогов	7
1.1.1 АНПА GAVIA.....	8
1.1.2 АНПА Remus 100M.....	10
1.1.3 АНПА Bluefin-9	11
1.1.4 АНПА Solo-Trec.....	12
1.2 Целевая аудитория.....	14
1.2.1 Нефте- и газодобывающие компании.....	15
1.2.2 Компании, занимающиеся кораблестроением и мореходством.	15
1.2.3 Научно-исследовательские институты.....	16
1.2.4 Водоохранные организации.	16
1.2.5 Службы по предотвращению чрезвычайных ситуаций.....	17
1.3 Вывод по разделу	18
2. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	18
2.1 Разработка общего вида и компоновки изделия.....	18
2.1.1 Эскизный проект.....	18
2.1.2 Разработка корпуса.....	19
2.1.3 Разработка движительно-рулевого корпуса	20
2.1.3.1 Разработка движительного комплекса	21
2.1.3.2 Разработка рулевого комплекса	22
2.1.4 Разработка системы изменения плавучести	23
2.1.5 Разработка отсека аккумуляторных батарей	26
2.1.6 Разработка отсека датчиков.....	29
2.1.7 Разработка рубки	30
2.1.8 Выводы по разделу	31
2.2 Прототипирование	31
2.2.1 3D-печать.....	32
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	32
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	33
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	34
Приложение Б.....	34

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

АКБ — аккумуляторно-кислотные батареи

АНПА — автономные необитаемые подводные аппараты

ВОЗ — всемирная организация здравоохранения

ДВНИГМИ — Дальневосточный научно-исследовательский

гидрометеорологический институт

ДРК — движительно рулевой комплекс

ИИС — инерциально-измерительная система

ООН — организация объединённых наций

СИП — систем изменения плавучести

СУ — системы управления

ВВЕДЕНИЕ

Наблюдается значительное загрязнение гидросферы Земли. Информация об усугублении состояния мировой акватории предоставляется многочисленными отчетами и исследованиями учреждения ВОЗ и программой ООН по окружающей среде (ЮНЕП). Загрязнение гидросферы происходит в результате человеческой деятельности. Таким образом возникает необходимость мониторинга и патрулирования водных пространств (реки, озёра, водохранилища, моря, океаны).

Поиск и обнаружение подводных объектов играет важную роль в сфере подводных исследований и влияет на целый ряд областей. К таким областям относятся экология, транспорт, морское хозяйство и безопасность. Исследования подводных ресурсов, экосистем и геологических структур помогают определять места рождения полезных ископаемых, понимать влияние человеческой деятельности на морскую среду. Это также помогает в устранении возможных угроз для окружающей среды, таких как выбросы нефти, разливы токсичных веществ.

Количество нефте- и газодобывающих станций в шельфовой зоне увеличивается. Следовательно появляется большее количество трубопроводов, которые необходимо обслуживать и патрулировать для предотвращения чрезвычайных ситуаций.

Исследования в области геофизики и геологии играют важную роль в обеспечении безопасности и понимании истории развития планеты. Исследования позволяют ученым понять эволюцию морских бассейнов, формирование горных структур, магматические и тектонические процессы, а также геологическую историю конкретных морских регионов. Также исследования в этой сфере помогают прогнозировать землетрясения и цунами, позволяя подготовиться к возможной стихии.

Развитие всех сфер научно-технических задач за последнее время, необходимо наглядное увеличение спроса.

Таким образом становится видно, что спектр научно-технических работ, выполняемых под водой, с каждым годом увеличивается. Среди наиболее актуальных задач выделяется исследование водных пространств, обнаружение и изучение подводных природных объектов, выполнение задач в области морской геологии и геофизики, а также обследование и обслуживание подводной инфраструктуры. Также выполнения требуют работы, связанные с обеспечением подводной безопасности.

До недавнего времени подавляющее число вышеперечисленных задач выполнялось человеком (водолазы, дайверы), а также с использованием управляемых оператором роботов (телеуправляемые аппараты, привязные системы). Участие человека сопряжено с рисками для жизни и здоровья, а также не позволяет проводить длительные работы (от 8 часов), работы в сильно загрязнённых акваториях и на большой глубине.

Использование телеуправляемых систем имеет ограничения по длине кабель-троса, а также требует постоянного контроля и сопровождения оператора для выполнения маршрутного задания. Таким образом, возникает необходимость выполнения всего спектра научно-технических задач в автономном режиме с минимальным участием оператора (выбор маршрутного задания, периодическое получение полезных данных).

Среди существующих современных робототехнических средств для решения поставленных задач в автономном режиме наиболее перспективными являются автономные необитаемые подводные аппараты (АНПА). АНПА называются роботизированные системы, обладающие торпедообразной формой корпуса и датчиковым комплексом для обеспечения навигации под водой (гидролокаторы, гироскопы, акселерометры, GPS) и сбора полезных данных (температура, солёность, мутность воды, рельеф дна).

Целью проекта является создание автономного необитаемого аппарата для, исследовательских, поисковых и осмотровых работ.

Поставленная цель проекта достигается следующими задачами:

1. Рассмотреть и проанализировать существующие отечественные и зарубежные аналоги.
2. Обосновать целесообразность и применимость технического решения.
3. Выработать концепт системы.
4. Спроектировать систему.
5. Изготовить прототип.
6. Провести полунатурные и натурные испытания.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1.1. Обзор отечественных и зарубежных аналогов

Согласно ГОСТ Р 56960-2016 АНПА делятся на легкие, средние и тяжёлые.

Легкие АНПА работают на одном заряде батареи в среднем до 10 часов, что является достаточным для выполнения поставленных задач. Преимуществом данного класса аппаратов является их мобильность, за счёт малой массы (до 50 кг) и габаритов. Также лёгкие АНПА по сравнению с средними и тяжелыми более просты в изготовлении и эксплуатации.

Таким образом, АНПА легкого класса являются наиболее эффективным техническим средством для решения поставленных научно-исследовательских, поисковых, осмотровых и специальных задач.

Класс лёгких АНПА в России и мире представлен широкой номенклатурой изделий. Таким образом необходимо составить ряд критериев, которыми должен обладать аппарат, чтобы выполнять поставленные задачи. Чтобы устройство могло преодолевать разного рода препятствия оно должно обладать 6-ю степенями свободы. Важными факторами для удобной эксплуатации аппарата являются малые габариты и малая масса. То есть аппарат должен весить до 50 кг. Корпус аппарата до 300х30 см (длина х диаметр корпуса). Полезной функцией аппарата является его модульность, что позволяет быстро устранять техническую проблему, сменив сломанный модуль, а также адаптировать одно устройство под различные задачи.

Для выполнения поставленных задач минимальной глубиной погружения аппарата будет 100 м. Эта глубина является критической для погружения аквалангиста, дальше погружаться опасно.

Подводя итоги всего вышесказанного аппарат должен иметь следующие характеристики:

- время автономной работы от 4 часов;
- размеры аппарата 300х30 см (длина х диаметр корпуса);
- наличие шести степеней свободы (3 поступательные: движение по маршруту, лагу и глубине; 3 вращательные: поворот по курсу, крену и дифференту);
- модульность;
- масса до 50 кг;
- глубина погружения от 100 м.

1.1.1 АНПА GAVIA

Автономный необитаемый подводный аппарата GAVIA создан исландской фирмой Hafmynd. Gavia AUV. Главной особенностью данного аппарата является его модульность, которая позволяет собирать конфигурации аппарата под каждую задачу индивидуально. Таким образом увеличивается эффективность работ. На рисунке 1 представлены несколько конфигураций АНПА GAVIA.

Основным модулем аппарата является модуль связи и управления. В нём располагается центральный компьютер, оборудованием для передачи информации на расстоянии. Оборудование связи в себя включает: беспроводную сеть Wi-Fi, проводную сеть Ethernet, спутниковую связь «Иридиум», гидроакустическую связь (используется акустическая система из модемов). Данный модуль содержит комплекс датчиков для определения давления, температуры, электрической проводимости, звуковых характеристик водной среды и морского дна.

Батарейный модуль служащий для энергообеспечения аппарата. Он состоит Li-Ion аккумуляторов. Запас хода аппарата напрямую зависит от собранной конфигурации. При увеличении количество отсеков с батареями увеличивается

запас хода аппарата. При минимальной нагрузке аппарат способен выполнять поставленные задачи на расстоянии в 45 километров, на скорости 1.53 м/с.

