



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра Информационных технологий и систем безопасности

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**  
(Бакалавр)

На тему Разработка математической модели оптимального наряда судов при планировании гидрографических работ съемки рельефа дна в районе морской деятельности

Исполнитель Латышев Илья Андреевич  
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель профессор каф. ИТСБ д.т.н.  
(ученая степень, ученое звание)

Завгородний Владимир Николаевич  
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»  
Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_  
(подпись)

\_\_\_\_\_  
доктор технических наук  
(ученая степень, ученое звание)

\_\_\_\_\_  
Бурлов Вячеслав Георгиевич  
(фамилия, имя, отчество)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 г.

Санкт-Петербург  
2023

## Оглавление

Введение.....	3
Глава 1. Теоретическая часть.....	5
1.1. Понятие и цели гидрографических работ.....	5
1.2. Добыча полезных ископаемых, основные части и особенности морского дна.....	6
1.3. Порядок проведения гидрографических работ.....	9
1.4. Съёмка рельефа дна, инструменты и порядок подготовки для ее выполнения.....	9
1.5. Суда для выполнения гидрографических работ.....	14
1.6. Суда используемые для решения задачи.....	17
1.7. Порядок обработки полученных данных после проведения гидрографических работ.....	25
2 Глава. Практическая часть.....	28
2.1. Понятие оптимального решения и способы ее достижения.....	28
2.2. Идея линейного программирования.....	30
3 Глава. Расчетная часть.....	32
3.1. Маршрут прокладки трубопровода и расчет объема гидрографических работ.....	32
3.2. Расчеты затрат на топлива используемых судов.....	35
3.3. Постановка задачи, ее решение и оптимизация.....	36
3.4. Техничко-экономическое обоснование.....	42
Заключение.....	48
Список литературы.....	49

## Введение

В настоящее время все больше изучается морское дно, по причине присутствия на морском шельфе большого количества ископаемых, транспортировка и добыча которых требует ряд работ по строительству необходимых сооружений, которые были бы невыполнимы без знаний рельефа дна.

Гидрографические работы имеют долгую историю, начиная с древних цивилизаций, которые использовали различные способы для измерения глубин и формирования карт морских путей. В Древней Греции и Риме использовались простые инструменты, такие как грузы на веревке, чтобы измерять глубину моря. В Средние века наиболее распространенным методом было использование линейки с грузом на конце, которая опускалась в воду.

Перед тем как начать вести какого рода деятельность необходимо исследовать район, исследование проводится на месторождения, возможность доставки до мест хранения и обработки. Для этих целей необходимо провести ряд гидрографических работ, в том числе и по съемке дна. В ходе которых будут отмечены особенности дна на участке исследования. По мимо этого, важную роль при проведении гидрографических работ играет оптимальное распределение ресурсов, требуемых для их проведения.

Актуальность работы обуславливается тем, что для морской деятельности в водном районе требуется знать рельеф дна, поэтому исследования дна являются востребованными в настоящее время.

Объект исследования — проведение гидрографических работ по съемке рельефа дна в Балтийском море.

Предмет исследования — оптимальное распределение предложенных судов для гидрографической съемки рельефа дна по секторам в определенном районе.

Цель исследования — определить оптимальный наряд судов для планирования гидрографических работ съемки рельефа дна в районе морской деятельности.

Задачи исследования:

- Выбрать суда, для исследования территории;
- Разработать путь прокладки трубопровода и территорию исследования для гидрографических работ;
- Поставить задачу проведения гидрографических работ на указанной территории;
- Определить способ и выявить оптимальное решение.

Новизна выпускной квалификационной работы заключается в том, что модель составлена для определенной территории Балтийского моря с учетом тактико-технических характеристик определенного наряда судов. В результате чего будут получены расчеты не для обобщения, а для определенной территории и судов.

Теоретическая значимость — все расчёты и полученные впоследствии результаты оптимизационной модели приведены для отдельно выбранного района морской деятельности.

В ходе выполнения работы будет изучены принципы гидрографических работ, поставлена задача динамического программирования, которая будет решена и оптимизирована.

Выпускная квалификационная работа состоит из: титульного листа, содержания, введения, основной части из 3 глав, заключения и списка литературы.

## Глава 1. Теоретическая часть.

### 1.1. Понятие и цели гидрографических работ

В связи с неровностью и неоднородностью морского дна возникла потребность в составлении карт дна, которые буду давать, если не полное, то хотя бы частичное понимание того, какой рельеф у дна в определенных районах, где готовятся проводиться определенные работы, что упростит и повысит их эффективность, а так же безопасность, кроме того, будут значительно снижены расходы, не смотря на то, что для проведения гидрографических работ тоже нужны средства, это обуславливается снижением издержек, которые могли возникнуть при выполнении задач по причине не знания особенностей местности, рельефа дна.

Гидрографические работы - это совокупность работ, связанных с изучением гидрологических характеристик водных объектов (рек, озер, морей), а также их геометрических параметров (глубины, формы дна и т.д.). В рамках гидрографических работ проводятся измерения, обработка и анализ полученных данных, создание карт и планов водных объектов, а также разработка рекомендаций по использованию и охране водных ресурсов. Гидрографические работы выполняются специализированными организациями и инженерами-гидрографами.

Цели гидрографических работ:

- 1.Создание и обновление карт и планов водных течений, глубин, пли в течение времени.
- 2.Определение географических координат и местоположения рек, озер, водохранилищ, берегов и других водных объектов.
- 3.Изучение особенностей и изменений геометрии дна рек и других водоемов.
- 4.Определение качества и количества подземных вод и течений грунтовой воды.

5. Анализ и прогнозирование изменений водоемов и их связи с климатическими и геологическими факторами.

6. Обеспечение безопасности навигации и защиты береговой линии путем идентификации обстановки на реках и побережьях.

7. Подготовка данных для создания эффективных систем управления водными ресурсами.

8. Предоставление информации для решения экологических и природных проблем, связанных с водными ресурсами и окружающей средой.

С развитием технологий и научных методов гидрографические работы стали более точными и эффективными. В 18 веке была создана первая гидрографическая служба во Франции, которая занималась созданием карт морских путей. В 19 веке была создана Британская гидрографическая служба, которая стала одной из наиболее известных и авторитетных в мире.

В настоящее время гидрографические работы являются важной частью морской инфраструктуры и осуществляются по всему миру. Они включают в себя создание и обновление карт морских путей, измерение глубин и топографии дна, определение приливов и отливов, а также многие другие виды исследований. Гидрографические работы играют важную роль в обеспечении безопасности на море и развитии морской экономики.

## 1.2. Добыча полезных ископаемых, основные части и особенности морского дна.

Добыча полезных ископаемых была всегда важной частью экономики страны. За многие годы их добычи привело к проблеме скорого истощения запасов и жил, это все приводит к, если не полному, то хотя бы в какой-то части, переходу добычи полезных ископаемых из шельфа мирового океана. На данный момент добывается около 50% газа и нефти как раз из шельфа мирового океана.

Основные части дна:

Шельф: наиболее близкая к берегу и поэтому более изученная часть океанского дна. Она располагается от берега до глубины около 200 метров.

Слой абиссальных равнин: на глубине от 200 метров до примерно 6 000 метров находятся огромные плоские равнины, которые часто называют абиссальными равнинами. Эти равнины покрыты мягкой глиной.

Глубоководные хребты: самая глубокая точка на Земле, Марианский жёлоб, на глубине 10 994 метра, расположена на восточной стороне Гуама в Тихом океане, а не на хребте. Однако глубоководные хребты являются самой высокой частью океанского дна, некоторые из которых поднимаются более чем на 9 000 метров относительно глубоководных абиссальных равнин, которые окружают их [1].

Из подводного шельфа добывается нефть, газ, каменный уголь, металлы, минеральные ископаемые и другие виды ресурсов. Эти ресурсы являются неотъемлемой частью мировой экономики и играют важную роль для развития технологий и всех областей промышленности. Например, нефть и газ являются основными источниками энергии, необходимыми для производства и потребления, а металлы и минералы используются в различных отраслях, таких как строительство, производство автомобилей и электроники.

Добыча ископаемых из подводного шельфа - это процесс извлечения полезных ископаемых (нефти, газа, металлов и др.) из морского дна на континентальном шельфе. Для осуществления добычи необходимо проведение геологоразведочных работ, которые позволяют определить наличие запасов ископаемых в конкретном районе. Затем проводятся гидрографические работы для создания карт дна и определения характеристик месторождений. Далее устанавливаются буровые платформы и проводятся бурение скважин для добычи ископаемых. Весь процесс сопровождается строгими экологическими требованиями и контролем за

сохранностью природной среды. Добыча ископаемых из подводного шельфа является одним из ключевых направлений развития мировой экономики.

Подводный рельеф представляет собой географические особенности морского дна, которые могут быть различной формы и глубины.

Основные особенности подводного рельефа включают:

Глубины: они могут варьироваться от поверхности моря до самых глубоких участков, какие были измерены. Структуры могут варьироваться от крутых стен до более пологих склонов.

Подводные горы: это структуры, которые протягиваются над поверхностью моря и простираются на глубину. Они могут быть сильно повреждены в результате землетрясений, цунами, извержений и других природных явлений.

