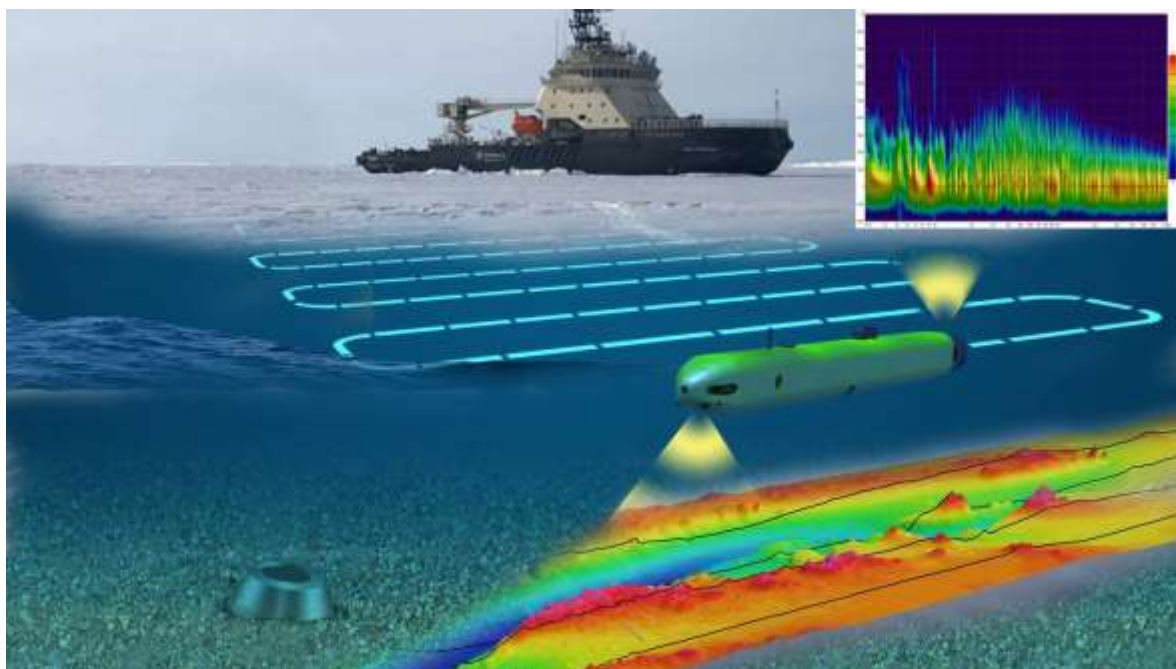


МУНИЦИПАЛЬНОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ «ДОМ ДЕТСКОГО ТВОРЧЕСТВА»

**«СОЗДАНИЕ ЦИФРОВЫХ КАРТ МОРСКОГО
ДНА И МОНИТОРИНГ ТОЛЩИНЫ ЛЕДОВОГО
ПОКРЫТИЯ С ПОМОЩЬЮ ПОДВОДНОГО
БЕСПИЛОТНОГО АППАРАТА»**



ПРОЕКТ ПОДГОТОВИЛ:

Назарчук Савелий Максимович 09.11.2010 г.р.

РУКОВОДИТЕЛИ:

педагоги дополнительного образования

Романенко Игорь Николаевич

Романенко Руслана Александровна

СОДЕРЖАНИЕ

1. Введение	3
2. Основная часть	6
2.1 Описание проекта	6
2.2 Теоретическое обоснование проекта	7
2.2.1 Основные методы определения толщины льда	7
2.2.2 Основные методы построения карты рельефа дна	8
2.3 Экспериментально-исследовательская часть	9
2.3.1 План работы	9
2.3.2 Разработка идеи	9
2.3.3 Консультация	10
2.3.4 Изучение современных принципов построения ПБА	10
2.3.5 Система навигации ПБА	12
2.3.6 Изучение доступных источников питания для обеспечения работоспособности ПБА	13
2.3.7 Комплектация ПБА устройствами для построения цифровых карт рельефа дна и толщины льда	14
2.3.8 Изучение двигательных установок для ПБА	15
2.3.9 Изучения доступных вычислительных устройств для построения прототипа ПБА	15
2.3.10 Исследование методов обеспечения связи и управления ПБА	17
3. Заключение	19
4. Список использованной литературы	20

1. ВВЕДЕНИЕ

Мониторинг толщины льда – это важная составляющая для безопасного движения кораблей различных типов по маршрутам Северного морского пути (далее Севморпути).

Для измерения толщины льда существует множество способов такие как: гидролокация, Инфракрасное зондирование, Георадиолокация, Радиолокационное зондирование и Визуальные наблюдения

Для создания цифровых карт морского дна можно использовать подводные беспилотные аппараты оснащённые: многолучевыми эхолотами, донными профилографами, лазерные сканеры.

Подводный беспилотный аппарат (ПБА) – это, устройства построенные и работающие по типу подводных лодок, батискафов и дронов. Для создания цифровых карт морского дна они оснащаются различными устройствами, такими как: высокоточные сенсоры и камеры, сонар и датчики давления, эхолоты, лазерные лидары. По типу управления они бывают: автономные, дистанционно управляемые и гибридные.

Проблема: Отсутствие полной информации о состоянии дна и толщины ледового покрытия в районах северного морского пути, создает определенные трудности для качественной круглогодичной навигации по северному маршруту.

Гипотеза: на основе подводного беспилотного аппарата можно создать устройство, которое будет одновременно создавать цифровую карту дна и контролировать толщину морского льда.