Двигательный модуль имеет комплекс двигательного-рулевых систем. В качестве двигательной установки используется электродвигатель гребного типа. Независимые рулевые устройства отвечают за управление креном, курсом и дифферентом.

Аппарат в сборе вы можете видеть на рисунке 2.

Подводя итоги можно выделить следующие плюсы и минусы аппарата:

Плюсы:

- модульность конструкции (возможность индивидуальной сборки под каждую миссию);
- высокая автономность (до 14ч);
- глубина погружения до 1000;
- высокая скорость перемещения (до 14,8 км/ч);
- наличие модулей Wi-Fi и Ethernet;
- 6 степеней свободы для перемещения и маневрирования.

Минусы:

- невозможность приобретения, эксплуатации и технической поддержки на территории РФ
- большая стоимость (800 000\$).

1.1.2 АНПА Remus 100M

АНПА Remus 100M — это малогабаритный аппарат из семейства Remus. Разработано в США Океанографическим институтом в Вудс-Хоул (серийное производство компании Hydroid).

Аппарат обладает модульной конструкцией, что позволяет подбирать датчиковое оснащение под конкретную задачу. К стандартным датчикам, которые можно установить, относятся датчики температуры, проводимости, давления воды, а также гидролокаторы бокового обзора. Используя дополнительные блоки можно расширить номенклатуру датчиков. Добавится инерциальная система навигации, модуль GPS, акустический модем,

двухчастотный гидролокатор бокового обзора, датчик мутности и рассеивания света. На рисунке 3 представлен сам аппарат.

К плюсам и минусам аппарата можно отнести:

Плюсы:

- малые габариты (198 x 20);
- малая масса (36);
- модульность;
- 6 степеней свободы для перемещения и маневрирования.

Минусы:

- высокая цена;
- невозможность приобретения, эксплуатации и технической поддержки на территории РФ.

1.1.3 АНПА Bluefin-9

АНПА Bluefin-9 — это малогабаритные аппарата, разработанный компанией General Dynamics. Аппарат весит 70 кг при длине 240 см и диаметре корпуса 24 см. Корпус аппарата оснащён ручками для переноса. Конструкция Bluefin-9 не является модульной.

На борту аппарата установлены гидролокаторы бокового обзора с полным захватом батиметрии, звуковой датчик скорости, а также камера с высоким разрешением. Для сбора данных об окружающей среде установлены датчики мутности, температуры, давления воды. На борту аппарата установлен модуль GPS и инерционно-измерительная система (гироскоп, акселерометр), которые помогают аппарату ориентироваться в пространстве.

Аппарат может погружаться на глубину до 200 м. Аппарат развивает скорость до 11,1 км/ч. Аппарат способен работать на протяжении 8 часов при средней скорости передвижения в 5,6 км/ч. Антенны связи аппарата выведены в рубку. Для связи аппарат использует беспроводную сеть Wi-Fi и проводную сеть Ethernet. Аппарат представлен на рисунке 4.

К плюсам и минусам аппарата можно отнести:

Плюсы:

- высокая автономность (до 8 часов);
- высокая скорость перемещения (5,6 км/ч);
- большая глубина погружения (до 200);
- 6 степеней свободы для перемещения и маневрирования.

Минусы:

- отсутствие модульности конструкции
- невозможность приобретения, эксплуатации и технической поддержки на территории РФ.

1.1.4 АНПА Solo-Trec

АНПА Solo-Trec — это лёгкий аппарат, разработанный компанией Bluefin Robotics. Построен в США, спущен на воду в 2009.

Аппарат использует изменение температуры за бортом для вырабатывания энергии океана. Энергия собирается с помощью материалов с фазовым переходом, которые содержатся в 10 внешних трубках. Когда аппарат всплывает на поверхность, материал плавится и расширяется, а когда опускается на глубину, где температуры воды ниже, материал затвердевает и сжимается. При расширении воска повышается давление масла, хранящегося внутри трубок. Это масло периодически приводит в действие гидравлический двигатель, который вырабатывает электроэнергию и подзаряжает аккумуляторы устройства. Такие перепады температур достигаются посредством погружения аппарата на глубину в 300 м. Таким образом аппарат обеспечивает возможность непрерывной работы до 3 недель. Без подзарядки аккумулятора хватает на 8 часов. Аппарат представлен на рисунке 5.

Подводя итоги можно выделить следующие плюсы и минусы аппарата:

Плюсы:

- модульность;
- малые габариты (198 x 20);
- скорость передвижения 5,56 км/ч;
- большая автономность (8 ч);
- дальность плавания около 100 км;

- максимальная глубина погружения 500 м;
- 6 степеней свободы для перемещения и маневрирования.

Минусы:

- не серийный образец (изготовлен 1 аппарат в научно-исследовательских целях);
- невозможность приобретения, эксплуатации и технической поддержки на территории РФ.

Результаты сравнительного обзора аналогов приведены в таблице 1.

Таблица 1 — Сравнительный обзор АНПА

Название аппарата	Размеры (длина х диаметр), см	Масса, кг	Модульность	Автономность (на одном заряде), ч	Глубина погружения, м	Количество произведённых экземпляров	Возможность использования на территории РФ	Цена, к\$
АНПА GAVIA	317x20	60-80	+	более 7	до 1000	>300	-	800
Remus 100M	160x19	36	+-	до 10	до 100	Около 200	-	250 – 500
Bluefin-9	241,8x23,8	70	-	до 8	до 200	>250	-	400
Solo-Trec	198x20	84	+-	До 8	До 500	1	-	550

В результате проведения сравнительного анализа было выявлено, что одним из самых перспективных АНПА для выполнения поставленных задач является аппарат GAVIA. Использование этого аппарата предоставляет пользователям множество преимуществ. GAVIA обладает высокими показателями маневренности и скорости перемещения. При этом наличие широкой

номенклатуры отсеков позволяет использовать аппарат для решения всех поставленных задач максимально эффективно. Но использование АНПА GAVIA не поддерживается на территории РФ, как и остальных. Поэтому было принято решение разработать собственный АНПА для поставленных задач.

1.2 Целевая аудитория

Потребителями данного устройства могут стать:

- Нефте- и газодобывающие компании.
- Компании, занимающиеся кораблестроением и мореходством.
- Научно-исследовательские институты.
- Водоохранные организации.
- Службы по предотвращению чрезвычайных ситуаций.

Рассмотри подробнее подробнее каждое направление:

1.2.1 Нефте- и газодобывающие компании.

Россия обладает значительными запасами полезных ископаемых в шельфовой зоне. Площадь шельфовой зоны составляет свыше 6 млн. км². Крупнейшими операторами лицензионных участков являются ПАО «НК «Роснефть» и ПАО «Газпром», которые уже используют шельфовую зону для добычи ресурсов.

Разведка, обустройство и эксплуатация морских месторождений сопровождаются строительством крупных объектов (добывающих платформ, нефтяных и газовых терминалов, трубопроводов), что представляет серьезную опасность для окружающей экосистемы. В связи с этим компании в соответствии с лицензионными обязательствами должны выполнять полный комплекс геологоразведочных работ в задействованных акваториях.

Контроль за текущим состоянием зоны вокруг станции, и проложенных трубопроводов, быстрое обнаружение места утечки и её ликвидация может осуществляться с помощью АНПА. Использование АНПА позволит увеличить эффективность выполнения поставленных задач.

1.2.2 Компании, занимающиеся кораблестроением и мореходством.

АНПА может быть использован для непрерывного мониторинга состояния платформ, морских нефтепроводов и других морских конструкций. Это важно для обеспечения их безопасной эксплуатации и предотвращения чрезвычайных ситуаций.

Также разрабатываемый аппарат может быть использован для регулярного обследования подводной части судов и морских конструкций. Это позволяет выявлять коррозию, повреждения и износ на подводных поверхностях судов, что важно для оперативного реагирования и планирования необходимых ремонтных работ.

АНПА могут помочь в выявлении дефектов, коррозии, повреждений и износа на подводных поверхностях судов, что позволяет оперативно реагировать и планировать необходимые ремонтные работы.

1.2.3 Научно-исследовательские институты.

Использование АНПА в научно-исследовательских целях является перспективным направлением, поскольку позволяет значительно расширить возможности изучения подводных объектов. Аппараты могут безопасно функционировать в условиях, которые опасны для человека, таких как большое давление, низкие температуры и другие. Благодаря этому, они способны собирать ценные данные о жизни на больших глубинах и прогнозировать цунами на основе обнаружения трещин и других признаков.