Ямы: из-за активности плит на дне океана может образовываться опрокидывающийся рельеф с ямами. Некоторые ямы являются погребенными кратерами вулканов.

Равнины: это плоские области дна океана, которые могут простираться многие мили. Эта область может быть домом для различных видов организмов.

Каньоны: это глубокие области дна океана, которые могут быть образованы реками или ледниками и иметь значительную органическую деятельность.

Рифы: это большие области дна, которые появляются как результат накопления органического материала и морских организмов. Они могут привлекать большое количество рыб и других морских животных.

Откосы, склоны и шельфы: это места, где поверхность моря начинает сужаться до более глубоких областей. Эти области часто встречаются в прибрежных зонах и являются идеальными местами для роста и размножения морских организмов.



### 1.3. Порядок проведения гидрографических работ

Перед началом гидрографических работ необходимо провести подготовительные мероприятия. Они включают в себя:

1. Определение целей и задач гидрографических работ.
2. Выбор методов и средств гидрографических исследований, а также определение необходимого оборудования и материалов.
3. Подбор и обучение специалистов, которые будут участвовать в гидрографических работах.
4. Разработка плана гидрографических работ, включающего в себя расписание работ, маршруты и точки наблюдений.
5. Обеспечение безопасности гидрографических работ, включая охрану жизни и здоровья людей, а также сохранение окружающей среды.
6. Получение необходимых разрешений и документов для проведения гидрографических работ.
7. Проведение предварительных измерений и исследований для определения начальных данных и контроля качества результатов гидрографических работ.
8. Организация логистики и транспортировки оборудования и персонала на место проведения гидрографических работ.

### 1.4. Съёмка рельефа дна, инструменты и порядок подготовки для ее выполнения.

Съёмка рельефа дна - это процесс направленного измерения глубины и высоты морского дна при помощи специальной техники, такой как многолучевые эхолоты или боковые сканирующие сонары. Полученные данные используются для создания карт глубин и рельефа дна, которые помогают ученым изучать геологию морского дна, понимать его структуру и связанные с ней процессы. Съёмку рельефа дна также используют для подготовки морских карт и навигационных схем, которые позволяют безопасно двигаться по морским путям.

Для съемки рельефа дна нужно использовать подводную камеру и специальные инструменты, которые позволяют измерять глубину и высоту подводных объектов. Также можно использовать специальные программы для обработки полученных изображений и создания трехмерных моделей дна.

Однолучевой эхолот используется для измерения глубины морского дна в одном направлении, в то время как многолучевой эхолот используется для измерения глубины в нескольких направлениях с помощью нескольких излучателей.

Многолучевой эхолот позволяет получить более точное представление о форме дна и наличии объектов на дне, таких как вздыбленности или руины. Однако, многолучевой эхолот обычно более дорогостоящий и требует более тщательной установки и обслуживания.

В целом, выбор между однолучевым и многолучевым эхолотом зависит от конкретных потребностей и целей исследования.

Боковые сканирующие сонары - это устройства для обнаружения объектов на дне моря, реки или озера. Они используются в гидрографии, геологических исследованиях, поиске и спасании, а также в коммерческих целях, таких как поиск и добыча нефти и газа.

Сонары работают на принципе эхолокации, измеряя время, за которое звуковая волна отражается от объекта и возвращается обратно к приемнику. Боковые сканирующие сонары имеют несколько датчиков, которые создают изображение дна и объектов на нем.

Они могут быть установлены на специальных судах и подводных аппаратах, таких как батискафы и роботы-подводники. Боковые сканирующие сонары позволяют получить высококачественные изображения дна, что помогает улучшить навигацию и исследование подводного мира.

Для гидрографических работ необходимо использовать специализированное оборудование, которое включает в себя:

1. Эхолоты и глубиномеры – устройства для измерения глубины водоема.

Один из основных инструментов, используемых в гидрографических работах, - это эхолот. Это прибор, который измеряет глубину морского дна, используя звуковые волны. Эхолоты работают на принципе эхолокации: они посылают звуковой сигнал вниз в воду, который отражается от дна и возвращается на поверхность. По времени задержки между отправкой сигнала и его приемом можно определить глубину морского дна.

Современные эхолоты также могут использоваться для измерения топографии морского дна, обнаружения подводных объектов и живых организмов, а также для создания трехмерных моделей морского дна.

Эхолоты являются важным инструментом для гидрографических работ и используются на кораблях, лодках и подводных аппаратах. Они помогают улучшить точность карт морских путей и обеспечить безопасность на море.

Глубиномер - это прибор, который используется для измерения глубины воды. Он работает на основе ультразвуковой технологии и может использоваться как на море, так и на пресноводных водоемах.

Глубиномеры имеют различные формы и размеры, но обычно они состоят из двух частей: передней части, которая опускается в воду, и задней части, которая содержит дисплей для отображения измерений. Передняя часть содержит ультразвуковой датчик, который посылает звуковые волны вниз в воду и затем измеряет время, за которое эти волны отражаются от дна и возвращаются на поверхность.

Глубиномеры могут использоваться для различных целей, таких как измерение глубины для навигации, рыбной ловли или научных исследований. Они также могут использоваться для создания карт глубин морских путей и обнаружения подводных объектов.

В целом, глубиномеры являются важным инструментом для любого, кто работает на воде или занимается гидрографией. Они помогают обеспечить безопасность на море и улучшить точность карт морских путей.

2. Гидроакустические системы – позволяют получать информацию о составе дна и наличии подводных объектов.

Гидроакустические системы - это технологии, которые используют звуковые волны для обнаружения и измерения объектов в воде. Они могут быть использованы для различных целей, таких как поиск подводных объектов, определение глубины морского дна, измерение скорости течения и температуры воды, а также для научных исследований морской жизни.

Гидроакустические системы включают в себя различные приборы, такие как гидрофоны, гидролокаторы, гидрофоно-локаторы и гидрографические системы. Гидрофоны - это приборы, которые используются для измерения звуковых волн в воде. Гидролокаторы - это приборы, которые используются для обнаружения объектов в воде путем измерения времени, за которое звуковая волна отражается от объекта и возвращается на прибор. Гидрофоно-локаторы - это комбинация гидрофона и гидролокатора. Гидрографические системы - это приборы, которые используются для измерения глубины морского дна и создания карт морских путей.

Гидроакустические системы имеют широкое применение в различных отраслях, таких как морская геология, гидрография, океанология, рыболовство, грузоперевозки и оборона. Они играют важную роль в обеспечении безопасности на море и в исследовании морской среды.

3. Гидрометрическое оборудование – для измерения скорости и направления течения воды.

Гидрометрическое оборудование - это технологии, которые используются для измерения и анализа различных параметров водных систем. Оно включает в себя приборы и методы для измерения уровня воды,

скорости течения, объема и качества воды, а также для оценки эрозии и наносов.

Гидрометрическое оборудование включает в себя различные типы приборов, такие как гидростатические и гидродинамические уровнемеры, гидрометры, гидрологические станции, датчики температуры и давления, а также системы автоматического сбора данных.

Гидрометрическое оборудование широко используется в различных отраслях, таких как гидроэнергетика, охрана окружающей среды, сельское хозяйство, строительство и промышленность. Оно играет важную роль в планировании и управлении водными ресурсами, а также в прогнозировании и предотвращении наводнений и других природных катастроф.

4. Специальные лодки и катера – для перемещения по водной поверхности.

5. Буровые установки и оборудование для прокладки трубопроводов под водой.

6. Оборудование для подводных работ – дайверские комплекты, роботы-подводники и другие устройства.

Выбор конкретного оборудования зависит от задач, которые необходимо решить при проведении гидрографических работ.

Перед началом гидрографической съемки необходимо подготовить ряд рабочих документов:

1. Техническое задание – документ, в котором указываются цели и задачи гидрографической съемки, требования к оборудованию и методике работы.

2. План работ – документ, в котором указывается сроки проведения работ, распределение персонала и оборудования по участкам, а также ожидаемые результаты.

3. Карты и планы – необходимы для определения местоположения объектов и выбора оптимальной методики проведения работ.

4. Инструкции по безопасности – документ, в котором описываются правила работы на воде и с оборудованием, а также меры предосторожности при проведении работ.

5. Отчет о результатах – документ, в котором описываются полученные результаты гидрографической съемки, анализируются ошибки и проблемы, выявленные в процессе работы, и предлагаются рекомендации по улучшению методики.

Подготовка рабочих документов является важным этапом перед началом гидрографической съемки и позволяет обеспечить ее эффективность и безопасность.

#### 1.5. Суда для выполнения гидрографических работ.

Гидрографические работы проводятся с помощью специальных судов, оборудованных сонарами и другими приборами для измерения глубины, топографии дна, течений и других параметров морской среды. Эти данные используются для создания карт дна и определения характеристик месторождений. В процессе гидрографических работ также проводятся обследования биологических ресурсов и исследования экологического состояния морской среды. Все работы проводятся с соблюдением международных стандартов и правил безопасности.

Для гидрографических работ могут использоваться различные суда в зависимости от характера работ и условий проведения. Это могут быть специализированные гидрографические суда, такие как гидрографические суда типа "гидрограф", "гидроакустика", "гидрофизика" и другие, а также суда общего назначения, такие как катера, лодки, яхты и прочие. Важно, чтобы судно было оборудовано необходимым гидрографическим оборудованием и соответствовало требованиям безопасности на воде.