Данная информация для позволит ледоколам оперативно реагировать на текущую ледовую обстановку, прокладывая безопасный маршрут проводки судов. Одновременно на основе сотового принципа гидроакустической навигации возможно создать систему, которая бы помогала ПБА формировать гидроакустические слепки с объектов, одновременно обучаться и контролировать проходящий судовой трафик, а также обеспечивать безопасность навигации на различных участках Севморпути.

Цель: Исследовать возможность создания подводного беспилотного аппарата для мониторинга толщины льда, создания карт морского дна, реализации гидроакустической навигации, а также возможность комплектации ПБА ледокольного флота России.

Область применения: Данный проект двойного назначения. Он ориентирован не только на создание цифровых карт морского дна, но и на мониторинг толщины морского льда. Эти две сферы сейчас очень важны, так как в настоящее время интенсивность использования северного морского пути резко возросла, и в связи с ростом значимости морских грузоперевозок нужно обеспечить безопасный проход через воды Севморпути.

Задачи: Для исследования определим задачи, которые необходимо решить:

- Ознакомиться с проблемой
- Изучить основные методы мониторинга толщины льда
- Изучить основные методы построения цифровых карт морского дна
- Изучить принцип работы ПБА
- Изучить возможные виды ПБА
- Изучить принцип работы инфракрасных и эхолотных систем измерения
- Обобщить и систематизировать изученный материал
- Изучить технические возможности для построения модели ПБА
- Создать прототип ПБА и использовать его как экспериментальную установку для дальнейшего исследования возможностей по применению ПБА для решения задач построения цифровых карт и мониторинга толщины льда.
- Проанализировать эффективность таких аппаратов
- Определить перспективы развития проекта

Анализ области исследования:

При исследовании и решении поставленной проблемы будет вестись работа над изучением сотового принципа связи, гидроакустической навигации, а также особенностей ее устройства.

При исследовательской деятельности будут использованы следующие методы:

- Изучение теоретического материала о специфике работы сотовой связи и гидроакустической навигации.
- Изучение теоретического материала о специфике работы беспилотного подводного аппарата

- Синтезирование и практическая обработка полученной информации.

Актуальность: В настоящее время по Северному морскому пути проходит множество торговых маршрутов. Для того чтобы сделать проход кораблей по ним безопасным, нужно создать цифровую карту как морского дна, так и карту ледовой обстановки в режиме реального времени, чтобы она всегда была актуальна, так шанс к столкновению со льдами можно привести практически к нулю, что будет позитивно влиять на экологическую обстановку в регионе. Ведь каждое столкновение – это риски разлива топлива и загрязнения окружающей среды.

Новизна: Новизна проекта заключается в том, что с развитием различных беспилотных аппаратов, их можно использовать для создания цифровых карт морского дна и ледовой обстановки вместо кораблей, что снизит риск утраты дорогого оборудования при несанкционированных случаях. Так же эта технология поможет гораздо эффективнее исследовать поверхность дна.

Объект исследования: Цифровые карты морского дна и ледовая обстановка

Предмет исследования: Способы создания цифровых карт морского дна и мониторинга ледовой обстановки

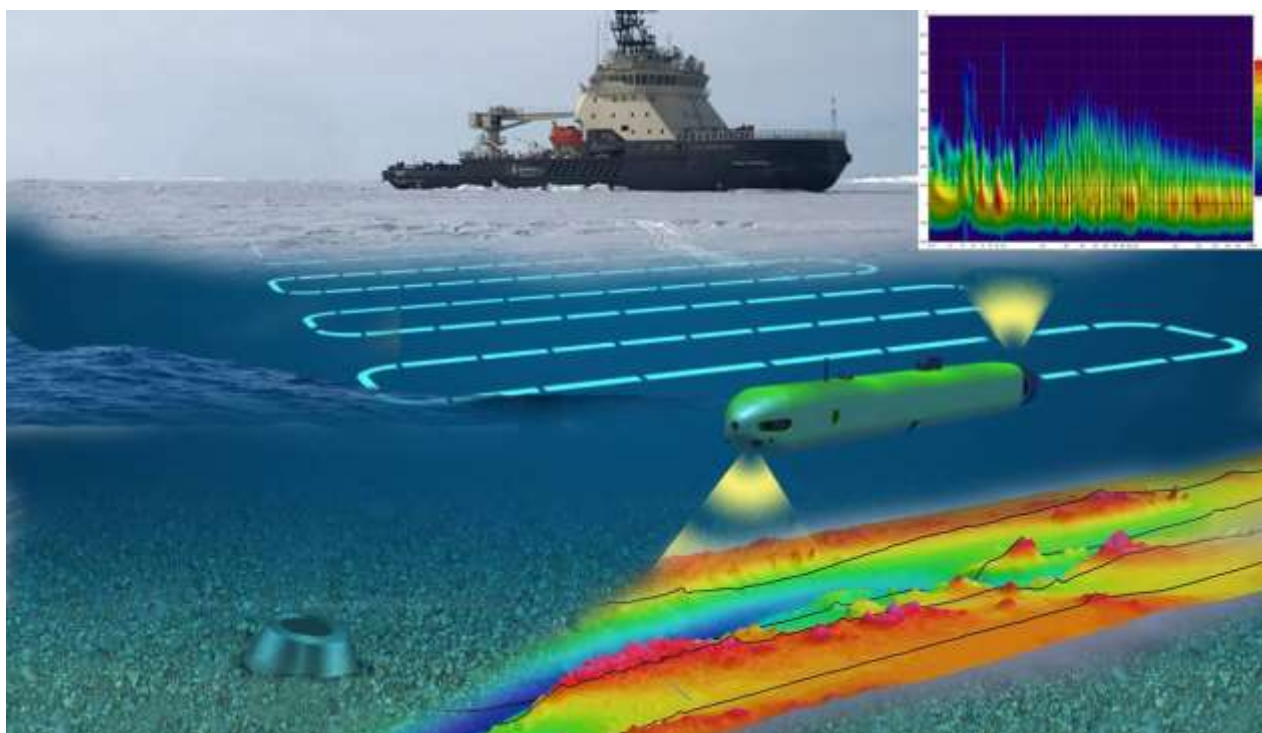
Место работы над проектом: Камчатский край, г. Вилучинск, муниципальное бюджетное учреждение дополнительного образования «Дом детского творчества».