Кроме того, использование АНПА позволяет повысить эффективность проводимых исследований и работ за счёт высокой точности и скорости забора данных. Это позволяет существенно улучшить процессы исследования, обеспечивая более детальный и надёжный анализ объектов и явлений в морской среде.

1.2.4 Водоохранные организации.

АНПА могут использоваться для выполнения задач, направленных на обеспечение защиты окружающей среды и биосферы, контроля качества воды в заповедниках и контроля за загрязнениями водоёмов. Патрулирование

определённых областей поможет оперативно реагировать на загрязнения, а также спрогнозировать состояние морской среды.

Федеральное агентство водных ресурсов России, под юрисдикцией Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации, обеспечивает осуществление государственных функций и управление в сфере водных ресурсов. Одной из основных задач организации является проведение мероприятий по рациональному использованию, восстановлению и охране водных объектов.

Согласно постановлению Правительства Российской Федерации от 16 июня 2004 года № 282 "Об утверждении положения о Федеральном агентстве водных ресурсов", оно осуществляет свою деятельность напрямую или через свои территориальные органы и подведомственные организации в сотрудничестве с другими федеральными органами исполнительной власти, органами исполнительной власти субъектов Российской Федерации, органами местного самоуправления, общественными объединениями и иными организациями.

Таким образом, разрабатываемый автономный необитаемый аппарат может быть применён для выполнения работ по контролю состояния водоёмов, на территории которых действуют вышеупомянутые организации. Согласно данным федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды в России функционируют 17 научно-исследовательских учреждений, которые могут быть заинтересованы в разрабатываемом устройстве, такие как ДВНИГМИ, Сибирский региональный научно-исследовательский гидрометеорологический институт и другие [7].

1.2.5 Службы по предотвращению чрезвычайных ситуаций.

Разрабатываемый аппарат может быть использован в случае аварийных ситуаций для обнаружения конкретного источника проблемы, не подвергая жизни аквалангистов опасности.

Таким образом, АНПА могут вносить большой вклад в обеспечение безопасности при проведении гуманитарных, спасательных и миротворческих операций и операций сил быстрого развертывания в кризисных зонах. На

официальном сайте Национальной технологической инициативы ставится задача “обеспечить национальную безопасность, качество жизни людей, развитие отраслей нового технологического уклада”. Разрабатываемый аппарат может стать одним из решений проблемы.

Федеральное агентство водных ресурсов России отвечает за оповещение и ликвидацию негативного воздействия гидрологических природных явлений. В ликвидации чрезвычайных ситуаций принимают участие МЧС России, «ЭКОСПАС» (АО «Центр аварийно-спасательных и экологических операций»), региональные службы МЧС. Все вышеперечисленные организации являются потенциальными пользователями разрабатываемого аппарата.

1.3 Вывод по разделу

2. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

2.1 Разработка общего вида и компоновки изделия

2.1.1 Эскизный проект

К разрабатываемому аппарату предъявляются следующие основные требования:

- герметичность;
- возможность сбора данных об окружающей среде, таких как температура, мутность, солёность, РН воды;
- простота спускоподъёмных операций, то есть малые габариты и возможность запуска одним человеком;
- модульность для возможности изменения конфигурации аппарата;
- обеспечение автономной навигации.

На основе поставленных технических задач были составлены основные конструктивные задачи:

- обеспечить герметичность конструкции;
- разработать компоновку системы изменения плавучести (СИП);
- разработать компоновку движительно-рулевого комплекса (ДРК);
- разработать компоновку полезной нагрузки (датчикового комплекса, исполнительные устройства и др.);

— обеспечить простоту прокладки жгутов внутри аппарата.

3D модели аппарата представлены на рисунках 6-7.

2.1.2 Разработка корпуса

Корпус аппарата представляет собой полипропиленовую трубу толщиной 10мм, диаметром 110мм. Обтекатели и переходники выполнены из фотополимерной смолы. Герметизация аппарата осуществляется посредством установки в деталях радиальных уплотнительных колец ГОСТ 9833-73 размера 082 088 25 (см. рис 8).

Корпус рубки выполнен из полипропиленовой трубы толщиной 5 мм, диаметром 65 мм. В фотополимерные обтекатели вставляются уплотнительные кольца ГОСТ 9833-73 размера 058-062-25. Обтекатели и переходники фиксируются к корпусу винтами (см рис 9).

2.1.3 Разработка движительно-рулевого корпуса

Движительно-рулевой комплекс (ДРК) является одним из основных узлов аппарата. В качестве маршевого двигателя представлен коллекторный мотор с редуктором. Этот отсек состоит из двух частей: отсека рулевых машин и отсека маршевого двигателя. Основная компоновка ДРК представлена на рисунке 10.

2.1.3.1 Разработка движительного комплекса

В качестве маршевого двигателя был выбран коллекторный двигатель с редуктором.

Важно обеспечить герметичность конструкции, поэтому было принято решение использовать магнитную муфту для передачи вращения с двигателя на вал гребного винта.

Магнитные муфты бывают радиальные и торцевые. В торцевой магнитной муфте сила притяжения между полумуфтами направлены параллельно валам, на которые они надеты, что способствует соскальзыванию с вала. В радиальной магнитной муфте силы компенсируются, так как они противоположны друг другу. Также сила притяжения радиальной муфты больше, чем торцевой при одинаковых габаритах муфт. Сила сцепления радиальной муфты составляет

300Н, а торцевой — 216Н. На рисунке 11 представлена радиальная магнитная муфта, которая используется в прототипе.

2.1.3.2 Разработка рулевого комплекса

В качестве активных подруливающих устройств используются напечатанные детали. Рули приводятся в движение серводвигателями на 180 градусов servo DS3230. Для компактного расположения комплектующих было принято решение использовать шестерёнчатую передачу. Так как поворот активных рулевых поверхностей на 180 градусов не нужен, было принято решение ограничиться поворотом на 80 градусов. Для этого были разработаны шестерни с соотношением передаточного числа 2.25 к 1. Таким образом, вращение двигателя 180 градусов преобразуется поворотом рулей на 80 градусов. валы релей фиксируется в шестерёнках с помощью квадратного паза.

Чтобы обеспечить герметичный выход вала для рулей необходимы резиновые уплотнительные кольца. Чтобы их разместить в корпусе разработана деталь, в которую будут вкладываться кольца. Сама деталь будет клеиваться в полипропиленовую трубу. Таким образом можно достичь герметичности конструкции. 3D модель этого узла можно увидеть на рисунке 12.

2.1.4 Разработка системы изменения плавучести

Одним из ключевых узлов аппарата является отсек системы изменения плавучести (СИП). Помимо самой системы изменения плавучести в этом отсеке располагается процессорная плата с управляющим контроллером. Также здесь располагается датчик давления. Компоновка этого отсека изображена на рисунке 13.

Система изменения плавучести (СИП), представленной в виде заполняемой балластной емкости, которая в свою очередь работает по шприцевому принципу. Суммарная ёмкость шприцов составляет 150 мл. Подвижный механизм представляет собой трапецеидальный винт и гайку, которая путём вращения серводвигателя перемещается и увлекает за поршни цилиндра (см. рис. 14). Таким образом балластные ёмкости наполняются заборной водой при

необходимости погружения или при необходимости всплытия выбрасывает воду за борт. Водозаборные каналы располагаются по бокам аппарата.

Было принято решение использовать для ограничения работы сервопривода механические концевые датчики. такой способ помогает обеспечить надежность срабатывания системы. Концевики располагаются на специальной платформе, к которой также крепиться процессорная плата (см. рис. 15)

Для обеспечения соосности и прочности в конструкцию добавлены направляющие валы, которые фиксируются в крайних деталях при помощи винтов и лысок на валах.

В переходнике расположен гермоввод, кабель из которого идёт в рубку, а также разработанная переходная печатная плата (см. рис.16). Аналогичные платы расположены во всех отсеках для удобства эксплуатации, а именно прокладки жгутов внутри аппарата.

В ходе работы была разработана процессорная плата, на которой располагается управляющий контроллер, инерционно-измерительная система (ИИС) и понижающие преобразователи (см. рис. 17). К процессорной плате подключается датчик давления, с помощью которого можно отслеживать глубину погружения. Также через переходники к плате подключаются остальные датчики, двигатели и прочие исполнительные механизмы.

