



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
**«Дальневосточный федеральный университет»**  
**(ДВФУ)**

---

**ИНСТИТУТ МАТЕМАТИКИ И КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**  
**(ШКОЛА)**

**Департамент математического и компьютерного моделирования**

**О Т Ч Е Т**  
о прохождении учебной практики  
Технологической (проектно-технологической) практики  
направление подготовки 02.03.01 «Математика и компьютерные науки»  
профиль «Сквозные цифровые технологии»

Отчет защищен:  
с оценкой \_\_\_\_\_

Рег. № \_\_\_\_\_

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 г.

Выполнил студент  
гр. Б9122-02.03.01сцт  
Винницкая Д.С. \_\_\_\_\_  
(Ф.И.О.) (подпись)  
Руководитель практики  
младший научный сотрудник лаб. 3/2  
ТОИ ДВО РАН  
(должность, уч. звание)  
Сорокин М. А. \_\_\_\_\_  
(Ф.И.О.) (подпись)  
«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024г.

Практика пройдена в срок  
с «8» апреля 2024 г.  
по «28» мая 2024 г.

г. Владивосток  
2024

## Оглавление

Введение .....	3
Актуальность .....	3
Задачи .....	3
Цель .....	3
Теоретическая часть .....	4
Основы акустики океана .....	4
Практическая часть .....	6
Моделирование .....	6
Методология .....	6
Формула для расчета скорости звука .....	6
Результаты моделирования .....	7
Распространение звука вдоль подводного звукового канала .....	7
Образование зоны геометрической тени .....	7
Итог .....	8
Заключение .....	8
Индивидуальный вклад членов команды .....	10
Список используемых источников .....	11
Приложение .....	12
Приложение 1 .....	12
Приложение 2 .....	12

## Введение

### Актуальность

Исследование акустики океана является важной задачей современной науки, поскольку точные и надежные системы подводной навигации необходимы для выполнения различных морских операций. Изучение основ акустики океана позволяет понять, как звук распространяется в воде и какие факторы, такие как температура, соленость и давление, влияют на его скорость. Это знание необходимо для оптимизации подводных навигационных и коммуникационных систем. Обработка экспериментальных данных включает анализ и интерпретацию результатов полевых исследований, что позволяет улучшить точность и надежность акустических моделей. Моделирование акустических полей с использованием виртуальных моделей помогает прогнозировать поведение звуковых сигналов в различных условиях. Эти задачи способствуют развитию технологий для эффективного исследования океанов, повышения безопасности морских операций и улучшения экологического мониторинга.

### Задачи

#### 1. Изучение основ акустики океана

- Понимание распространения звука в воде.

#### 2. Обработка экспериментальных данных

- Анализ входных данных

#### 3. Моделирование акустических полей

### Цель:

Смоделировать акустическое поле в среде разработки MATLAB

## Теоретическая часть

### Основы акустики океана

В рамках производственной практики была выполнена научно-исследовательская работа, сфера которой охватывает акустику океана, что позволило применить теоретические знания на практике и углубить в вышеуказанной области. За время прохождения практики были рассмотрены и изучены теоретические основы в обозреваемой области науки, а также было проведено исследование, заключающееся в моделировании акустических полей с последующим анализом полученного и выявление закономерностей в зависимости от входных данных.

Акустика океана – это раздел акустики, направленный на изучение распространения звуковых волн в океане. Одной из ключевых задач в этой области является разработка систем подводной акустической навигации, необходимых для работы автономных подводных аппаратов (АПА), которые не могут использовать GPS под водой. В связи с этим моделирование распространения звука в океане приобретает особое значение.

#### Распространение звука в океане

Звук в океане распространяется в виде волн, и скорость их распространения зависит от температуры, солености и давления.

#### Акустическая навигация и ее значимость

Системы подводной акустической навигации крайне важны для автономных подводных аппаратов, поскольку позволяют им ориентироваться и выполнять задачи на больших глубинах. Такие системы используют гидроакустические сигналы для определения местоположения объектов, что делает их незаменимыми для подводных исследований и операций.

#### Моделирование звуковых полей

Моделирование акустических полей в океане необходимо для прогнозирования поведения звуковых волн и оптимизации навигационных систем. Одним из методов моделирования является использование широкоугольных параболических уравнений, которые позволяют учитывать сложные условия распространения звука в неоднородной среде.

#### Экспериментальные методы и их ограничения

Хотя экспериментальные методы исследований океана, такие как акустические измерения и наблюдения, являются важными, они могут быть сложными, дорогостоящими

и иногда невозможными из-за особенностей морской среды. Поэтому использование математических моделей и вычислительных методов особенно важно для эффективного и экономичного проведения исследований.

Изучение основ акустики океана и разработка моделей распространения звука имеют большое значение для создания точных и надежных систем подводной навигации. Эти системы необходимы для работы автономных подводных аппаратов, что делает исследования в области акустики океана актуальными и востребованными в современной науке.