Гидрографические работы по гидролокационной съёмке рельефа дна морской поверхности производятся при использовании специального

оборудования, которым оснащены гидрографические научно-исследовательские суда. Рассмотрим более детально это понятие.

Гидрографическое научно-исследовательское судно (сокращённо: ГНИС) — служебно-вспомогательное судно, предназначением которого является исследование водных путей, выполнение лоцмейстерских и промерных работ, и помощь в обеспечении навигационной безопасности судоходства [4]. В реальных же условиях такой тип судов выполняет ещё множественные виды работ и обеспечивает все операции флота. В основном, водоизмещение таких судов варьируется в пределах от 500 до 3000 тонн, но, в свою очередь, некоторые особо крупные, уже океанографические исследовательские суда, для выполнения поставленных работ могут иметь водоизмещение и 5000, и 7000 тонн. Ведь размеры судов, а соответственно и их водоизмещение напрямую зависят от характера работ, их удалённости от береговой черты, региона, где им предстоит проводить работы и так далее.

Исходя из вышесказанного, определим классификацию НИС по своему назначению:

- Исследовательские суда специального назначения (имеют водоизмещение 500—2000 тонн);
- Рыболовно-исследовательские суда (500 — 2000 тонн);
- Гидрографические суда (водоизмещение от 500 до 3000 тонн);
- Научно-промышленные суда (1000 – 3000 тонн);
- Метеорологические суда (2200 – 5000 тонн);
- Океанографические суда (2500 – 3800 тонн);
- Арктические исследовательские суда (4700 – 7000 тон).

А также отдельно отметим ещё два вида научно-исследовательских судов, которые объединяют в себе многие из перечисленных:

- Крупные экспедиционные суда (6000 — 7000 тонн), в задачи которых входит проведение исследований и научных изысканий в районах Мирового океана, которые удалены от береговой черты. Суда этого класса обладают

большой автономностью и имеют на борту полноценные лаборатории и оборудование на все случаи исследований. Такие суда можно назвать «плавающим исследовательским центром»;

- Универсальные научно-исследовательские суда (1900 — 4200 тонн), которые занимаются фундаментальным изучением и исследованием океана. Научно-исследовательские суда производят исследования во всех направлениях деятельности в Мировом океане (гидрологическом, гидроакустическом, метеорологическом, гидрохимическом и так далее). Они принимают участие в поиске новых ресурсов которые располагаются на морском дне, в дноуглубительных работах и прокладывании кабелей и трубопроводов через водные пространства, оценивают загрязнения на море и их перемещение по водной поверхности (морская экология), помогают в проектировании прибрежных водозащитных сооружений и портовой инфраструктуры, и множество других видов вспомогательных и непосредственных работ.

За более чем вековую историю гидрографического флота в нашей стране (а как класс он был определён в 1915 году) Российской Империей, Союзом Советских Социалистических Республик, и Российской Федерацией было спроектировано, сконструировано, и создано (при поддержке других стран, например, Польши) порядка полусотни гидрографических научно-исследовательских судов различных видов [5]. Часть из них мы сейчас рассмотрим и остановимся подробнее, так как они будут принимать непосредственное участие в нашей исследовательской работе.



## 1.6. Суда используемые для решения задачи

### 1. Большой гидрографический катер (БГК) проекта 19920.

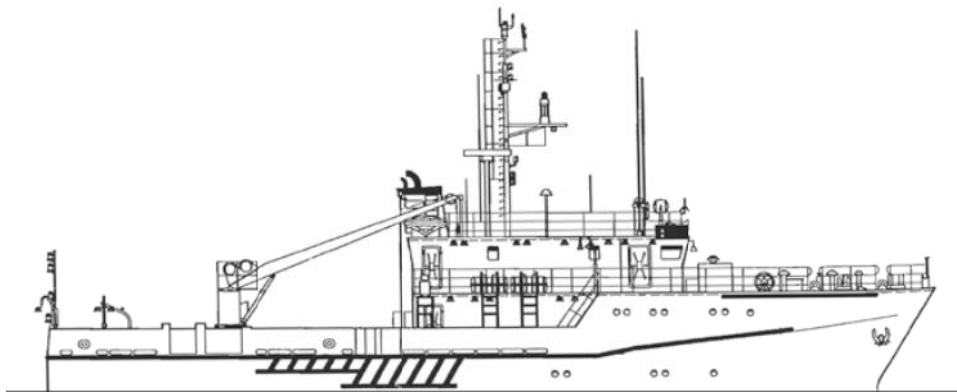


Рис.1 — графическое изображение БГК проекта 19920.

Производство катеров данного проекта ведётся с 2004 года и на сегодняшний день их спущено на воду в количестве одиннадцати (ещё три находятся в стадии постройки). Цель производства катеров этой серии в том, чтобы расширить гидрографический флот Российской Федерации и заменить устаревшие БГК. Общий вид БГК представлен на Рисунке 1.

Основные характеристики следующие:

- Автономность — 10 суток;
- Дальность плавания — 1000 миль (при скорости хода в 11 узлов);
- Водоизмещение — 295 тонн;
- Длина от кормы до носа — 36,4 метра, габаритная ширина — 7,9 метров.
- Осадка — 1,98 метра;
- Экипаж — 11 человек.

задачи, которые выполняет БГК проекта 19920, входят следующие виды работ:

- Съёмка рельефа дна;

- Постановка, съём, обслуживание плавучих средств навигационного оборудования;
- Выполнение гидрографических промеров;
- Осуществление лоцмейстерских работ и разведки маршрута в акватории и другие виды работ.

Для выполнения всех поставленных задач, БГК имеет на своём борту современное гидрографическое оборудование (гидрологический зонд, мареограф, профилограф, многолучевой эхолот и так далее) и оборудование связи и навигации [6].

## 2. Малое гидрографическое судно проекта 19910.

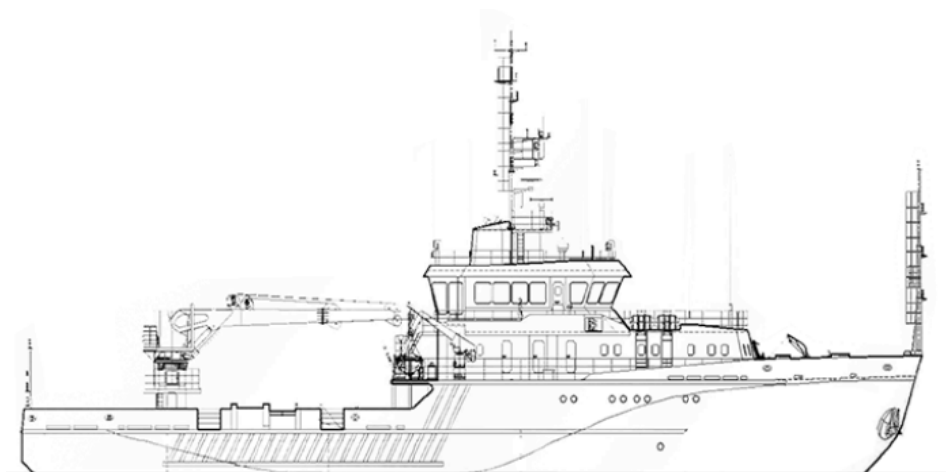


Рисунок 2. — графическое изображение МГС проекта 19910.

Суда данной серии предназначены для проведения следующих видов работ:

- Контроль за работой как береговых, так и плавучих средств навигационного оборудования и их обслуживание;
- Выполнение объёма гидрографических работ, который может обеспечивает установленное на судне оборудование;
- Постановка и снятие всех видов вех и морских буёв, а также другие задачи.

Для сравнения технических характеристик рассмотрим два головных судна данного проекта — «Вайгач» и «Виктор Фалеев» (см. Таблица 1.1.) [7].

Таблица 1. — Технические характеристики двух головных МГС  
проекта 19910.

Значение	проект 19910, тип «Вайгач»	проект В19910, тип «Виктор Фалеев»
Водоизмещение полное	1200 т	около 1000 т
Длина наибольшая	59,0	56,4 м
Длина по КВЛ	54,4 м	53,7 м
Ширина наибольшая	11,4 м	11,2 м
Ширина по КВЛ		11,0 м
Высота борта	5,4 м	5,4 м
Осадка	3,11 м	2,9 м
Скорость полного хода	12,5 узлов	13 узлов
Дальность плавания	3500 миль	2000 миль
Автономность	25 суток	15 суток
Экипаж	17 человек	17 человек

### 3. Малое гидрографическое судно проекта 16611.

Отметим, что первое судно серии было выпущено как большой гидрографический катер (БГК), после же суда были отнесены к малым гидрографическим судам (МГС). Всего было построено три судна, строительство одного было заморожено. Стоит отметить, что проектирование и строительство судов проходил в тяжелый экономический период — первое из судов было заложено в конце 80-х годов 20-го века. Последнее же судно было спущено на воду в 2005 году, в то время, как начало строительства было ещё в 1992 году [8].