2.1.5 Разработка отсека аккумуляторных батарей

В ходе работы было рассчитано энергопотребление, в результате чего было выявлено, что для непрерывной работы в течении 6 часов на 20% мощности необходимо 24 батареи 18650 типа Li-Ion. Одной из основных идей устройства является модульность, поэтому было принято решение разработать блоки аккумуляторных батарей (АКБ) (см. рис. 18) 4S3P (буква S указывает на количество последовательно соединенных батарей, а P — параллельно соединенных), которые можно будет подключать параллельно для увеличения емкости. В результате, общее напряжение сборки и всего модуля АКБ может достигать 16,8 В. Емкость аккумуляторов – 2850 мА*ч.

Также в каждой сборке имеется плата BMS - устройство для контроля состояния батареи и предотвращения ее работы в нештатном режиме. BMS следит за основными параметрами литиевого аккумулятора – температурой и напряжением. Если один из них выходит за допустимые пределы, батарея отключается от потребителя. Таким образом, плата BMS предотвращает глубокий разряд, перезаряд или перегрев АКБ.

Соединение аккумуляторных батарей происходит как при помощи точечной сварки с использованием никелевой ленты, так и посредством пайки проводов. На рисунках 19-21 приведена инструкция по сборке конфигурации 4S3P.

Отсек АКБ состоит из 2 сборок 4S3P. Сборки подключаются друг другу с помощью разработанных печатных плат. В разрыв питания цепи размещён геркон, для экстренного выключения аппарата. Снаружи корпуса вставляется ключ с магнитом, который замыкает геркон. Отсек АКБ представлен на рисунке 22.

2.1.6 Разработка отсека датчиков

Для расположения датчиков расположен кронштейн, в который они будут вклеиваться. Таким способом можно обеспечить герметичность устройства и вывести чувствительные концы датчиков за борт аппарата. Также разработан обтекатель, который защитит датчики при возможном столкновении (см. рис. 23). Разработан кронштейн для крепления плат для датчиков мутности, PH и солёности воды.

В ходе работы над проектом спроектирована переходная плата датчиков, чтобы обеспечить удобную прокладку жгута. Плата показана на рисунке 24.

2.1.7 Разработка рубки

Рубка — это отсек связи. Сигнал Wi-Fi и GPS через воду не идёт, поэтому необходимо их вынести наверх. На печатной плате расположен модуль GPS, микроконтроллер с камерой и micro SD картой. Чтобы камера могла снимать окружающую среду поставлена пластина из акрила. Для обеспечения герметичности между стеклом и крышкой находится резиновое уплотнительное

кольцо ГОСТ 9833-73 размера 037-041-25 Через гермоввод в отсек выведена антенна Wi-Fi. Рубка изображена на рисунке 25.

2.1.8 Выводы по разделу

В ходе проекта разработан автономный необитаемый подводный аппарат для исследовательских, поисковых и осмотровых работ. Разрабатываемое устройство состоит из следующих сборочных узлов: носовой отсек, отсека аккумуляторных батарей, системы изменения плавучести, движительно-рулевого комплекса и рубки. Одним из основных плюсов аппарата является его модульность, которая позволяет менять компоновку под определённую задачу. Аппарат оснащен модулем связи по сети Wi-Fi для поддержания связи. Также на борту аппарата установлен модуль GPS и инерциально-измерительной системой (ИИС), состоящей из гироскопа и акселерометра, для определения положения в пространстве. Предусмотрен переходник на micro SD карту для записи данных. Также разработано приложение для предоставления полной информации об устройстве пользователю и для задания миссии и других параметров.

Аппарат имеет следующий принцип работы:

1. Устройство спускают на воду. Аппарат через GPS определяет своё местоположение.
2. Оператор задаёт миссию (задаётся область, в которую аппарат должен переместить, задаётся цель прибытия в области)
3. Аппарат получает информацию о миссии и прокладывает путь миссии.
4. АНПА погружается и отправляется по проложенной траектории. Устройство всплывает через промежутки времени на поверхность для корректировки маршрута через GPS.
5. После выполнения миссии аппарат поднимается на поверхность и отправляет данные о результатах миссии по Wi-Fi. Далее аппарат отправляется в место спуска на воду.

2.2 Прототипирование

В результате работы был создан первый прототип автономного необитаемого подводного аппарата (см. рис. 26).

2.2.1 3D-печать

подавляющая часть разработанных деталей была изготовлена с помощью аддитивных технологий 3D печати. Детали, которые требовали повышенные требования к обеспечению герметичности были изготовлены с помощью технологий фотополимерной SLA печати. Остальные детали были изготовлены с помощью технологий экструзионной печати FDM. Примеры изготовленных частей представлены на рисунке 27.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы над проектом были выполнены следующие задачи:

- Проведен анализ современного уровня развития отечественных и зарубежных автономных необитаемых аппаратов (в ходе обзора аналогов был составлен список требований к разрабатываемому аппарату)
- Разработан концепт устройства (принято решение разработать модульный АНПА лёгкого класса).
- Разработан прототип (разработанный аппарат состоит из следующих сборочных узлов: рубка, носовой отсек, отсек аккумуляторных батарей (АКБ), отсек системы изменения плавучести (СИП) и движительно-рулевой комплекс (ДРК)).
- Проведены стендовые и полунатурные испытания (в ходе испытаний проверена работоспособность разработанных решений).

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. В
ойтов Д.В. Автономные необитаемые подводные аппараты/ Войтов Д. В.// – 2015. – 350с.

2. Туфанов И.Е. Методы решения обзорно-поисковых задач с применением групп автономных необитаемых подводных аппаратов/ Туфанов И.Е.// – Владивосток. – Институт проблем морских технологий дальневосточного отделения российской академии наук. – Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. – 108с.

3. Ульянова Н.В. экологическое сознание и экологическая культура, проблемы и перспективы/ Ульянова Н.В. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekologicheskoe-soznanie-i-ekologicheskaya-kultura-problemy-i-perspektivy> (дата обращения: 14.07.2023).

4. Вторая оценка состояния мирового океана// Управление по правовым вопросам ООН. – С. 63-103

5. Роман Джерелейко Необитаемый автономный подводный аппарат “Gavia”/ Роман Джерелейко URL: <https://topwar.ru/10787-neobitaemyy-avtonomnyy-podvodnyy-apparat-gavia.html> (дата обращения: 23.09.2023)

6. Алексанин А.И. О мониторинге морских рыбопромысловых районов с использованием спутниковых данных и информации от морских робототехнических комплексов/ А.И. Алексанин, А.Ф. Щербатюк // Управление большими системами. – Вып. 100. – 2022. – С. 230-261. DOI: 10.25728/ubs.2022.100.11

7. Научно-исследовательские учреждения // Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. URL: <https://www.meteorf.gov.ru/about/structure/niu/> (дата обращения: 05.08.2023).

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Для получения дополнительных фото- и видеоматериалов можно перейти на Google Disk. На рисунке 28 изображён куар код, который ведёт также на гугл диск.



Рисунок 28 — Куар код на облако с фото- и видеоматериалами
ПРИЛОЖЕНИЕ Б

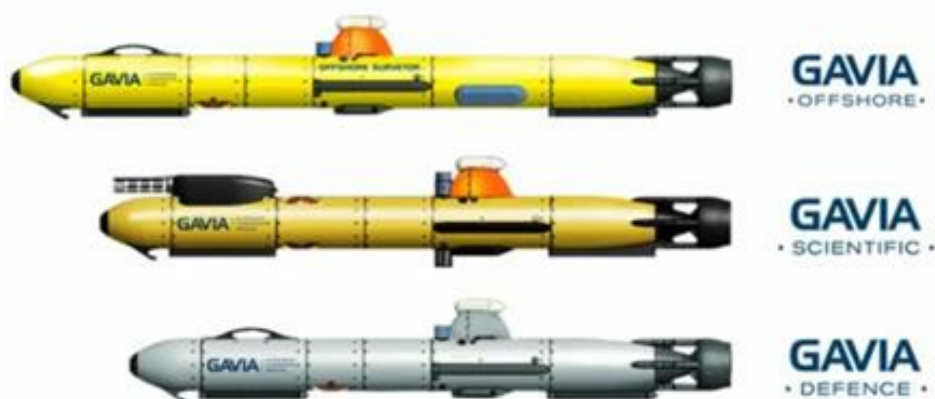


Рисунок 1 — Конфигурации АНПА GAVIA



Рисунок 2 — АНПА «GAVIA»