Сроки работы над проектом: с сентября 2025 года по ноябрь 2025 года.

2. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

2.1 Описание проекта

В процессе проводки судов ледоколам необходима достоверная информация о текущей ледовой обстановке и о рельефе дна, чтобы можно было прокладывать безопасные маршруты для движения торговых судов. В современных условиях все чаще применяются БПЛА, что позволяет оперативно получать информацию в радиусе нескольких километров, но измерение толщины льда с летательного аппарата зависит от погодных условий и к тому же построение карты рельефа дна является весьма сложной задачей для БПЛА, потребуются дополнительные устройства. Учитывая слабые стороны использования БПЛА, их можно заменить на подводные беспилотные аппараты (ПБА), и например, ледоколы могут комплектоваться данными устройствами. ПБА ведут мониторинг толщины льда и исследование рельефа дна в подводном положении, что минимизирует фактор погодных условий, а также позволяет в полном объеме использовать методы контроля окружающей обстановки, основанные на гидроакустических системах. Для контроля толщины льда и построения карты рельефа дна гидролокация использует очень часто и весьма эффективно. Создание автономных ПБА и комплектация ими ледоколов позволит максимально эффективно и оперативно реагировать на изменения ледовой обстановки и поиска оптимальных фарватеров движения при проводке судов.



2.2 Теоретическое обоснование проекта

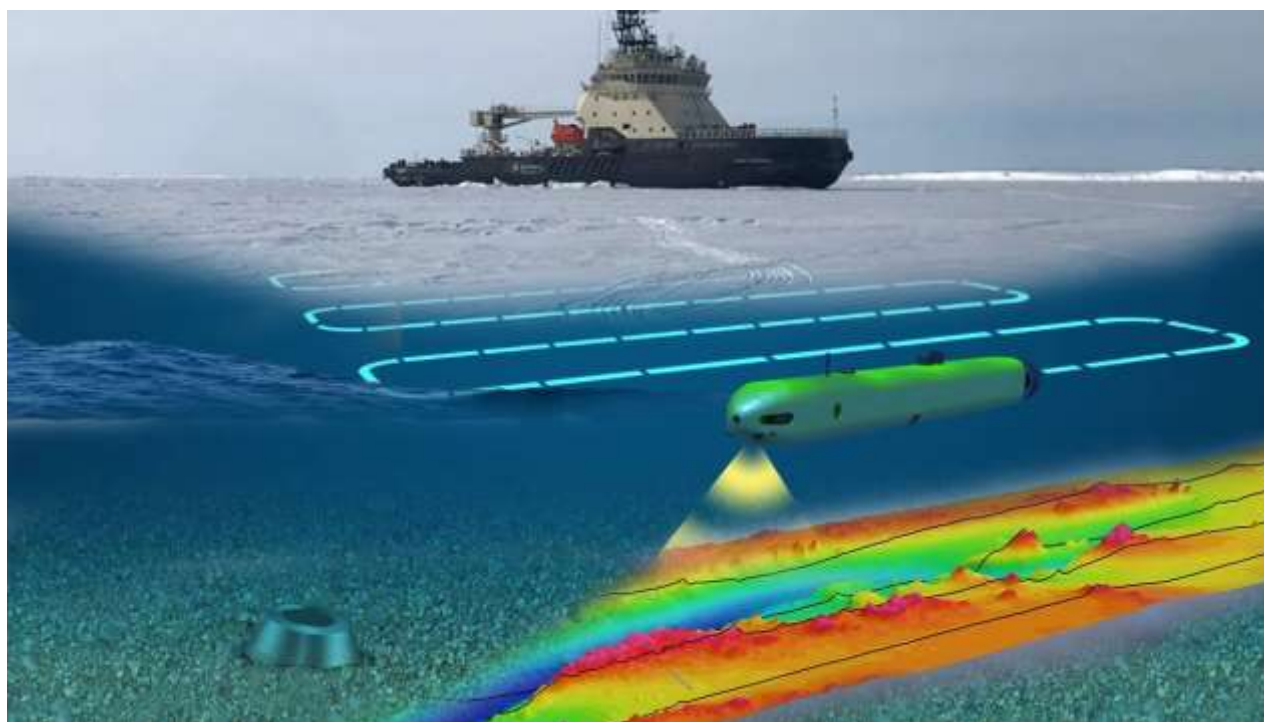
2.2.1 Основные методы определения толщины льда