К задачам, выполняемым судами, относятся:

- проведение гидрографических измерений и гидрографического траления;
- площадное обследование и проведение подводной съёмки рельефа дна;
- осуществление промеров.
- обслуживание средств навигационного оборудования [10].

Основные тактико-технические характеристики:

- Дальность плавания — 1600 миль;
- Автономность — 10 суток;
- Полное водоизмещение — 385 тонн;
- Скорость полного хода — 11,5 узлов;
- Длина — 39,8 метров, ширина — 9,8 метра.

Суда данного проекта обладают следующим гидрографическим оборудованием: широкополосный эхолот (устройство, которое позволяет измерить глубину участка путём траления ) , малагаборитный гидроакустический комплекс площадной съемки рельефа дна в прибрежной зоне, промерный эхолот, многоканальный эхолот [9].

#### 4. Гидрографическое судно проекта 861.

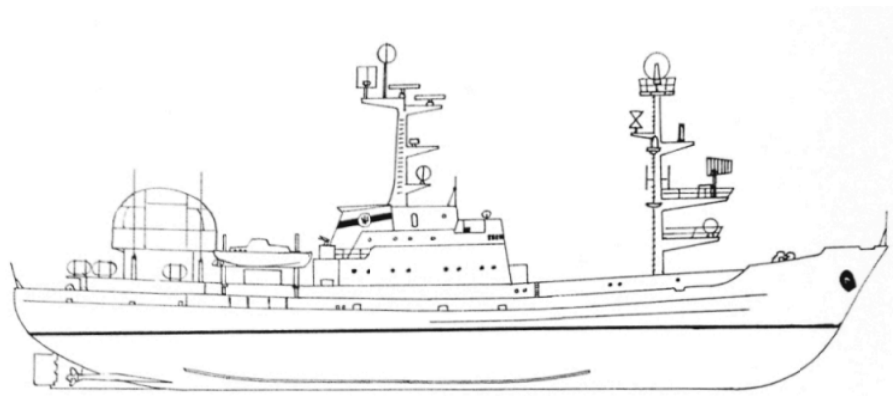


Рисунок 3 — графическое изображение ГС проекта 861.

Суда данного проекта начали спускать на воду в конце 60-х годов 20-го века. Из двадцати девяти судов, которые были произведены на польской верфи в Гданьске, на сегодняшний день в строю находится 9, 18 списано, одно затонуло в 2017 году недалеко от пролива Босфор после столкновения с другим судном, одно в консервации. Некоторые из судов проекта позже были перефилированы (путём модернизации) в средние разведывательные корабли [11].

Рисунок 3 — графическое изображение ГС проекта 861.

Тактико-технические данные:

- Водоизмещение — стандартное: 1200 тонн, полное: 1542,6 тонн.
- Дальность плавания — 8900 миль (при скорости в 10,93 узла), 4750 (при скорости в 17,3 узла);
- Автономность — 35 суток;
- Габаритные размеры — длина: 73,32 метра, ширина: 10,8 метра.
- Осадка — 3,85 метра [12].

Целью создания данных судов было изучение гидрографии новых районов Мирового океана, как следствие, в назначение ГС проекта 861 входило — проведение гидрологических работ в Мировом океане, изучение течений, глубин, рельефа дна, гидрохимии, метеорологические наблюдения, изучение и обследование опасных районов для судоходства. Помимо членов экипажа (45 человек) на судне предусмотрено размещение научных работников (10 человек).

Конструкция судна позволяет производить большой объём работ на значительном удалении от береговой черты. Месяц судно имеет возможность находиться в автономном плавании, проводя большой комплекс гидрографических работ по изучению подводной и метеорологической обстановки.

#### 5. Гидрографические судна проекта 862.

Также как и ГС проекта 861, суда 862-го проекта построены в целях обновления и расширения Гидрографического флота ВМФ СССР. Суда также производились в Польше на Гданьской верфи двумя сериями (в судах второй серии было незначительное изменение проекта) по 9 судов с 1977 по 1983 годы. Из 18 судов на сегодняшний день в строю осталось 11. Пять судов отправлено на слом, одно перепрофилировали в плавучее казино и вывели из эксплуатации в 2009 году, ещё одно судно с 2005 года является креветколов. Аналогично с судами 861-го проекта, часть судов в будущем была модернизирована и переоборудована в средние разведывательные корабли [13].

Суда проекта 862 создавались с большим «военным уклоном» по сравнению с суда 861-ой серии. В их назначение, помимо обычных гидрографических и океанографических работ по производству промеров, батитермографических исследований, геодезических работ, гидрографической съемки, наблюдением за течением, гидрохимические работы, метеорологические морские исследования, входило изучением определённых океанографических вопросов, которые имеют узкоспециализированное военное значение (например: изучение условий для последующего свободного плавания в удалённых районах Мирового океана подводных лодок новых проектов) [14].

Основные тактико-технические характеристики судов 862 проекта:

- Водоизмещение — стандартное: 1842 тонн (пр.862/II – 1892 тонн); полное: 2435 тонн (пр.862/II – 2499 тонн);
- Дальность плавания — 8650 миль (при скорости в 13 узлов), 6697 миль (при скорости полного хода в 15,9 узлов);
- Габаритные размеры — длина: 82,53 метра, ширина: 13,5 метров;
- Осадка — 3,96 метра.
- Автономность — 40 суток

Помимо команды и экипажа в количестве 58 человек, на судне может находиться до 12 научных сотрудников. Суда оборудованы двумя гидрографическими промерными катерами, и всеми видами оборудования для промеров. На борту у судов проекта 862 расположено шесть лабораторий, вместо крана перед надстройкой, как у судов проекта 861, здесь побортно смонтированы две кран-балки, грузоподъемностью 5 тонн [15].

6. Океанографические исследовательские суда проекта 852. Научно-исследовательские экспедиционные океанографические суда, построенные двумя сериями по 4 и 2 судна соответственно в польском городе Щецин с 1972 по 1979 год и с 1977 года классифицирующиеся как океанографические исследовательские суда (ОИС). Также, как и суда других проектов в те годы,

ОИС 852-го проекта строились для нужд военных, в частности для изучения специфических аспектов океанографии океанов и море, где несли дежурство атомные подводные лодки. Подобно гидрографическим судам, в задачи океанографических-исследовательских судов входят исследования метеорологии, гидрохимии, океанологии, гидрологии, биологические и аэрологические наблюдения, регистрация течений в акватории Мирового океана, и другие виды работ на значительном расстоянии от берега. Ведь суда имеют автономность порядка двух месяцев и располагают двадцатью лабораториями, общая площадь которых превышает 900 м<sup>2</sup>. Это лаборатории: аэрологическая, синоптическая, геологическая, гидрографическая, океанографическая, радиохимическая, биологическая и другие. Суда располагают двумя промерными гидрографическими катерами, рабочим катером, разъездным катером, двумя спасательными ботами и плотами. На палубе для проведения работ по погрузке и разгрузке есть одна крановая установка на баке (грузоподъёмность которой 7 тонн), две кормовые стрелы (грузоподъёмностью по 8 тонн), два малых крана, обладающих грузоподъёмностью 250 килограмм.

Суда предусматривают размещение 170-ти человек, из которых 90 — экипаж, а 80 — научные работники экспедиции

На сегодняшний день в эксплуатации осталось только одно из шести судов проекта, которое было дооборудовано для базирования вертолётa Ка-32, а в 2015-2016 годах совершило дальний переход к Антарктиде.

Водоизмещение судов данного проекта составляет: стандартное: 6180 тонн и полное: 9224,9 тонн; дальность плавания: 24000 миль при скорости в 14,5 узлов и 20000 миль при скорости в 19,2 узлов; скорость полного хода составит 20,8 узлов; осадка 6,44 метра, а габаритные размеры: длина 146,6 метра, ширина 19,2 метра [16].

7. Океанографическое исследовательское судно специального назначения проекта 22010 («Янтарь»).

В эксплуатации сейчас находится одно судно данного проекта — «Янтарь», построенное на Прибалтийском судостроительном заводе в Калининграде. В задачу судна входит всестороннее исследование вод Мирового океана и его дна. Цели его те же, что, например и у ОИС проекта 852.

Судно несёт на своём борту автономные и обитаемые глубоководные подводные аппараты, которые имеют возможность опускаться на глубину до 6 километров, имеет площадку для базирования одного вертолета и специальное оборудование для поиска затонувших судов (1 АГА (автономные глубоководный аппарат) пр. 16810, 1 АГА пр. 16811, ВПП для вертолётa). Именно с помощью АГА ОИС «Янтарь» прoделывает множество работ, среди которых: поиск и исследование объектов, находящихся на океанском дне, подъём со дна на поверхность предметов, вес которых не превышает 200 килограмм, проведение видеосъёмки морского дна и доставка для исследования грунта.

Технические характеристики океанографического исследовательского судна проекта 22010:

- Водоизмещение — стандартное: 5230 тонн, полное: 5736 тонн;
- Дальность плавания — 8000 миль
- Автономность — 60 суток;
- Скорость полного хода — 15 узлов;
- Габаритные размеры — длина: 107,8 метра, ширина 17,2 метра.

В разработке находится ещё два судна данного проекта. Одно в Калининграде (судно на котором должны были сдать в эксплуатацию ещё в 2019 году) и одно в Выборге, где судно было заложено в феврале 2021 года.