Рисунок 3 — АНПА Remus 100M

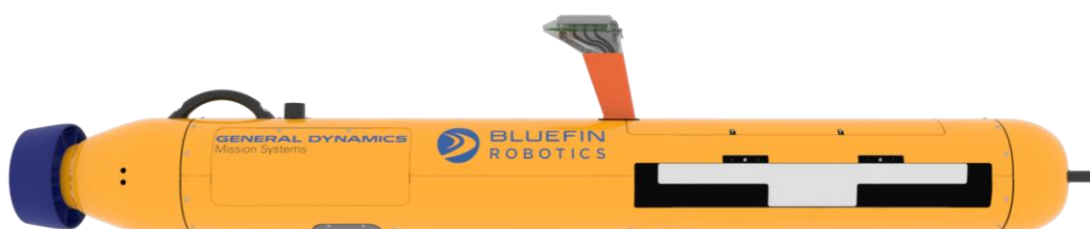


Рисунок 4 — АНПА Bluefin-9



Рисунок 5 — АНПА Solo-Trec



Рисунок 6 — 3D модель АНПА с прочным корпусом

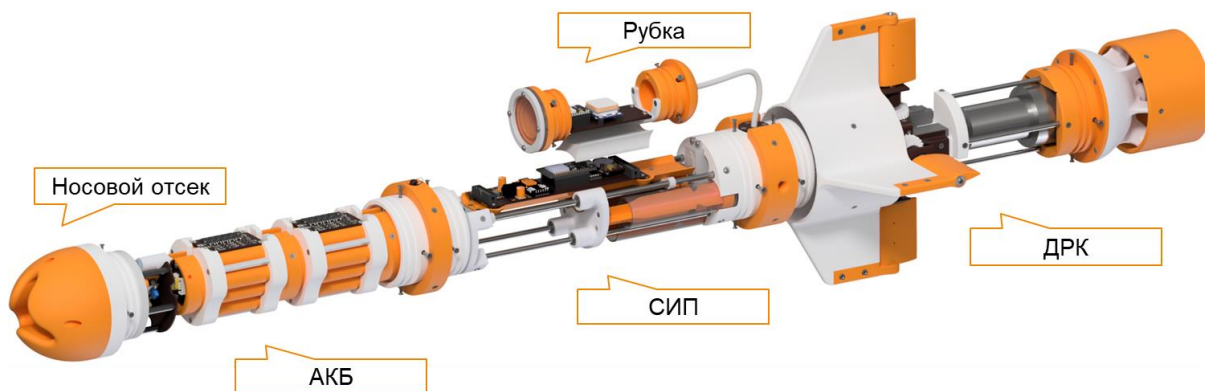


Рисунок 7 — Компоновка АНПА



Рисунок 8 — Взрыв схема корпуса аппарата



Рисунок 9 — Взрыв схема корпуса рубки

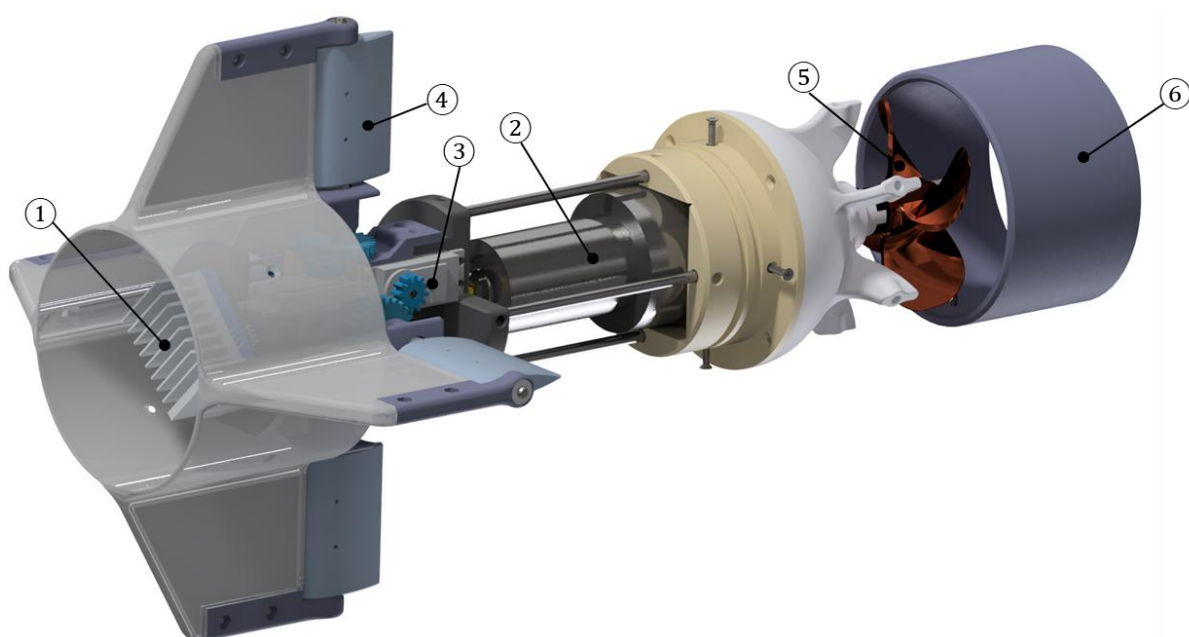


Рисунок 10 — Компоновка ДРК

- 1 - Драйвер маршевого двигателя; 2 - Коллекторный мотор с редуктором;
 3 - Серводвигатель; 4 - Рабочие рулевые поверхности;
 5 -Гребной винт; 6 -Насадок