Метод	Описание
Бурение ледового покрова	Бурение льда является наиболее точным, но одновременно и наиболее трудоемким методом измерения толщины льда. Выполняется путем бурения ледяного поля ручным или мото-буром и последующим измерением толщины льда
Акустический метод (эхолокация)	Применяется на подводных лодках и необитаемых подводных аппаратах, на погружаемых гидроакустических буйках. С помощью данного оборудования определяется осадка льда: антенна эхосонара излучает эхосигнал, который отражается от нижней поверхности льда и фиксируется принимающим устройством, далее осадка льда рассчитывается на основе двух параметров – времени прохождения сигнала и глубиной погружения прибора. В качестве уровня отсчета используется, как правило, глубина погружения антенны эхосонара, определяемая путем измерения абсолютного гидростатического давления. Для расчетов толщины льда используется осредненное соотношение, где осадка льда составляет 93% от общей толщины льда. Ошибки могут составлять по разным оценкам от 0,15 до 0,38 м. Если такие ошибки не слишком существенны для толстых льдов, то для тонких льдов – имеют большое значение.
Электромагнитный метод	Наиболее распространенный метод малого и среднего глубинного зондирования. Электромагнитный толщиномер состоит из компьютера, GPS-модуля, лазера и двух электромагнитных антенн (передатчик и приемник). Принцип работы прибора основан на измерении электропроводности льда с учетом того, что меньшие значения электропроводности соответствуют большим значениям толщины льда. Передатчик толщиномера генерирует электромагнитное поле, проходящее через лед. На нижней границе поверхности льда при столкновении с морской водой образуется вихрь, в результате чего появляется вторичное электромагнитное поле. Вследствие большой разности электропроводности морского льда и морской воды, поступающий от передатчика, сигнал хорошо «распознает» границу «лед-вода».
Визуальные судовые наблюдения	Наблюдения за толщиной льда выполняются ледовым наблюдателем, находящимся на ходовом мостике судна.

Изучив предложенные методы, можно сделать вывод, что для ПБА оптимальный метод это акустический метод, при комплектации подводного аппарата прожекторами и видеокамерами можно осуществлять и визуальный метод.

2.2.2 Основные методы построения карты рельефа дна

Метод	Описание
Сейсмоакустика	Результаты сейсмического профилирования позволяют описать изменения мощности каждого слоя в пространстве, что используется для построения трёхмерной модели рельефа дна.
Акустический метод (эхолокация)	Эхолокация (использование звуковых волн) используется для изучения рельефа дна с помощью эхолотов (сонаров). Эти приборы визуализируют уклоны, ямы, возвышенности, коряги и другие подводные особенности, составлять карты донного рельефа, выявлять подводные горы, каньоны, равнины и другие геологические образования. Точность измерения глубины может зависеть от температуры воды, солёности и наличия пузырьков воздуха, которые влияют на скорость распространения звука.
Технология LIDAR (обнаружение света и определение дальности)	Позволяет создавать трёхмерные карты морского дна путём измерения расстояний с помощью лазерного света. Лазерные импульсы от датчика, расположенного над поверхностью воды, отражаются от морского дна и возвращаются к датчику. Время между отправкой импульса и его возвращением используется для расчёта расстояния, что позволяет определить координаты точек на дне. Ограничения лидара: для расчёта глубины воды необходимо чётко различать донные и поверхностные сигналы, а в случае небольшой глубины эти сигналы накладываются друг на друга.



Изучив доступные методы построения цифровых карт рельефа дна, можно сделать вывод, что использование акустического и оптического методов оптимально подходят для решения поставленной задачи с помощью ПБА

2.3 Экспериментально-исследовательская часть

2.3.1 План работы

Для проведения опытно-исследовательской работы потребуется построение экспериментальной лаборатории в виде прототипа подводного беспилотного аппарата с его помощью можно будет исследовать и отработать основные принципы построения ПБА, эффективность выбранных методов построения цифровых карт рельефа морского дна и способов измерения и мониторинга толщины ледового покрова. На практике исследовать доступные методы навигации, связи и алгоритмы управления и использования подводных беспилотных аппаратов совместно с ледоколами или исследовательскими надводными судами.

- Разработка идеи
- Консультация
- Изучение современных принципов построения ПБА
- Изучение принципа работы различных узлов и механизмов беспилотного подводного аппарата
- Изучение принципа работы навигационных систем подводных аппаратов
- Изучение доступных источников питания для обеспечения работоспособности ПБА
- Изучение двигательных установок для ПБА
- Исследование методов гидроакустической эхо локации для построения карт рельефа морского дна и измерение толщины льда
- Исследование методов оптического анализа окружающей (LIDAR) обстановки для построения цифровых карт рельефа морского дна и плотности и толщины ледового покрова
- Изучения доступных вычислительных устройств для построения прототипа ПБА
- Исследование методов обеспечения связи и управления ПБА
- Определение перспектив развития проекта

2.3.2 Разработка идеи

На данный момент сейчас особенно развивается освоение, в том числе и передвижение по Северному морскому пути. Это подтверждают многие новостные программы, статьи, в которых говорится о планах развития в различных областях госкорпораций. Так известно, что только в 2021 году 20 грузовых судов были

заблокированы во льдах в Арктике, которые никак не могли обойтись без помощи сторонних судов. Так обостряется проблема, решение которой может являться создание цифровых карт ледовой обстановки и рельефа морского дна при помощи беспилотного подводного аппарата. Подводные беспилотные аппараты могут быть абсолютно автономные и действовать независимо от других надводных судов или подводных аппаратов в радиусе сотни или тысячи километров. Другой тип ПБА — это относительно небольшие аппараты, которыми могут комплектоваться ледоколы, данные подводные аппараты в процессе своей работы взаимодействуют с надводным судном и радиус их действия 5-10 километров они могут в реальном времени вести наблюдение за ледовой обстановкой и осуществлять цифровой мониторинг рельефа дна. В данной исследовательской работе сконцентрируемся на ПБА второго типа которыми можно комплектовать ледокольный флот или гидрографические исследовательские суда. Место моего проживания и учебы это город героев подводников – Вилючинск, что дает дополнительную мотивацию для по исследованию возможностей подводных беспилотных аппаратов.