Нами было рассмотрено семь проектов судов для исследования Мирового океана, разных размеров, но с идентичными задачами. Гидрографический флот обновляется не очень быстро, но новые суда разрабатываются и производятся, пускай пока и в меньших объём, нежели во



второй половине 20-го века Советским Союзом. Однако, в распоряжение есть и гидрографические катера, в чьи задачи входит исследование вблизи побережья, и гидрографические суда, универсальный тип, имеющий возможность удаляться от береговой черты, и океанографические исследовательские суда, представляющие собой дома на воде, с множеством лабораторий и оборудования, имеющие возможность уходить из порта на несколько месяцев, ведя работы в океане.

#### 1.7. Порядок обработки полученных данных после проведения гидрографических работ.

После проведения гидрографических работ и сбора данных о глубине, топографии дна и других параметрах морской среды, эти данные обрабатываются и анализируются специалистами. На основе полученных данных составляются карты дна, которые отображают географическое расположение морских глубин, рельеф дна, наличие подводных холмов, каньонов, глубоководных желобов и других объектов. Карты дна используются для навигации судов, разведки месторождений полезных ископаемых, оценки возможности проведения подводных строительных работ и для других целей.

После проведения гидрографических работ необходимо обработать полученные данные. Это включает в себя следующие этапы:

1. Сбор и систематизация данных. На этом этапе производится сбор и систематизация всех полученных данных, включая результаты гидрографических измерений, данные о погодных условиях, течениях и других параметрах.

2. Обработка данных. Данные обрабатываются с помощью специальных программ, которые позволяют провести анализ и интерпретацию результатов гидрографических измерений.

3. Создание карт и планов. На основе полученных данных создаются карты и планы, которые отображают топографическую структуру дна, глубины, течения и другие параметры.

4. Оценка качества данных. Проводится оценка качества данных, чтобы убедиться в их достоверности и точности.

5. Подготовка отчета. На основе полученных данных составляется отчет, который содержит описание проведенных работ, результаты измерений и анализ, а также рекомендации по дальнейшим действиям.

6. Архивирование данных. Полученные данные должны быть сохранены в архиве для дальнейшего использования и обработки.

### 1.8. Способы переправки добытых ресурсов

Существует несколько способов переправки ресурсов добытых из подводного шельфа:

Танкеры - это самый распространенный способ перевозки нефти и газа. Специализированные танкеры, называемые танкерами для нефти и газовыми танкерами, перевозят нефть в жидком или газообразном состоянии на длинные расстояния.

Трубопроводы - это более экономичный и безопасный способ перевозки нефти и газа, особенно если места добычи и места потребления находятся на значительном расстоянии друг от друга. Однако строительство трубопроводов требует больших капитальных затрат и может быть сложным из-за географических препятствий и экологических проблем.

Баржи - это способ перевозки нефти и газа, который используется во внутренних водных путях и прибрежных районах. Баржи могут быть более гибкими и могут доставлять грузы к местам, которые недоступны для танкеров или трубопроводов.

Железнодорожные вагоны - это способ перевозки нефти и газа, который используется на небольших расстояниях. Железнодорожные вагоны

могут доставлять грузы к местам, которые недоступны для танкеров или трубопроводов.

Автомобильные цистерны - это способ перевозки нефти и газа, который используется на коротких расстояниях. Автотранспорт может доставлять грузы непосредственно на места потребления, такие как заправочные станции.

Прокладка трубопроводов под водой для добычи ископаемых может быть выполнена несколькими способами:

1. Метод горизонтально направленного бурения (ГНБ). Этот метод позволяет прокладывать трубопроводы под реками, озерами, прудами и другими водными объектами без их замещения. Буровая установка устанавливается на одном берегу водоема, а трубопровод прокладывается в горизонтальном направлении под водой на нужную глубину.

2. Метод открытой прокладки. Этот метод заключается в прокладке трубопровода на дне водоема с помощью специальных судов и плавучих установок. Трубопровод укладывается на дно водоема и фиксируется специальными креплениями.

3. Метод бурения скважин. Этот метод применяется для добычи нефти и газа из подводных месторождений. Буровые установки устанавливаются на плавучих платформах, а трубопроводы прокладываются внутри буровых скважин.

Выбор метода прокладки трубопровода зависит от многих факторов, включая глубину водоема, тип грунта на дне водоема, расстояние между берегами и другие технические параметры.

## 2 Глава. Практическая часть.

### 2.1. Понятие оптимального решения и способы ее достижения.

Для задач на оптимизацию есть два способа их решения - линейное и динамическое программирование, при помощи которых будет определено оптимальное решение поставленной задачи.

Оптимальное решение задачи – это аспект исследования операций, в который включается анализ и решение математических задач выбора в заданном множестве допустимых решений  $X$  элемента, удовлетворяющего определенным критериям оптимальности. Такие задачи, ищущие оптимальное решение, называются оптимизационными. Прикладной аспект исследования операций состоит в составлении и реализации оптимизационных задач [2].

Чтобы найти оптимальное решение задачи, необходимо выполнить следующие шаги:

1. Определить цель задачи: что нужно достигнуть.
2. Собрать все необходимые данные и факты, которые могут повлиять на решение задачи.
3. Определить критерии, по которым будет оцениваться решение. Например, стоимость, эффективность, скорость выполнения и т. д.
4. Разработать возможные варианты решения.
5. Проанализировать каждый вариант, сравнивая их по заданным критериям.
6. Выбрать оптимальный вариант решения.
7. Реализовать выбранный вариант и контролировать результаты.
8. Если результаты не соответствуют ожиданиям, проанализировать причины и внести необходимые изменения.
9. Периодически оценивать достигнутые результаты и вносить корректировки в решение, если это необходимо.

Следуя этим шагам и используя различные техники анализа и выбора, можно найти оптимальное решение задачи.

Линейное программирование (ЛП) - это метод математического программирования, который позволяет решать задачи оптимизации с ограничениями в виде линейных функций.

История линейного программирования началась в 1939 году, когда Георг Данциг изобрел метод симплекса для решения задач линейной оптимизации. В 1947 году была опубликована его монография, в которой была раскрыта основная теория и применение метода симплекса. Это стало важным прорывом в оптимизационной методологии и стимулировало развитие индустриального и коммерческого применения ЛП.

Затем были разработаны более сложные и эффективные методы ЛП, такие как метод внутренней точки, двойственность, метод мультипликативных шкал и др. В настоящее время ЛП - это широко используемый метод для оптимизации бизнес-процессов, экономических моделей, производственных систем и других задач.

Динамическое программирование - это алгоритмический подход к решению задач оптимизации, который основывается на разбиении большой задачи на более мелкие подзадачи, решение которых можно использовать для решения исходной задачи.

Метод динамического программирования был разработан в 1950-х годах исследователями из Bell Laboratories Ричардом Беллманом и Джорджем Данцигом. Оригинально он был представлен как метод оптимизации управления, однако его стали использовать и в других областях, где необходимо решать различного рода задачи оптимизации.

С тех пор динамическое программирование нашло широкое применение в компьютерных науках, биоинформатике, экономике, физике и других областях. Он также используется в алгоритмах машинного обучения и искусственного интеллекта. Благодаря своей эффективности и

универсальности, метод динамического программирования остается популярным и актуальным в наши дни [3].

Общая схема метода линейного программирования:

1. Описать задачу в терминах подзадач.
2. Описать субоптимальную структуру – то есть, какой промежуточный результат мы должны вычислить, чтобы получить решение всей задачи.
3. Построить таблицу, где по горизонтали будут размещаться подзадачи, а по вертикали – промежуточные результаты соответствующих подзадач.
4. Заполнить таблицу, начиная с наименьших подзадач.
5. Использовать результаты из предыдущих ячеек таблицы для вычисления текущей ячейки.
6. Найти конечный результат, находящийся в последней ячейке таблицы.

## 2.2. Идея линейного программирования

Необходимо составить математическую модель перед применением метода линейного программирования с целью решения конкретной экономической задачи. Под понятием экономико-математическая модель подразумевается математическое описание исследуемого экономического процесса.

Для задач, когда требуется максимизировать или минимизировать какую-либо характеристику, то задача имеет экстремальный характер (и именно к подобным задачам относятся задачи линейного программирования), в которую вводится некоторая целевая функция, экстремум которой нужно найти. Схема формирования экономико-математической модели:

- 1) определяется выбор некоторого числа переменных величин, заданием числовых значений которых однозначно определяется одно из возможных состояний исследуемого явления;

2) с использованием введенных переменных устанавливается взаимосвязь, которые присуще исследуемому явлению, в виде математических уравнений или неравенств, это все образует систему ограничений задачи;

3) в форме целевой функции вводится количественное выражение выбранного критерия оптимальности.

Общая форма записи задачи линейного программирования имеет в себе:

1) система ограничений, в которой требуется найти решение;

2) система ограничений должна удовлетворять условию неотрицательности;

3) максимизирующее или минимизирующее значение целевой функции.

Задачи линейного программирования так же можно решать графическим способом.

### 3 Глава. Расчетная часть.

#### 3.1. Маршрут прокладки трубопровода и расчет объема гидрографических работ.

Предлагается новый маршрут трубопровода, связывающий г. Высоцк (Россия) и г. Грайфсвальд (Германия), представленный на Рисунке 4.