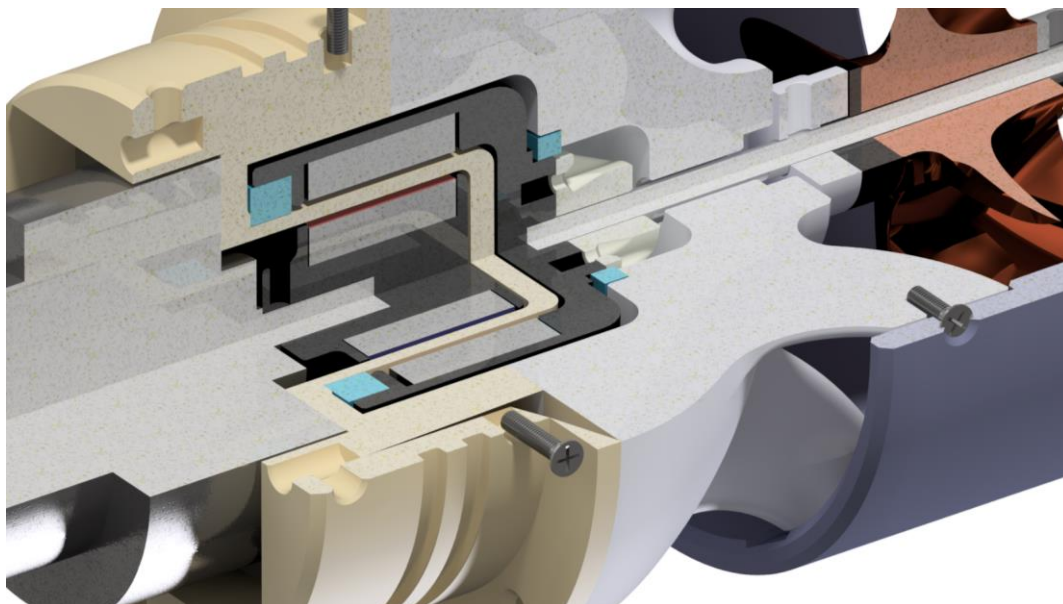


Рисунок 11 — Радиальная магнитная муфта

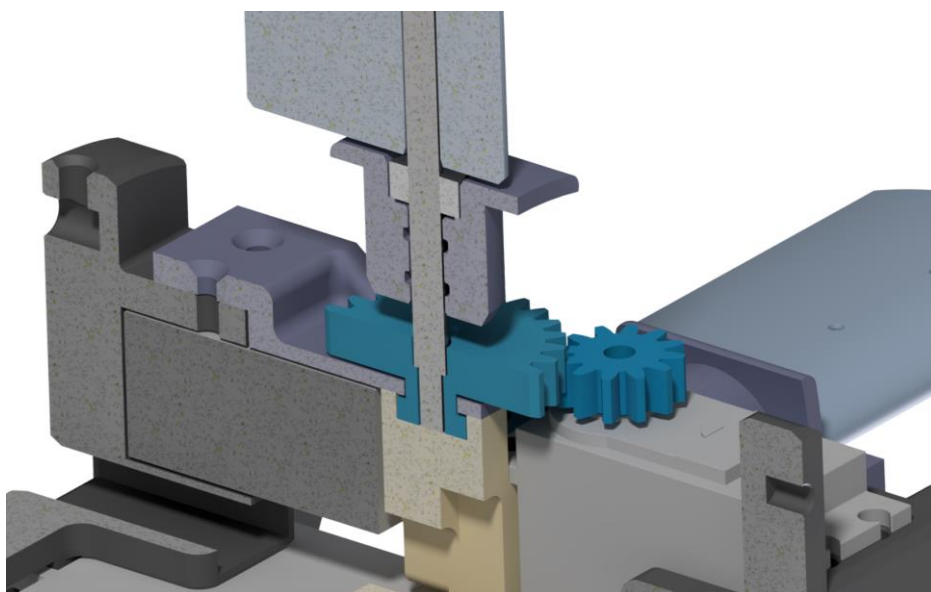


Рисунок 12 — Отсек рулевых машинок

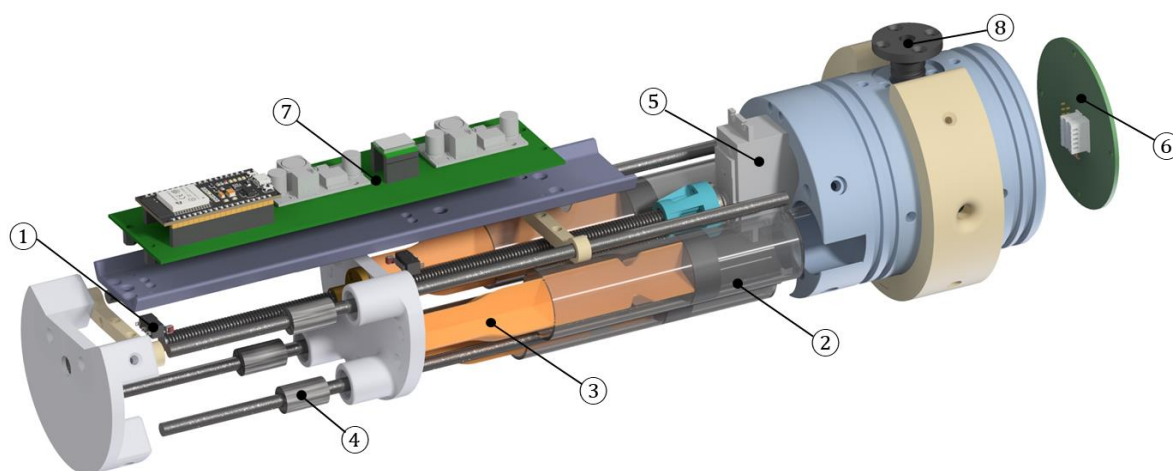


Рисунок 13 — Отсек СИП

- 1 - Концевой датчик; 2 - Шприцы; 3 - Поршни;
4 - Линейный подшипник; 5 - Серводвигатель;
6 - Переходная плата двигателей; 7 - Процессорная плата;
8 - Гермоввод.

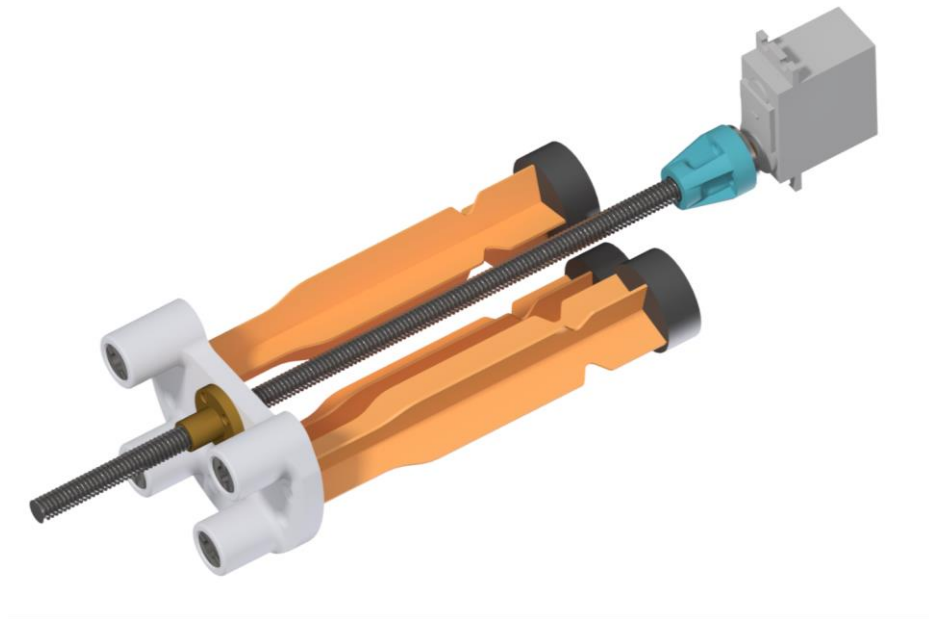


Рисунок 14 — Передача “винт-гайка”