2.3.3 Консультация

Руководители:

Романенко Игорь Николаевич, Романенко Руслана Александровна

Консультация:

Консультировался с специалистами разных направлений, проходящих службу на подводных лодках: штурманами, связистами гидроакустиками, механиками.

2.3.4 Изучение современных принципов построения ПБА

На данном этапе наиболее популярными являют два подхода в построении подводных беспилотных аппаратов: К первому варианту относятся аппараты напоминающие квадрокоптеры, управление движением по вертикали и горизонтали осуществляется с помощью 4 или более винтов расположенных горизонтально. Данный подход достаточно удобен, так как для управления движением можно использовать уже хорошо себя зарекомендовавшие алгоритмы на БПЛА квадрокоптерного типа. Ко второму варианту относятся подводные аппараты напоминающие современные подводные лодки где есть классический гребной винт горизонтальные и вертикальные рули, а для управления

погружением и всплытием используется балластная система. ПБВ построенные по такой схеме более сложны в управлении, но при этом обладают лучшей гидродинамикой, надежностью, более высокими характеристиками автономности, глубины погружения .

Тип ПБА как подводная лодка.

Подводный беспилотник «Клавесин»

Производство конструкторское бюро «Рубин» Макс. дальность перемещения 50 км Скорость 1,5 м/с

Длина 6,5 м Масса 3700 кг

Оснащён круговым гидроакустическим локатором, позволяющим исследовать морское дно шириной до 800 м Глубина погружения 6000 м

Квадрокоптерный тип ПБА.

The diagram shows a yellow quadcopter-style AUV with four propellers. Labeled components include: CPU, BATTERY, ELECTROMAGNETIC DOCK, OPTICAL COMMS NODE (three locations), THRUSTERS, UT SENSOR, and HD CAMERA. The HYDROMEIA logo and 'HYDROMEIA PROPRIETARY TECHNOLOGY' are also visible.

Свой выбор я решил остановить на подводном аппарате типа «подводная лодка».

2.3.5 Система навигации ПБА

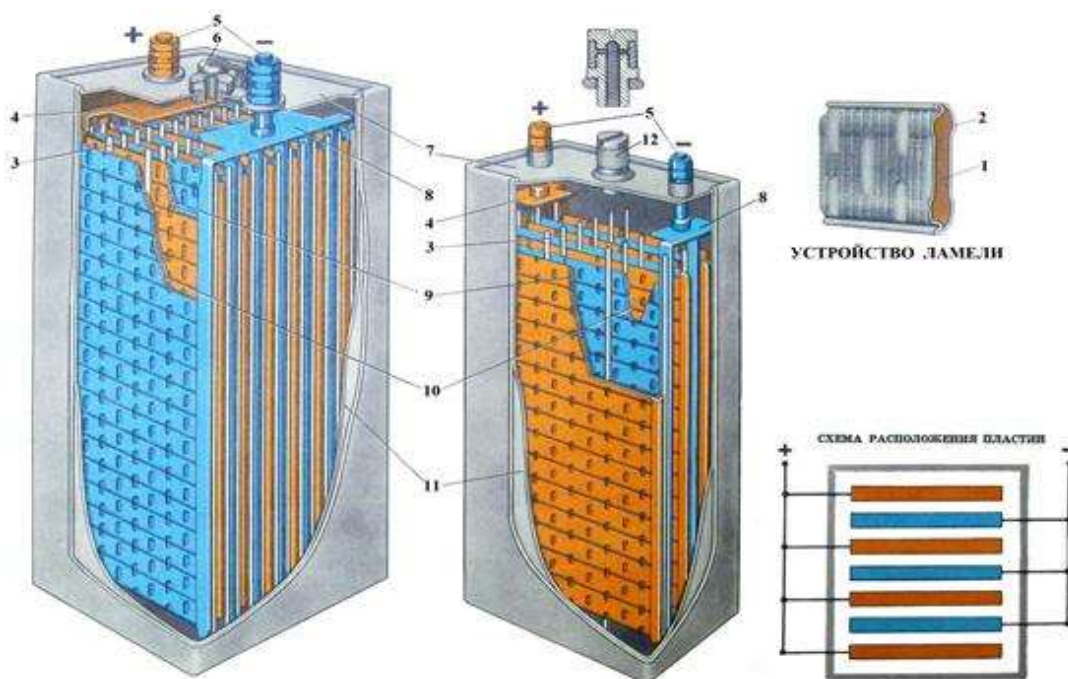
На данном этапе наиболее популярными являют два подхода в построении подводных беспилотных аппаратов: К первому варианту относятся аппараты напоминающие