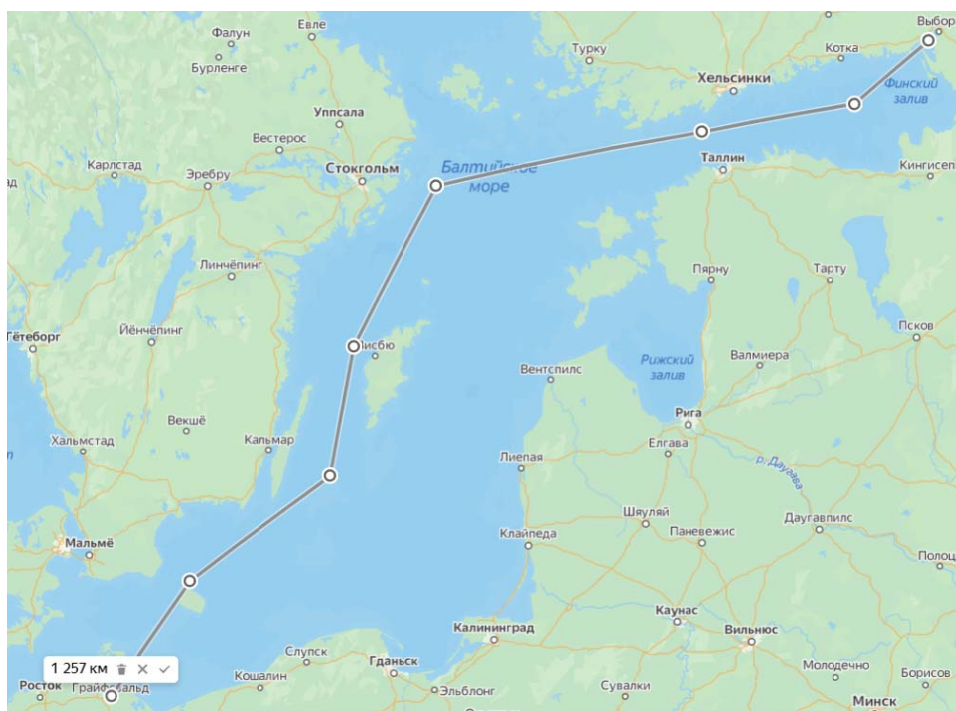


Рис.4

Протяженность трубопровода составит 1 257 км (679 морских миль). Таким образом, площадь гидрографических работ при широте полосы в 12 морских миль (1 морская миля = 1 852 м.) составит:

$$12 * 1\,852 \text{ м.} = 22\,224 \text{ м} - \text{ширина полосы в метрах}$$

$$22,224 \text{ км} * 1\,257 \text{ км} = 27\,936 \text{ км}^2 (27\,527 \text{ км}^2 - \text{по картам})$$



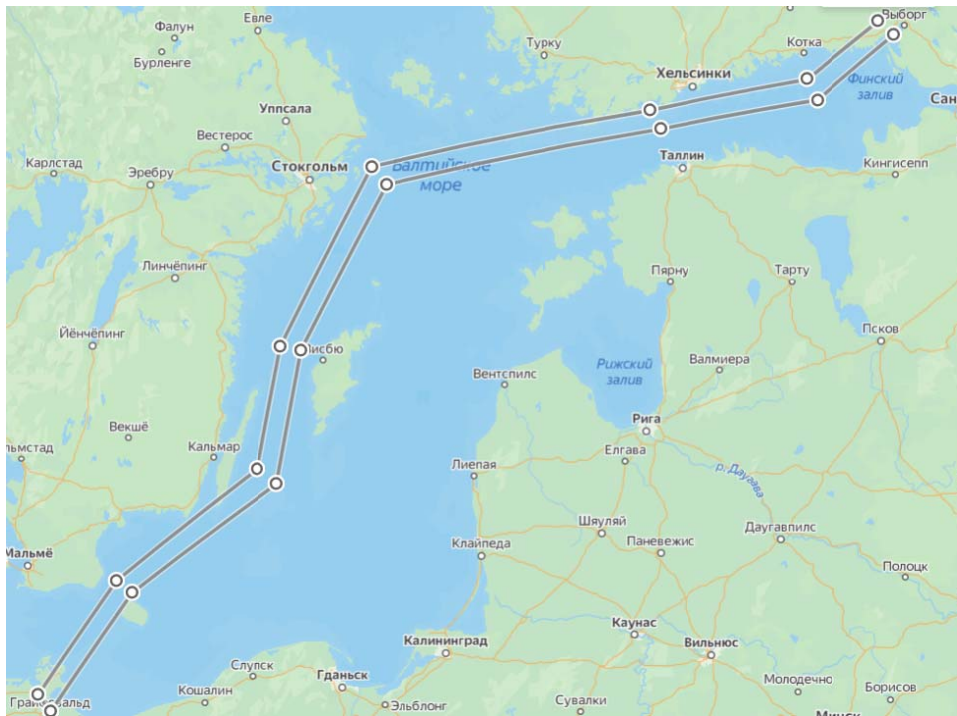


Рис.5

Чтобы оптимизировать распределение кораблей для выполнения исследования быстрее, нужно учитывать следующие факторы:

1. Размер и форму площади исследования, которую нужно покрыть.
2. Скорость движения кораблей и расстояние между ними.
3. Наличие рисков и опасностей на маршруте кораблей, такие как скалы, рифы, мелководье и т.д.
4. Время, доступное для выполнения исследования.

Исходя из этих факторов, можно рассмотреть следующие варианты распределения кораблей:

1. Равномерное распределение: каждый корабль получает одинаковый сектор для исследования, так что все корабли покрывают одинаковое количество поверхностей. Этот вариант хорош для открытых вод без рисков и опасностей.

2. Кластерное распределение: корабли сгруппированы вместе, чтобы покрыть определенные участки площади исследования. Это хороший выбор, если нужно быстро охватить большую площадь исследования с минимальными рисками.

3. Линейное распределение: корабли движутся вдоль определенного маршрута, чтобы покрыть участки площади исследования. Этот вариант хорошо подходит для узких и длинных мест, таких как реки или проливы.

В любом случае, оптимальное распределение кораблей зависит от конкретных обстоятельств каждого исследования, поэтому нужно тщательно оценить каждый вариант и выбрать оптимальный.

Данную область исследования предлагается разбить на 3 сектора, представленных на Рисунке 6.



Рис.6

Площадь данных секторов соответственно равны (слева на право):

1 сектор - 7 602 км<sup>2</sup>

2 сектор - 8 222 км<sup>2</sup>

3 сектор - 12 112 км<sup>2</sup>

### 3.2. Расчеты затрат на топлива используемых судов.

Таблица 2 — ТТХ использующихся судов.

Тип судна	Водоизмещение, тонны	Автономность, сутки	Скорость хода, узлы	Дальность плавания, мили
БКГ проекта 19920	320	10	9	1 000
МГС проекта 16611	384	10	10	1 600
МГС проекта 19910, тип «Вайгач»	1 200	25	10	3 500
МГС проекта 19910, тип «Виктор Фалеев»	1 200	15	11	2 000
ГС проекта 861	1 542	35	11	8 900
ГС проекта 862	2435	40	13	8 650
ОИС проекта 852	9140	90	15	24 000
ОИС проекта 22010 «Янтарь»	5230	60	15	8 000

В Таблице указана расчетная стоимость топлива каждого из отобранных судов. Расчет производился с учетом знаний, что топливо это 65% стоимости эксплуатации судна. Все расчеты модельные, поэтому результаты, вычисленные и полученные в будущем могут отличаться от реальных значений. Данные расчетов составлялись с учетом стоимости дизеля в 53 000 за тонну.

Таблица 3 — Расчет стоимости судов.

Тип судна	На период автономности, млн. руб	Расход топлива на 1 пройденную милю, тонн
ОИС проекта 852	118, 9	0, 10
ОИС проекта 22010 «Янтарь»	53, 8	0, 12
ГС проекта 861	15, 8	0, 03
ГС проекта 862	26, 9	0, 06
МГС проекта 16611	3, 4	0, 05
МГС проекта 19910, тип «Вайгач»	12, 1	0, 07
МГС проекта 19910	10, 1	0, 09
БГК проекта 19920	1, 9	0, 04

### 3.3. Постановка задачи, ее решение и оптимизация.

Постановка задачи:

$$Z(X) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min,$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i, \quad i = 1, 2, \dots, m,$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j, \quad j = 1, 2, \dots, n,$$

$$x_{ij} \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n.$$

$$\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j$$

Где,

n - количество судов;

m - количество секторов;

$x_{ij}$  - объем работ проводимых кораблем  $i$  в секторе  $j$ ;

$a_i$  - суда отправленные на исследование сектора;

$b_j$  - сектора которые исследуют;

$c_{ij}$  - сколько потребуется топлива для исследования  $i$ -ым судном  $j$ -ого сектора.

По условию задачи требуется обеспечить минимальную сумму затрат на исследование секторов. С ограничением, что должны будут исследоваться все сектора, и должны будут задействованы все выбранные корабли. В задаче учитываются условия неотрицательности. И так как количество секторов равняется количеству работ (которое выполняет одно из кораблей), то задача с правильным балансом, а значит модель является закрытой.