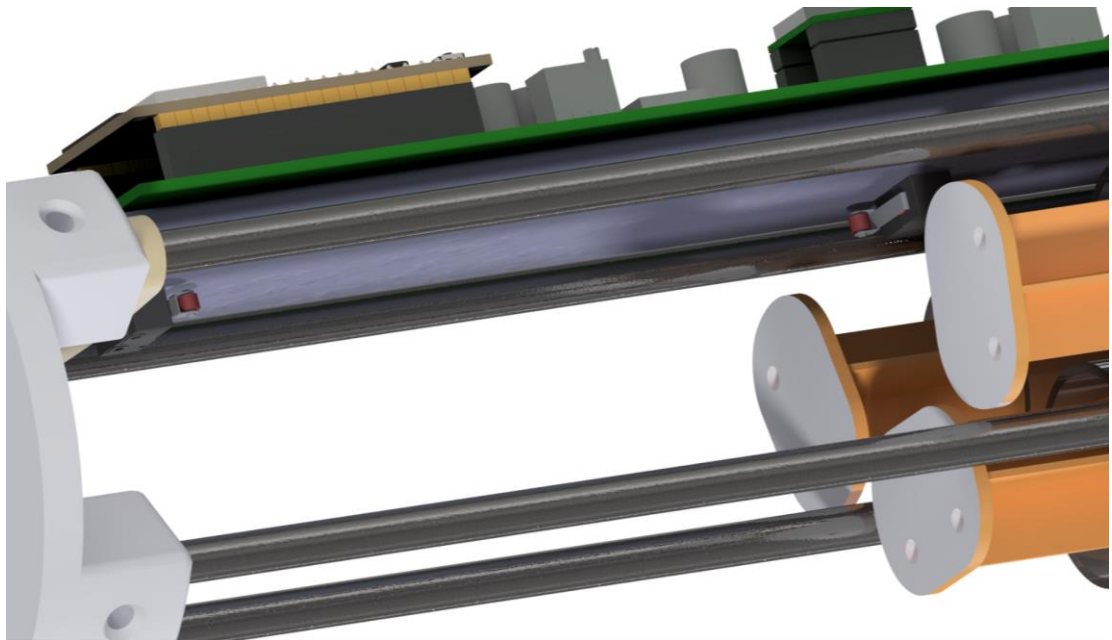


Рисунок 15 — Расположение механических концевых датчиков

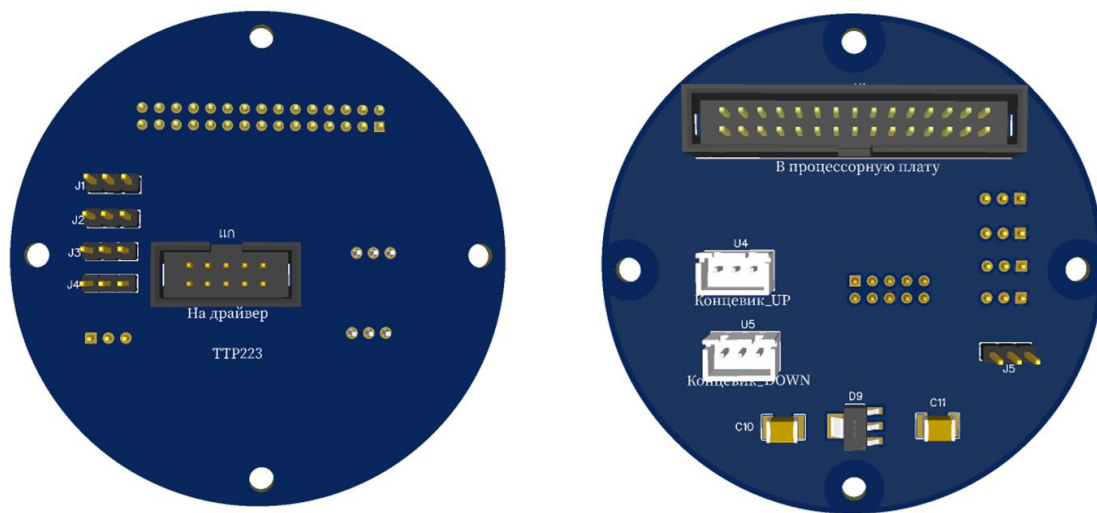


Рисунок 16 — Переходная плата

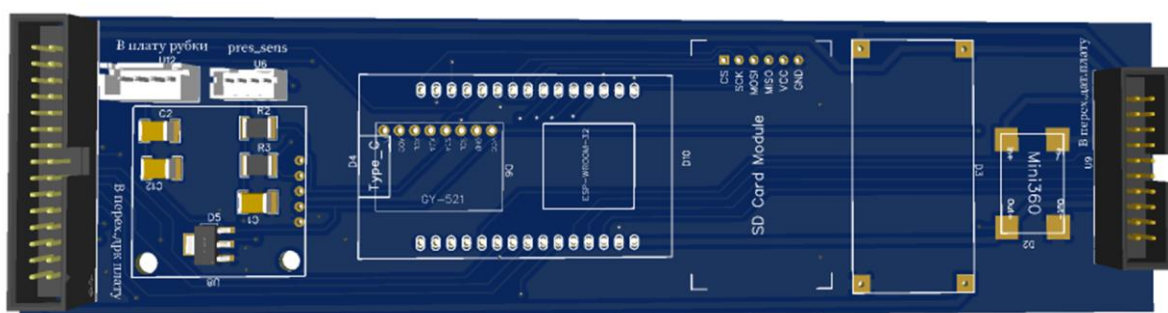


Рисунок 17 — Процессорная плата

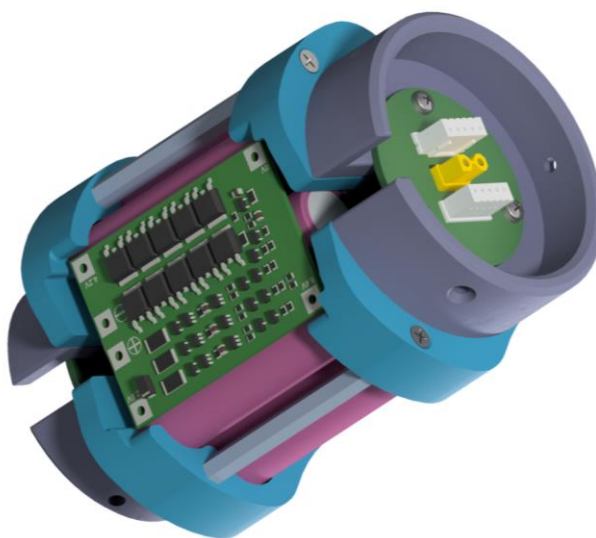


Рисунок 18 — Сборка отсека АКБ

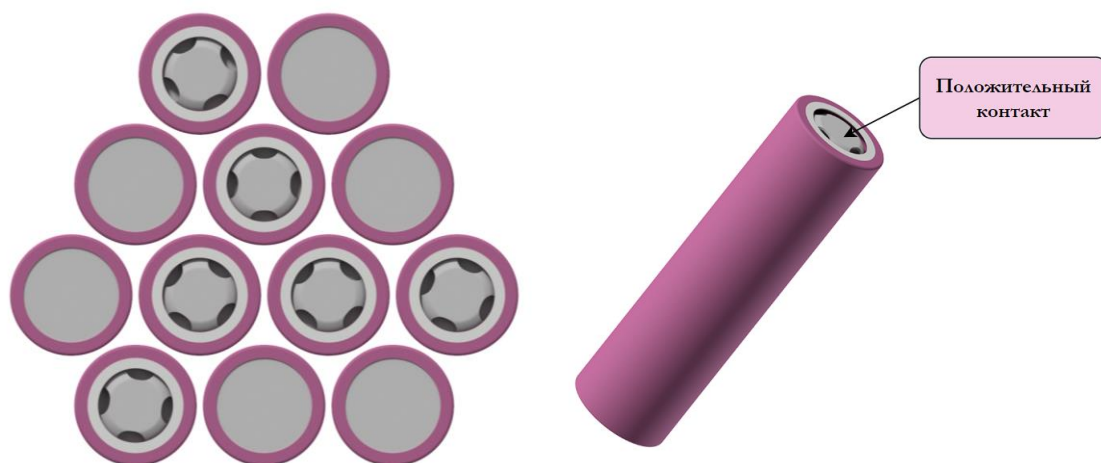


Рисунок 19 — Сборка батарей для конфигурации 4S3P

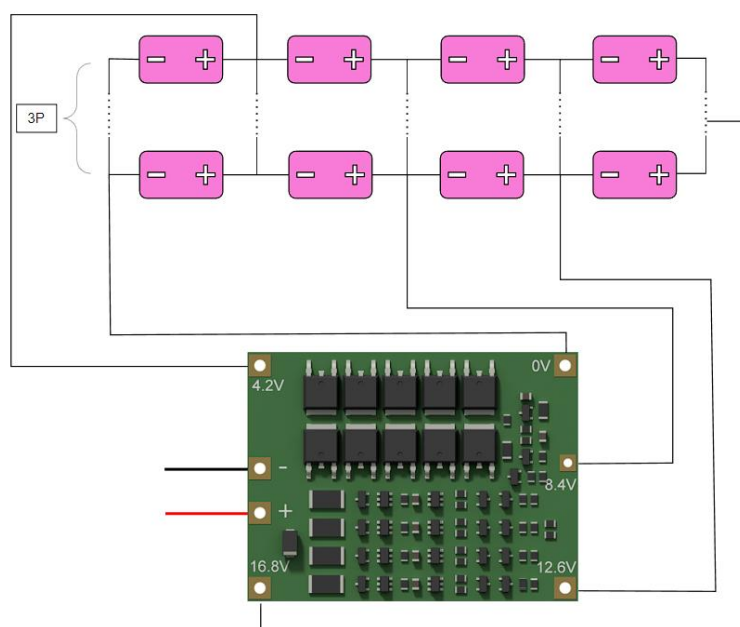


Рисунок 20 — Монтажная схема 4S3P

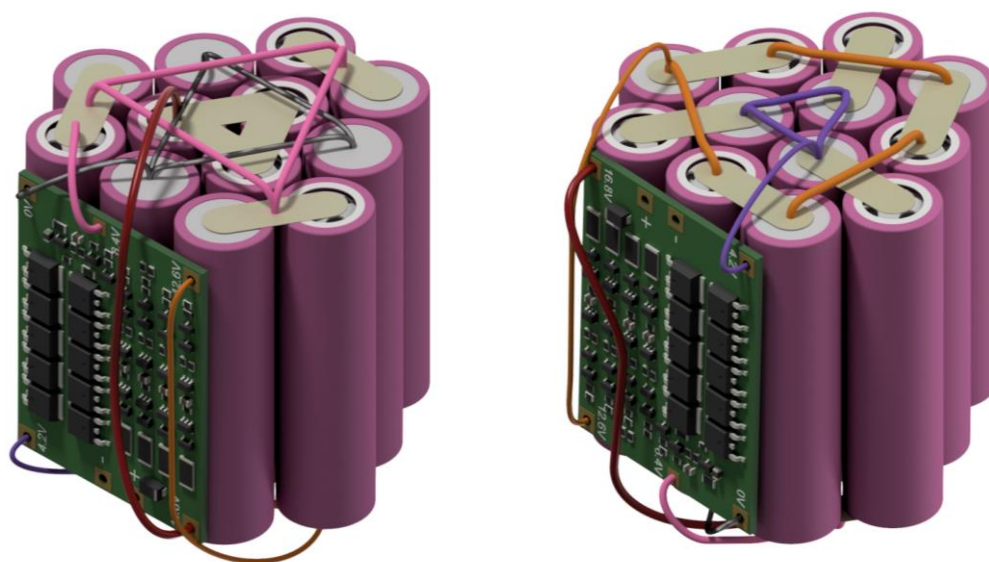


Рисунок 21 — Схема пайки сборки 4S3P

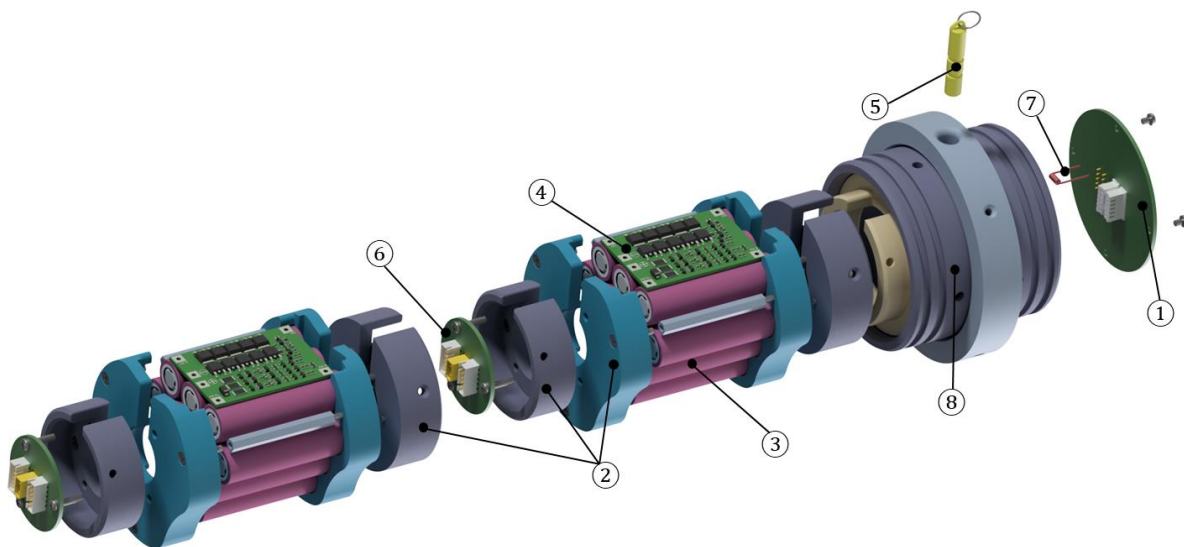


Рисунок 22 — Сборка отсека АКБ

- 1 - Переходная плата датчиков; 2 - Кронштейны для батареек;