Вид навигации	Достоинства	Недостатки
Спутниковая навигация	<ol style="list-style-type: none">1. Независимость от метеорологических условий.2. Независимость от особенностей ландшафта.3. Способность непрерывной работы, а также круглосуточной доступности.	<ol style="list-style-type: none">1. Частая ошибка из-за переотражения сигналов со спутника от окрестных объектов.2. Искажение измеряемой дальности из-за дифракции волн.
Радиолокационная навигация	<ol style="list-style-type: none">1. Оперативность передачи собранных координат на высокие расстояния.2. Практически не зависит от метеорологических условий, времени суток.3. Одновременное обнаружение нескольких координат.	<ol style="list-style-type: none">1. Высокая стоимость используемой в навигации аппаратуры.2. Сбой в работе из-за различных препятствий и радиопомех.3. Невозможность использования в помещении или под землей.4. Неточность вычисления высот.
Гидроакустическая навигация	<ol style="list-style-type: none">1. Высокая точность в определении координат.2. Отсутствие влияния внешних факторов (волнения моря).3. Почти неограниченная возможность глубины использования4. Возможность расположения установок как на суше, так и под водой.	<ol style="list-style-type: none">1. Крупногабаритная система.2. Выставление и поднятие базисных станций на дно
Инерциальная навигационная система (ИНС)	<ol style="list-style-type: none">1. Непрерывная быстрая выдача параметров (скорости, координат, ускорения, ориентации)2. Высокая частота выдачи информации	<ol style="list-style-type: none">1. Ошибка в определении параметров с течением времени.2. Необходимость периодической коррекции внешних приборов для повышения долговременной точности.

На разрабатываемом подводном беспилотном аппарате планируется использовать инерциальную систему навигации, спутниковую, оптическую телеметрию, гидроакустическую а также режим дистанционного управления. Кокой конкретно режим навигации будет использоваться зависит от режима применения ПБА, решаемых задач и текущей обстановки. Например: ПБА управляется дистанционно по опто-волоконному кабелю тогда рационально использовать как основной метод управления - оптическую телеметрию. ИНС, гидроакустическую использовать как дублирующие. В случае потеря связи по кабелю, будут задействованы альтернативные каналы управления и навигации. В случае долгой и автономной работы основным способом навигации будет ИНС, для корректировки местоположения при возможности всплытия на открытую водную поверхность можно использовать спутниковые системы.

2.3.6 Изучение доступных источников питания для обеспечения работоспособности ПБА

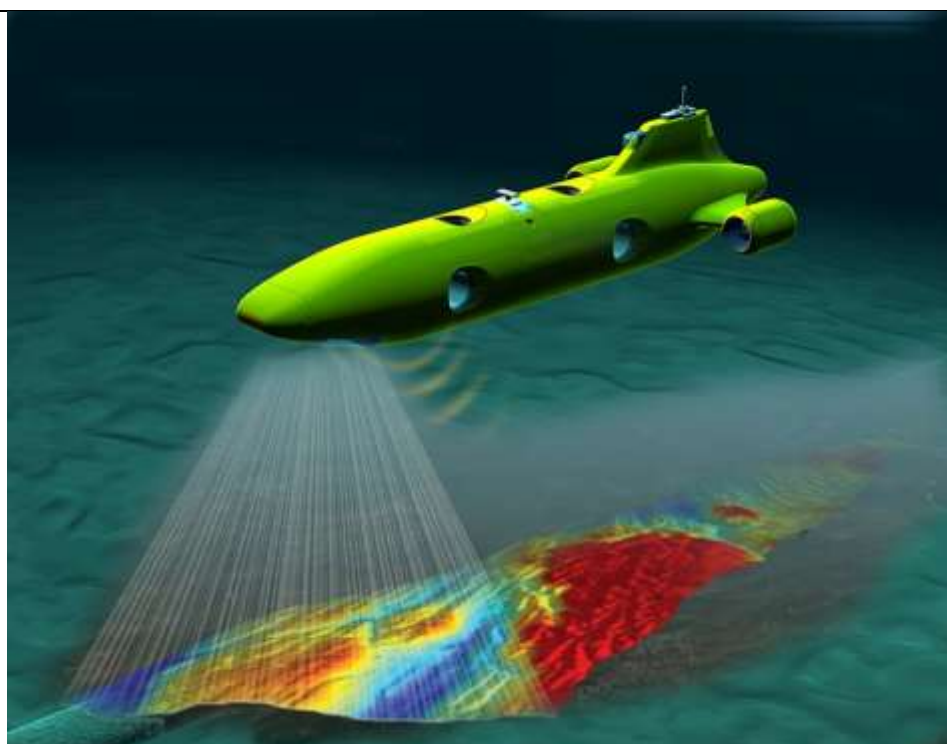
Выбор источника питания для ПБА зависит от размеров и задач которые ставятся для конкретного типа подводного аппарата. Дииапоон технологических решений от аккумуляторных батарей до миниатюрных ядерны реакторов. Для ПБА ближней зоны действия вполне достаточно аккумуляторов и резервного генератора на сжатом воздухе, который задействуется в случае аварийного выхода из строя основных источников питания.