В целях прокладки трубопровода на заданном участке общей площадью 27 936 км<sup>2</sup> провести съемку рельефа дна с использованием ряда судов, представленных выше, таким образом, чтобы расход топлива был минимальным, при этом исследуемые сектора должны изучаться в одно время (то есть, нельзя, чтобы все сектора исследовал один тип судна).

Таблица 4 — Расход топлива по секторам.

	1 сектор (7 602 км <sup>2</sup> ) (186 м. миль)	2 сектор (8 222 км <sup>2</sup> ) (199 м. миль)	3 сектор (12 112 км <sup>2</sup> ) (294 м. миль)
ОИС проекта 852	18	20	29
ОИС проекта 22010 «Янтарь»	22	23	35
ГС проекта 861	5	6	9
ГС проекта 862	10	12	18
МГС проекта 16611	9	10	15
МГС проекта 19910, тип «Вайгач»	13	14	21

МГС проекта 19910	17	18	26
БГК проекта 19920	7	8	12

Проанализировав данные из Таблицы, можно сделать вывод, что ГС проекта 861 потратит минимальное количества топлива, на проведенные работы, но по условию нельзя использовать одно судно на три сектора, поэтому выделим еще два судна с минимальными затратами из таблицы: БГК проекта 19920 и МГС проекта 16611. Составим таблицу только с ними.

Таблица 5 — Наиболее подходящих судов

	1 сектор (7 602 км <sup>2</sup> )	2 сектор (8 222 км <sup>2</sup> )	3 сектор (12 112 км <sup>2</sup> )
ГС проекта 861	5	6	9
БГК проекта 19920	7	8	12
МГС проекта 16611	9	10	15

Для расчета оптимального распределения этих судов по секторам воспользуемся методом Фогеля.

Таблица 6 — Первичный план

1 этап	1 сектор (7 602 км <sup>2</sup> )	2 сектор (8 222 км <sup>2</sup> )	3 сектор (12 112 км <sup>2</sup> )
ГС проекта 861	5[1]	6[0]	9

БГК проекта 19920	7[0]	8[1]	12
МГС проекта 16611	9	10	15[1]

Для начала выберем минимальные значения из таблицы и после этого, вычеркиваем столбец со строкой, в которой данное значение. Предположим, что каждое судно будет исследовать строго целый сектор.

Теперь проверим наш план на вырожденность, подсчитав занятые клетки, их 5, их должно быть  $m+n-1 \geq N$ , где  $m$  и  $n$  количество строк и столбцов, а  $N$  - количество занятых клеток. Следовательно, опорный план является невырожденным.

Значение целевой функции для этого опорного плана равно:

$$F(x) = 5+8+15=28$$

Далее проверим оптимальность опорного плана. Для этого найдем предварительные потенциалы, пользуясь правилом  $u_i + v_j = c_{ij}$ , полагая, что  $u_1 = 0$ .

Таблица 7 — Проверка оптимальности

2 этап	1 сектор (7 602 км <sup>2</sup> ) $V_1=5$	2 сектор (8 222 км <sup>2</sup> ) $V_2=6$	3 сектор (12 112 км <sup>2</sup> ) $V_3=9$
ГС проекта 861 $U_1=0$	5[1]	6	9[0]
БГК проекта 19920 $U_2=2$	7[0]	8[1]	12
МГС проекта	9	10	15[1]

16611			
$U_3=6$			

В ячейку (1,3) поставим 0, чтобы сделать условно занятой, это поможет найти потенциалы для  $v_3$  и  $u_3$ . Иначе их невозможно определить, это является последствием вырожденности.

После расстановки потенциалов можно сказать, что план является не оптимальным, так как присутствуют клетки, в которых  $u_i + v_j > c_{ij}$ .

Расставим “+” и “-” в вершинах прямоугольника, начиная с 9, так как она является перспективной клеткой.

Таблица 8 — Оптимизация методом квадрата

3 этап	1 сектор (7 602 км <sup>2</sup> )	2 сектор (8 222 км <sup>2</sup> )	3 сектор (12 112 км <sup>2</sup> )
ГС проекта 861	5[1][-]	6	9[0][+]
БГК проекта 19920	7[0]	8[1]	12
МГС проекта 16611	9[+]	10	15[1][-]

Цикл (3,1 → 3,3 → 1,3 → 1,1). Где из “-” выбираем наименьшее и прибавляем их в “+” и вычитаем из “-”. Получим следующий опорный план. И расставим потенциалы, чтобы проверить оптимальность нового опорного плана.



Таблица 9 — Оптимизация методом квадрата

4 этап	1 сектор (7 602 км <sup>2</sup> ) V <sub>1</sub> =3	2 сектор (8 222 км <sup>2</sup> ) V <sub>2</sub> =4	3 сектор (12 112 км <sup>2</sup> ) V <sub>3</sub> =9
ГС проекта 861 U <sub>1</sub> =0	5	6	9[1]
БГК проекта 19920 U <sub>2</sub> =4	7[0][-]	8[1]	12[+]
МГС проекта 16611 U <sub>3</sub> =6	9[1][+]	10	15[0][-]

План снова оказался не оптимальным. Повторим сделанное ранее только теперь с циклом (2,3 → 2,1 → 3,1 → 3,3). И расставим потенциалы.

Таблица 10 — Оптимизация методом квадрата

5 этап	1 сектор (7 602 км <sup>2</sup> ) V <sub>1</sub> =3	2 сектор (8 222 км <sup>2</sup> ) V <sub>2</sub> =5	3 сектор (12 112 км <sup>2</sup> ) V <sub>3</sub> =9
ГС проекта 861 U <sub>1</sub> =0	5	6	9[1]
БГК проекта 19920 U <sub>2</sub> =3	7	8[1][-]	12[0][+]
МГС проекта 16611 U <sub>3</sub> =6	9[1]	10[+]	15[0][-]

План снова оказался не оптимальным, проделаем действие в третий раз с циклом (3,2 → 3,3 → 2,3 → 2,2).

Таблица 11 — Оптимальное распределение судов

6 этап	1 сектор (7 602 км <sup>2</sup> ) V <sub>1</sub> =4	2 сектор (8 222 км <sup>2</sup> ) V <sub>2</sub> =5	3 сектор (12 112 км <sup>2</sup> ) V <sub>3</sub> =9
ГС проекта 861 U <sub>1</sub> =0	5	6	9[1]
БГК проекта 19920 U <sub>2</sub> =3	7	8[1]	12[0]
МГС проекта 16611 U <sub>3</sub> =5	9[1]	10[0]	15

После проделанных действий новый план оказался оптимальным, так как все оценки свободных клеток удовлетворяют условию  $u_i + v_j \leq c_{ij}$ . Минимальные затраты составят:  $F(x) = 9+9+8=26$ . Таким образом получается, что МГС проекта 16611 требуется направить исследовать первый сектор, БГК проекта 19920 на второй сектор, на 3 сектор следует направить ГС проекта 861.

Путем оптимизации было сэкономлено 2 тонны топлива, что составляет около 7% от первоначального плана.

#### 3.4. Технико-экономическое обоснование

Разработка математической модели оптимального наряда судов для планирования гидрографических работ съемки рельефа дна в районе морской деятельности позволяет экономить различные ресурсы, которые для заказчика имеют ценность в данный момент времени, в проведении

поставленного исследования. Иными словами разработка математической модели приведет к повышению или, даже, к достижению максимальному объему работ, при этом с минимальными издержками. Все это будет достигнуто с применением наряда судов, которые в свою очередь будут отобраны исходя из целей, поставленных на проведение гидрографических работ. Ведь построив математическую модель, можно выяснить:

- какие суда требуются для проведения поставленной работы
  - количество судов, требующихся для проведения поставленной работы
- так же, будет оптимальное распределение этих судов, таким образом будет достигнута максимальная эффективность, скорость проведения работ, при этом допустив минимальные издержки.

Таким образом, техническая и экономическая эффективность проведения работ будет стремиться к высшему уровню. Это обусловлено тем, что видоизменяя математическую модель можно смоделировать ситуацию, которая будет подходить под наши условия работ, то есть, будет видоизменяться цель оптимизации, будь то время, за которое минимальное время возможно выполнить поставленную работу за определенную сумму выделенных средств или наоборот, рассчитать сколько минимум необходимо средств, чтобы выполнить исследования за кратчайший или назначенный срок. Кроме того, есть возможность расчета наряда судов необходимых для максимального достижения эффективности с определенной целью:

- Оптимальный наряд судов, при котором выполнение исследования займет меньше всего времени;
- Оптимальный наряд судов, при котором выполнение исследования приведет к минимальному расходу топлива;
- Оптимальный наряд судов, при котором выполнение исследования будет достигнуто при минимальных эксплуатационных затратах;
- Оптимальный наряд судов при котором выполнение исследования обойдется в минимальную стоимость.

Для разработки математической модели необходимы следующие мероприятия:

- Анализ поставленных требований;
- Анализ рынка;
- Составление базы данных;
- Выбор оборудования;
- Выбор метода.