 3 - Аккумуляторная сборка из Li-Ion батарей 18650; 4 - BMS плата;
 5 - Ключ; 6 - Печатная плата; 7 - Геркон; 8 - Переходник

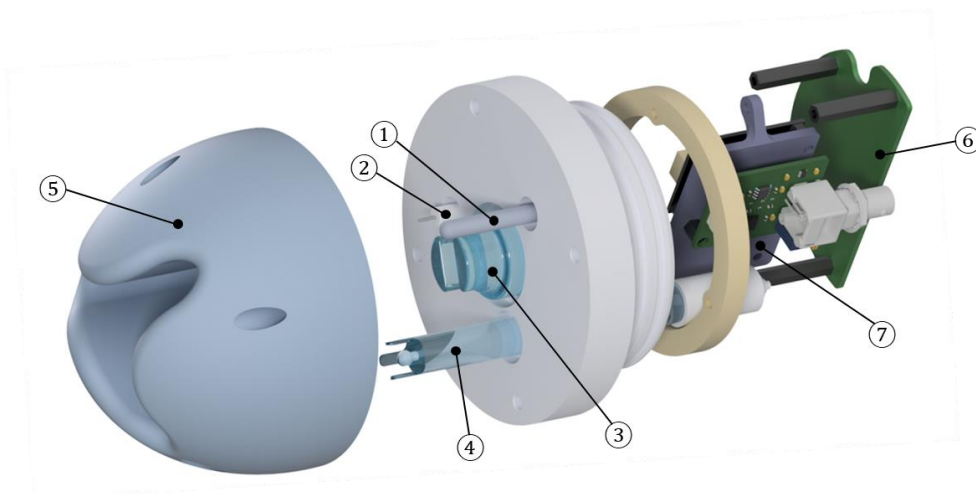


Рисунок 23 — Носовой отсек

- 1 - Датчик температуры; 2 - TDS-метр; 3 - Датчик мутности;
 4 - PH-метр; 5 - Обтекатель; 6 - Плата датчиков; 7 - Кронштейн плат

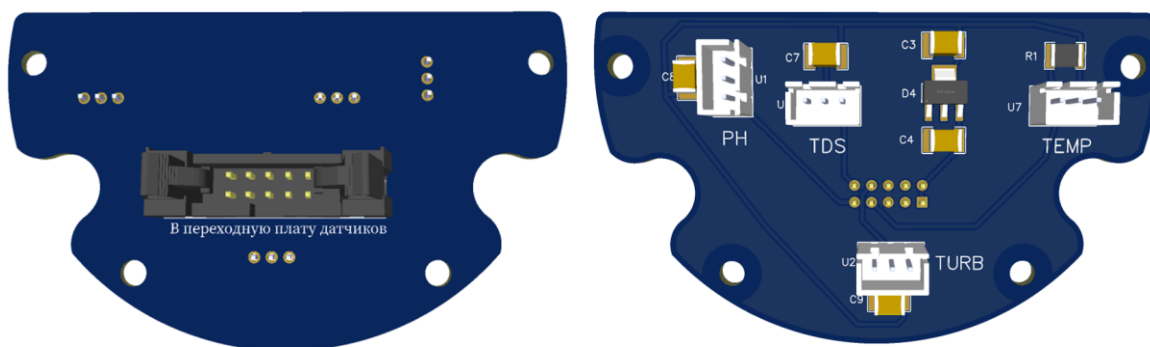


Рисунок 24 — Коммутационная плата датчиков

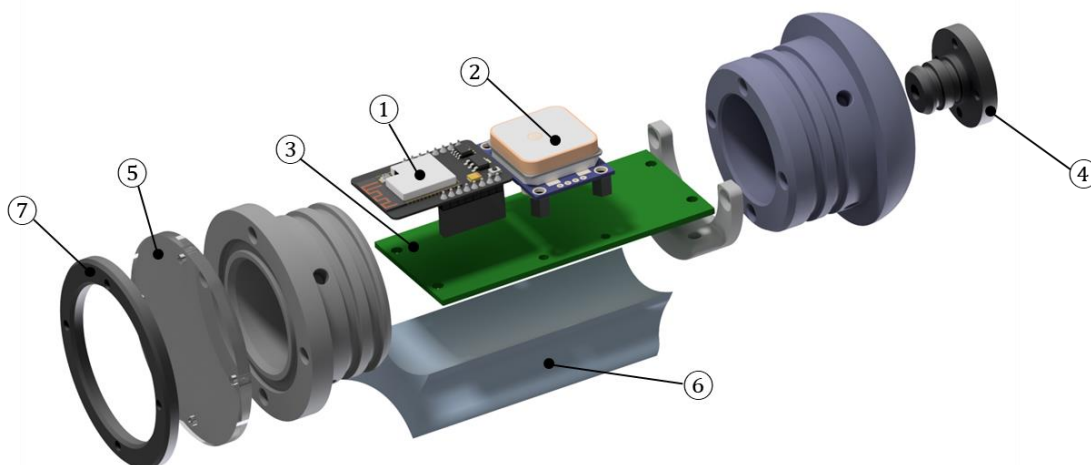


Рисунок 25 — Компоновка рубки

1 - Микроконтроллер с камерой; 2 - GPS модуль; 3 - Плата;
 4 - Гермоввод; 5 - Акриловое стекло; 6 - Кронштейн рубки;
 7 - Прижимное кольцо



Рисунок 26 — Прототип АНПА



Рисунок 27 — Изготовленные части