## Практическая часть

### Моделирование

Для выполнения необходимого ряда задач была выбрана такая интегрированная среда разработки, как MATLAB. Перед непосредственным проведением исследований были изучен синтаксис языка, а также основы разработки алгоритмов и визуализации данных.

В рамках данной работы была выполнена научно-исследовательская работа по моделированию акустических полей в океане. Использование математических моделей для исследования распространения звука в морской среде позволяет глубже понять механизмы передачи звуковых волн.

### Методология

Моделирование акустического поля проводилось с использованием следующих параметров:

- Частота звука  $f = 400\text{Гц}$
- Глубина источника  $z_s = 20\text{м}$
- Максимальное расстояние  $r_{\max} = 140\text{км}$
- Максимальная глубина  $z_{\max} = 3000\text{м}$
- Порядок аппроксимации  $np = 5$
- Шаг сетки по расстоянию  $dr = 2\text{м}$
- Шаг сетки по глубине  $dz = 1\text{м}$
- Справочная скорость звука  $c_0 = 1500\text{м/с}$
- Шаг сетки для профилей дна и гидрологии равная  $5000\text{ м.}$
- Глубина для сохранения вычисленного поля равная  $3000\text{ м.}$

Исследования охватывали волноводы мелкого и глубокого моря, включая переходные зоны.

### Формула для расчета скорости звука

Для моделирования использовалась формула для расчета скорости звука, учитывающая вертикальное распределение:

$$c(z) = c_1(1 + \varepsilon(\eta(z) + e^{\eta(z)} - 1)), \text{ где } \eta = \frac{2(z - z_1)}{B}$$

где  $z_1$  — глубина оси подводного звукового канала,  $c_1$  — скорость звука на оси подводного звукового канала,  $B$  и  $\varepsilon$  — параметр профиля, отвечающий за кривизну графика данной зависимости.

В рассматриваемом в данной исследовательской работе наборе данных получаем  $c_0 = 1480$  м/с  $\varepsilon = 0.0005$ ,  $B = 95$ ,  $z_1 = 200$  м.

### **Результаты моделирования**

На представленном графике изображено смоделированное акустическое поле, показывающее распространение звуковых волн в условиях перехода от мелкого моря к глубокому. (Приложение 1) График демонстрирует значительное изменение звукового поля при переходе от мелкой к глубокой воде. В мелком море звук распространяется преимущественно на небольших глубинах, в то время как в глубоководной части звуковые волны могут распространяться на большие расстояния благодаря подводному звуковому каналу (ПЗК).

### **Распространение звука вдоль подводного звукового канала**

Подводный звуковой канал представляет собой слой воды, в котором скорость звука минимальна. Это создает условия для удержания звуковых волн внутри канала и их распространения на большие расстояния с минимальными потерями. В глубоком море ПЗК позволяет звуковым волнам распространяться на тысячи километров, что крайне важно для подводной навигации и связи.

### **Образование зоны геометрической тени**

На графике также видно образование зоны геометрической тени, которая возникает из-за перепадов глубин и свойств водной среды. В этой зоне звуковые волны не могут распространяться прямо, что приводит к снижению интенсивности звука. Такие зоны особенно важны при планировании подводных миссий, так как они могут существенно влиять на качество связи и точность навигации.

Исследования показали, что в волноводах мелкого моря потери на распространение звука оказываются ниже, когда подводный звуковой канал располагается над источником звука.

## Итог

Результатом выполненной работы стало успешное моделирование акустических полей, что позволило глубже понять процессы распространения звука в океане. Полученные результаты важны для разработки точных систем подводной навигации и связи. Выполненная работа также позволила приобрести опыт научной деятельности и изучить основы акустики и гидроакустики.

## Заключение

Результатом выполнения данной практики стало успешное проведение исследовательской работы, направленной на моделирование акустических полей в океане. В ходе работы были достигнуты важные результаты и приобретены ценные навыки, способствующие развитию как теоретических, так и практических аспектов научной деятельности.

Во-первых, был получен ценный опыт научной работы, который включал в себя все этапы исследовательского процесса: от постановки задачи и формулировки гипотез до анализа полученных данных и их интерпретации. Работа с научной литературой, знакомство с последними исследованиями в области акустики океана и гидроакустики позволили углубить знания и лучше понять современные тенденции и подходы в этой области.

Во-вторых, практика предоставила возможность приобрести навыки работы в команде. Совместная работа над проектом требовала эффективного взаимодействия, обмена идеями и конструктивного решения возникающих проблем. Это способствовало развитию коммуникативных навыков и умений работать в коллективе, что является важным аспектом любой научной деятельности.

Одним из ключевых аспектов практики было изучение и использование инструментов для моделирования и программирования в среде MATLAB. Были изучены основные возможности этого программного обеспечения, включая написание скриптов, использование встроенных функций и создание визуализаций данных. Эти навыки являются фундаментальными для проведения вычислительных экспериментов и анализа данных в научных исследованиях.

Кроме того, в ходе работы были изучены основы акустики. Понимание фундаментальных принципов распространения звука в водной среде, а также факторов,



влияющих на скорость звука, таких как температура, соленость и давление, позволило более глубоко понять процессы, происходящие в океане.