Составим таблицу 1, в которой будет отображена трудоемкость вышеперечисленных работ, где

$t_{\min}$  - это минимальное время, которое может занять выполнение данной работы;

$t_{\max}$  - это максимальное время, которое может занять выполнение данной работы;

$t_{\text{ож}}$  - это ожидаемое время, за которое планируется, что выполнение работы будет закончено

Таблица 12 — Временные показатели трудоемкости

Название работы	Трудоемкость работ		
	$t_{\min}$	$t_{\max}$	$t_{\text{ож}}$
Анализ поставленных требований	1	1	1
Анализ рынка	3	8	4
Составление базы данных	1	2	1

Выбор оборудования	2	4	2
Выбор метода	1	1	1
Составление модели	2	8	5
<b>Итого</b>	<b>10</b>	<b>24</b>	<b>14</b>

Рассчитаем заработную плату, как работника работающего на постоянной основе, так и разового нанятого рабочего.

Таблица 13 — Заработная плата

Специалист	Средний оклад на постоянном устройстве	Оплата за выполненную работу за минимальное время	Оплата за выполненную работу за максимальное время	Оплата за выполненную работу за ожидаемое время
Специалист по математическому моделированию	100 000 руб.	6 250 руб.	15 000 руб.	8 750 руб.

Исходя из данных представленных в таблице 2 следует вывод, что если это разовый проект, в котором требуется математическая модель, то

разумней найти специалиста, который выполнит эту работу, при этом получит справедливую оплату труда, соответствующую заработную плату. Однако, если разработка подобных моделей происходит регулярно как, например, в компании которая представляет услуги по выполнению гидрографических работ, то для компании лучше будет найти специалиста и устроить его к себе на постоянную основу, так как если работ по разработке математической модели подобных масштабов будет больше 11, то для компании разработка этих моделей обойдется дороже, чем могла бы быть, при условии найма специалиста на постоянную основу.

При проведении гидрографических работ требуется выбор оборудования, судов и методов, для оптимизации ее выполнения. В работе требуется определить область работ, что позволит рассчитать площадь работ, это происходит путем дробления территории на участки. После чего будет возможность разбить ее на части и для каждой зоны выделить те суда, которые выполняют задачу максимально эффективно и с минимальными издержками. Наряды судов назначаются исходя из цели, которая поставлена.

Подводя итоги, можно сделать вывод, что разработка математической модели предполагает создание экономических предпосылок для эффективно-действующих производств, это происходит благодаря безостановочного развития научно-технического прогресса, что позволяет максимально приблизиться к полному удовлетворению как потребителей, так и производителей, путем уменьшения издержек.

Главными особенностями математического моделирования является возможности изучения, прогнозирования и оптимизации различных процессов, задач, экспериментов, которые сами по себе являются затруднительными или экономическими невыгодными. В нашем случае работа может занять много времени и требуется много средств, математическая модель позволит во много раз сократить сроки и стоимость проводимых работ, а также это будет возможность обоснование

принимаемых решений. Преимущество математического моделирования позволяют миновать ряд промежуточных стадий в проведении работ.

Минусом данной разработки является то, что техника ее составления должна быть если не совершенной, то близкой к этому уровню, по той причине, что иначе стоимость самих математических моделей будет превышать результат, получаемый от их использования. Поэтому каждый новый объект должен иметь четкую оценку эффективности разработки производства и эксплуатации, а все принятые на практике научно-технические решения должны быть экономически целесообразными.

## Заключение.

В ходе работы были изучены понятия гидрографических работ, добыча полезных ископаемых и их транспортировка, особенности рельефа дна, задача на оптимальность, способы ее достижения.

В практической части был предложен альтернативный маршрут прокладки трубопровода “Северного потока” на территории Балтийского моря, поставлена задача по распределению судов с целью минимизации расхода топлива на проведение работы, которая была решена и оптимизирована, что привело к уменьшению расхода топлива на 7%.

Использование моделей приведет к уменьшению затрат, как материальных, так и временных, что приведет к улучшению экономики и повышению производительности.



## Список литературы

- 1) Буркар Ж. Рельеф океанов и морей = Bourcart J. Géographie du Fond des Mers. Paris, 1949 / Сокр. пер. с франц. Е. В. Александровой и В. В. Лонгинова; Пред. и ред. д-ра геогр. наук В. П. Зенковича.. — М.: Издательство иностранной литературы, 1953. — 340 с. (в пер.)
- 2) Кузнецов А.В Математическое программирование [Текст]: Учеб. пособие для эконом. спец. вузов / А.В Кузнецов, Н.И. Холод. – Мн.: Выш. шк. - 1984. – 221 с
- 3) Кормен, Т., Алгоритмы: построение и анализ [Текст]: учебник /Т.Х. Кормен, Ч. И. Лейзерсон, Р.Л. Ривест, К. Штайн. - М.: МЦНМО - 2000. –960 с.
- 4) Краснов В. Н. История навигационной техники: Зарождение и развитие технических средств кораблевождения / Институт истории 80 естествознания и техники им. С. И. Вавилова РАН.. — М.: Наука, 2001. — 312 с. — 420 экз.
- 5) Краснов В. Н., В.В.Балабин. История научно-исследовательского флота Российской академии наук. — М.: Наука РАН, 2005. — 254 с.
- 6) Марченко И. Е. Вести с флотов (рус.) // Морской сборник : журнал. — М.: редакция журнала «Морской сборник», 2016. — Вып. 2027, № 2. — С. 4-35.
- 7) Курочкин А. М., В. Е. Шардин. Район, закрытый для плавания // Корабли советского флота. — М.: ООО «Военная книга», 2008.
- 8) Алексеев С. П., Исмаилов А. И., Козлов С. В. Ретроспективный анализ развития судов и катеров гидрографической службы военно-морского флота, их современное состояние и перспективы развития (рус.) // Морской вестник : журнал. — Санкт-Петербург: МорВест, 2008. — № 1. — С. 16— 20.
- 9) Суйте Т. Н. «Академический научный флот и исследования океана». — М.: Рук, 1997.

- 10) Ковтун В. А., Сорокин А. В., Юхнин Б. В. На страже безопасности мореплавания // Страницы истории гидрографической службы Балтийского флота. — Калининград: Янтарный сказ, 2002. — Т. V. — С. 264—271.
- 11) Данченков М. А., Волков Р. Н. Глава 4. Ведомства и ведомственные суда, глава 5. Имена судов // [Владивосток, Новосибирск «Научные суда России»]. — ДВНИГМИ, 2012.
- 12) Кузин В. П., В. И. Никольский. Военно-Морской Флот СССР 1945-1991. — СПб.: Историческое Морское Общество, 1996. — С. 653.
- 13) Алексеев С. П., Исмаилов А. И., Козлов С. В. Ретроспективный анализ развития судов и катеров гидрографической службы военно-морского флота, их современное состояние и перспективы развития (рус.) // Морской вестник : журнал. — Санкт-Петербург: МорВест, 2008. — № 1. — С. 16— 20.
- 14) Данченков М. А., Р. Н. Волков. Научные суда России. — Владивосток, 2009.
- 15) Карпенко А. В. Гидрографические суда типа «ЮГ» проекта 862 и 862/ П // ОВТ «Оружие отечества». — 2016.
- 16) Аверьянов В. Г. Экспедиционные океанографические суда типа „Академик Крылов“ // Записки по гидрографии № 194. — 1975.
- 17) Абрамов Л. М., Капустин В. Ф. Математическое программирование. — Учебное пособие. — Л.: ЛГУ, 1981. — 328.
- 18) Давыдов Э. Г. Исследование операций. — М.: Высшая школа, 1990. — 382 с.
- 19) Габасов Р., Кириллова Ф. М. Методы линейного программирования. — Минск: БГУ, 1977. — 176 с.
- 20) Беллман Р. Динамическое программирование. — М.: Издательство иностранной литературы, 1960.
- 21) Акулич И. Л. Глава 4. Задачи динамического программирования // Математическое программирование в примерах и задачах. — М.: Высшая школа, 1986. — 319 с.

- 22) Лемешко Б.Ю., Методы оптимизации: Конспект лекций / Б.Ю. Лемешко. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2009
- 23) Зайченко Ю.П. Исследование операций: Учеб. пособие для студентов вузов.— 2-е изд. перераб. и доп. — Киев.: Вища школа. Головное изд-во, 1979 — 392с.
- 24) Карманов В. Г. Математическое программирование. — Изд-во физ.-мат. литературы, 2004.
- 25) Лежнёв А. В. Динамическое программирование в экономических задачах / А .В. Лежнёв. - М.: Бином. Лаборатория знаний, 2013. - 589 с.
- 27) Окулов, С.М. Динамическое программирование / С.М. Окулов. - М.: Бином. Лаборатория знаний, 2015. - 598 с.
- 28) Юдин, Д. Б. Задачи и методы линейного программирования. Задачи транспортного типа / Д.Б. Юдин, Е.Г. Гольштейн. - М.: Либрокком, 2010. - 184 с.
- 29) Корбут А.А., Финкельштейн Ю.Ю. Дискретное программирование. — М.: Наука, 1969. — 368 с.
- 30) Дубина, И.Н. Основы математического моделирования социально-экономических процессов: учебник и практикум для бакалавриата магистратуры / И. Н. Дубина. – М. : Издательство Юрайт, 2018 – 349 с.