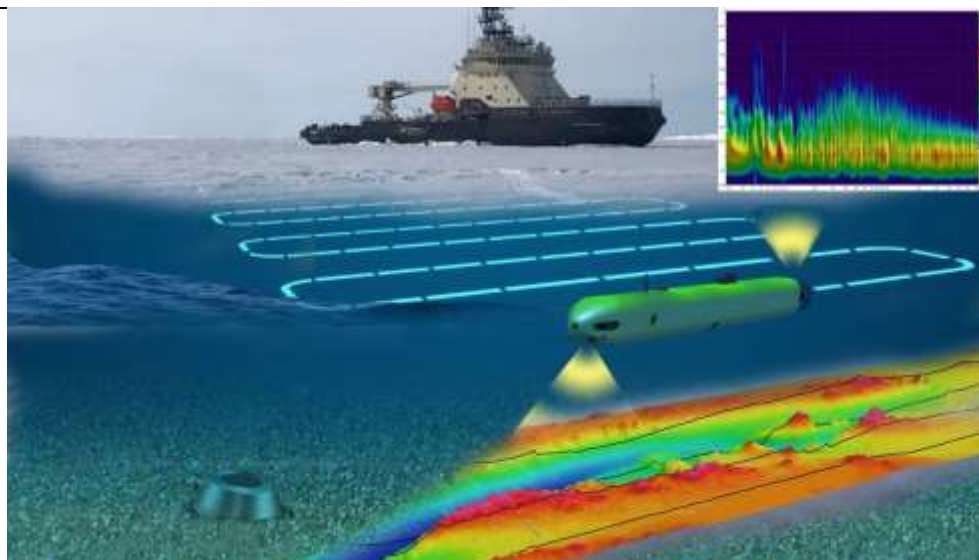
2.3.7 Комплектация ПБА устройствами для построения цифровых карт рельефа дна и толщины льда

Так планируется использовать акустические и оптические методы ПБА должен комплектоваться гидроакустическими эхолотами направленного действия в верхней полусфере для эхолокации поверхности льда и в нижней полусфере для эхолокации поверхности морского дна, а так же эхолотом в передней полусфере для мониторинга препятствий. Аналогичная ситуация с оптическими системами нужно устанавливать лидары для верхней и нижней полусфер.

Построение карты рельефа дна

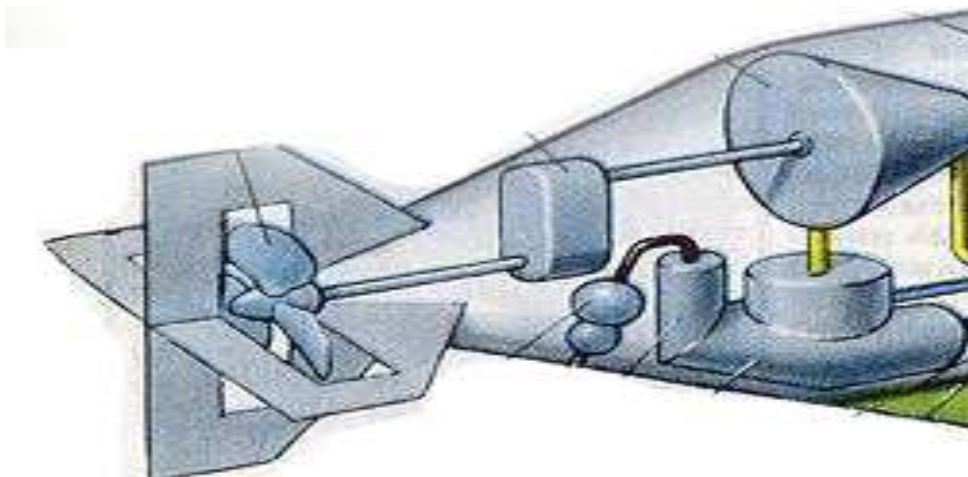


Построение карты рельефа дна и мониторинг толщины льда.



2.3.8 Изучение двигательных установок для ПБА

В подводном беспилотном аппарате типа «подводная лодка» оптимальным вариантом является одновальная и двухвальная система с классическим гребными винтами которая приводится в движение электродвигателями. Как резервную систему аварийного движения можно использовать аналог водометной системы на сжатом воздухе.



2.3.9 Изучения доступных вычислительных устройств для построения прототипа ПБА

Для построения экспериментальной лаборатории виде прототипа ПБА, можно будет использовать одноплатный компьютер Raspberry Pi и микроконтроллеры. На одноплатном компьютере будет осуществляется вся основная работа по реализации системы управления и расчетом построения цифровых карт морского дна и мониторинг толщины ледового покрытия. Для построения системы навигации можно использовать платы полетных контроллеров БПЛА, на базе микроконтроллерах STM32, Для управления механической частью рационально задействовать микроконтроллеры AVR или STM32.