Практика также включала моделирование распространения звука в различных условиях, что позволило изучить влияние различных параметров на акустическое поле. Было показано, как изменения в скорости звука, вызванные вариациями в температуре и солености, могут влиять на распространение звуковых волн и создавать зоны геометрической тени. Эти результаты важны для понимания процессов, происходящих в океане, и для разработки эффективных систем подводной навигации.

В заключение, практика предоставила уникальную возможность применить теоретические знания на практике, что способствовало закреплению и углублению полученных знаний. Выполнение исследовательской работы позволило не только приобрести новые навыки и знания, но и подготовиться к дальнейшей научной деятельности. Полученные результаты и приобретенные навыки будут полезны в будущих исследованиях и профессиональной деятельности в области акустики океана и гидроакустики.

## Индивидуальный вклад членов команды

Винницкая Дина Сергеевна

1. Программирование, написание вычислительного алгоритма;
2. Работа со списками используемых источников;
3. Структуризация и оформление отчета;

Пшенник Вячеслав Романович

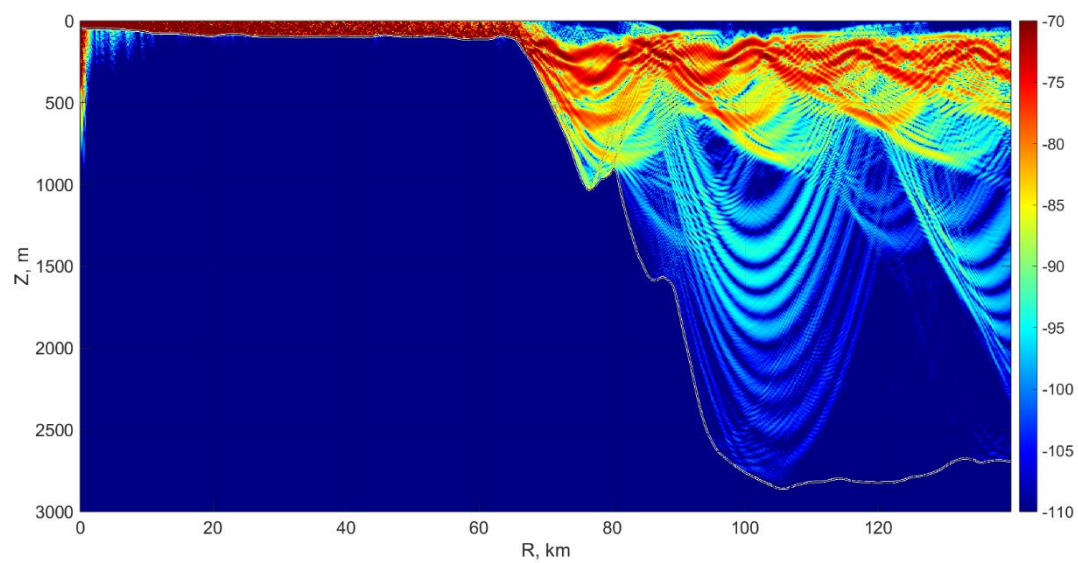
1. Программирование, участие в написании вычислительного алгоритма
2. Написание отчета;

## Список используемых источников

1. Экспериментальное и теоретическое исследование времен прихода и эффективных скоростей при дальнем распространении импульсных акустических сигналов вдоль кромки шельфа в мелком море, Петров П. С., Голов А. А., Безответных В. В., Буренин А. В., Козицкий С. Б., Сорокин М. А., Моргунов Ю. Н., Акустический журнал. 2020. Т. 66. № 1. С. 20-33.
2. Оценка влияния синоптических вихрей на точность решения задач акустической дальнометрии, Сорокин М.А., Петров П.С., Каплуненко Д.Д., Степанов Д.В., Моргунов Ю.Н., Подводные исследования и робототехника. 2020. № 4(34). С. 53-60.
3. Исследование влияния гидрологических условий на распространение псевдослучайных сигналов из шельфа в глубокое море, Моргунов Ю.Н., Безответных В.В., Буренин А.В., Войтенко Е.А., Акустический журнал. 2016. Т. 62. № 3. С. 341-347.
4. Исследования пространственно-временной структуры акустического поля, формируемого в глубоком море источником широкополосных импульсных сигналов, расположенным на шельфе Японского моря, Моргунов Ю.Н., Голов А.А., Буренин А.В., Петров П.С., Акустический журнал. 2019. Т. 65. № 5. С. 641-649.
5. Прогноз эффективной скорости распространения акустических сигналов на основе модели циркуляции океана, Сорокин М.А., Петров П.С., Каплуненко Д.Д., Голов А.А., Моргунов Ю.Н., Акустический журнал. 2021. Т. 67. № 5. С. 521–532.
6. Разработка систем акустической навигации и акустической дальнометрии, Петров П. С., Моргунов Ю. Н., Безответных В. В., Буренин А. В., Акустический журнал. 2020. Т. 66. № 1. С. 20-33.

## Приложение

### Приложение 1



### Приложение 2