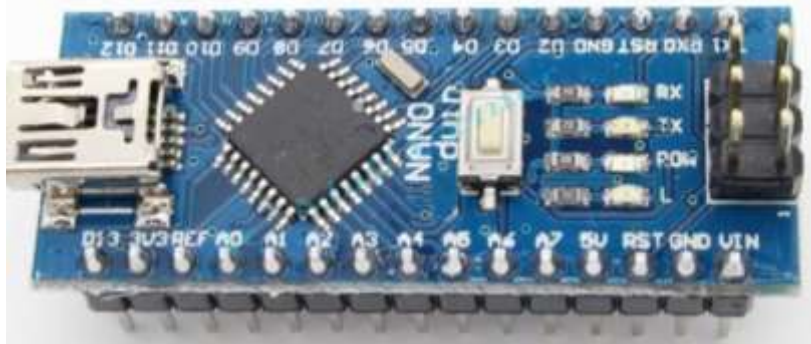
Одноплатный компьютер Raspberry Pi



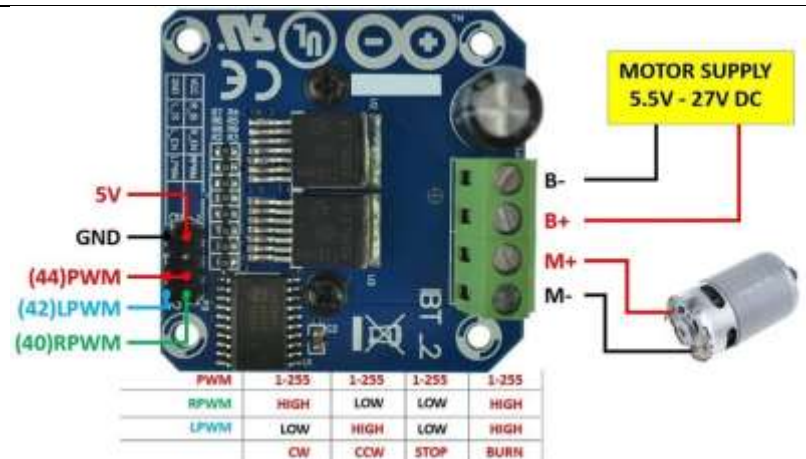
Полетный контроллер на STM32 F405.



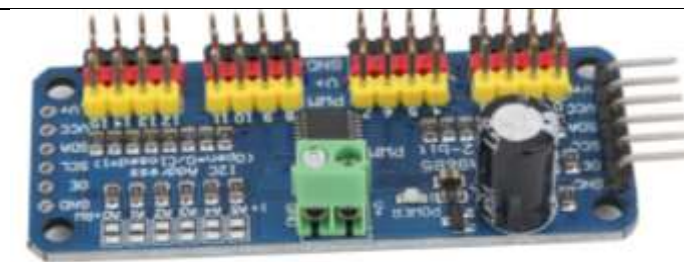
Микроконтроллеры AVR Arduino Nano



Плата контроллера двигателей



Плата контроллера сервомоторов





2.3.10 Исследование методов обеспечения связи и управления ПБА

Построение системы связи и управления подводных беспилотных аппаратов зависит от уровня автономности. Для систем ближней зоны действия, которые используют ледоколы или исследовательские суда как базу можно использовать оптоволоконные каналы связи, успешно себя зарекомендовавшие в БПЛА а как аварийные можно задействовать гидроакустические системы связи. Гидроакустические каналы связи в отличие от оптоволоконных обладают существенно более низкой пропускной способностью и соответственно передавать большие объемы данных по этим каналам затруднительно. Но как аварийные системы связи при выходе из строя основного канала использовать возможно. Для ПБА абсолютно автономных помимо обычных радиоканалов и гидроакустических систем, можно использовать спутниковые каналы связи при условии всплытия на поверхность воды свободную от покрова льда.

Пульт управления на базе оптоволоконной связи



Пульт управления гидроакустической связи



3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследования подтвердилась возможность создания подводного беспилотного аппарата для создания цифровых карт морского дна и мониторинга толщины льда: исследованы теоретические аспекты данной темы, подготовлены материалы для создания прототипа ПБА и использования его в качестве экспериментальной установки для практической отработки алгоритмов построения цифровых карт и измерения толщины льда.

Подтвердилась гипотеза, что на основе подводного беспилотного аппарата можно создать устройство, которое будет одновременно создавать цифровую карту рельефа морского дна и контролировать толщину ледового покрова над поверхностью воды, данная информация для позволит ледоколам оперативно реагировать на текущую ледовую обстановку, прокладывая безопасный маршрут проводки судов. Одновременно на основе ПБА возможно создать систему, которая бы помогала формировать гидроакустические слепки с объектов, одновременно обучаться и контролировать проходящий судовой трафик, а также обеспечивать безопасность навигации на различных участках Севморпути.

4. СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атомные ледоколы дооснастили новым оборудованием для мониторинга ледовой обстановки [Электронный ресурс].

<https://morvesti.ru/news/1679/114057/?Ysclid=mhu1onzckm981619958> (Дата обращения: 27.01.2025)

2. Гидроакустика. [Электронный ресурс]. URL:

<https://ru.wikipedia.org/wiki/Гидроакустика> (Дата обращения: 27.01.2025)

3. Устройство гидроакустической системы [Электронный ресурс]. URL: <https://poisk-ru.ru/s3035t15.html?Ysclid=ld47ybnhhn392242577>

(Дата обращения: 28.01.2025)

4. Навигационные гидроакустические системы [Электронный ресурс]. URL:

<https://poisk-ru.ru/s3035t15.html?Ysclid=ld47ybnhhn392242577> (Дата обращения: 28.01.2025)

5. Обзор методов и основных результатов измерения толщины морского льда в Арктике [Электронный ресурс]. <https://russian-arctic.info/info/articles/oceanology/obzor-metodov-i-osnovnykh-rezultatov-izmereniya-tolshchiny-morskogo-lda-v-arktike/> (Дата обращения: 27.01.2023)

6. Справочник по гидроакустике. – Ленинград; Судостроение, 1982 г.- 339 с.: ил., Александр Петрович Евтютов, Аким Павлович Ляликов, Валерий Брониславович Митько, Владимир Иванович Пономаренко, Анатолий Леонидович Простаков, Григорий Михайлович Свердлин, Михаил Дмитриевич Смаришев, Юрий Федотович Тарасюк, Алексей Евгеньевич Колесников.

7. Сотовые системы связи. – Москва; Бином, Лаборатория знаний, 2009 г.- 360 с.: ил., А.Н.Берлин

8. Способ измерения толщины льда [Электронный ресурс].

<https://patenton.ru/patent/RU2559159C1> (Дата обращения: 27.01.2023)

9. Способ измерения толщины льда с подводного носителя [Электронный ресурс].

<https://patenton.ru/patent/RU2510608C1> (Дата обращения: 27.01.2025)