

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники  
 Направление подготовки – 15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств  
 ООП – Автоматизация технологических процессов и нефтегазовой отрасли  
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

### ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

Тема работы
Рассеяние плоской акустической волны на сферической капле воды в нефти

УДК 534.18:665.6–023.487

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
158Т92	Шэн Юйсы		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОАР ИШИТР	Исаев.Ю.Н.	д.ф–м.н. профессор		

#### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Былкова Т.В.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ООД ШБИП	Сечин.А.И	д.т.н.		

Нормоконтроль (при наличии)

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОАР ИШИТР	Кучман А.В.			

#### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП, должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Скороспешкин М.В.	к.т.н.		

Томск – 2023 г.

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП

Код компетенции	Наименование компетенции
<b>Универсальные компетенции</b>	
<b>УК(У)–1</b>	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач.
<b>УК(У)–2</b>	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений.
<b>УК(У)–3</b>	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде.
<b>УК(У)–4</b>	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(–ых) языке(–ах).
<b>УК(У)–5</b>	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально–историческом, этическом и философском контекстах.
<b>УК(У)–6</b>	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни.
<b>УК(У)–7</b>	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
<b>УК(У)–8</b>	Способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций.
<b>УК(У)–9</b>	Способен проявлять предприимчивость в профессиональной деятельности, в т.ч. в рамках разработки коммерчески перспективного продукта на основе научно–технической идеи
<b>УК(У)–10</b>	Способен принимать обоснованные экономические решения в различных областях жизнедеятельности.
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>	
<b>ОПК(У)–1</b>	Способен использовать основные закономерности, действующие в процессе изготовления продукции требуемого качества, заданного количества при наименьших затратах общественного труда.
<b>ОПК(У)–2</b>	Способен решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно–коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности.
<b>ОПК(У)–3</b>	Способен использовать современные информационные технологии, технику, прикладные программные средства при решении задач профессиональной деятельности.
<b>ОПК(У)–4</b>	Способен участвовать в разработке обобщенных вариантов решения проблем, связанных с автоматизацией производств, выборе на основе анализа вариантов оптимального прогнозирования последствий

Код компетенции	Наименование компетенции
	решения.
<b>ОПК(У)–5</b>	Способен участвовать в разработке технической документации, связанной с профессиональной деятельностью.
<b>Профессиональные компетенции</b>	
<b>ПК(У)–1</b>	Способен собирать и анализировать исходные информационные данные для проектирования технологических процессов изготовления продукции, средств и систем автоматизации, контроля, технологического оснащения, диагностики, испытаний, управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством; участвовать в работах по расчету и проектированию процессов изготовления продукции и указанных средств и систем с использованием современных информационных технологий, методов и средств проектирования.
<b>ПК(У)–2</b>	Способен выбирать основные и вспомогательные материалы для изготовления изделий, способы реализации основных технологических процессов, аналитические и численные методы при разработке их математических моделей, методы стандартных испытаний по определению физико–механических свойств и технологических показателей материалов и готовых изделий, стандартные методы их проектирования, прогрессивные методы эксплуатации изделий.
<b>ПК(У)–3</b>	Готов применять способы рационального использования сырьевых, энергетических и других видов ресурсов, современные методы разработки малоотходных, энергосберегающих и экологически чистых технологий, средства автоматизации технологических процессов и производств.
<b>ПК(У)–4</b>	Способен участвовать в постановке целей проекта (программы), его задач при заданных критериях, целевых функциях, ограничениях, разработке структуры его взаимосвязей, определении приоритетов решения задач с учетом правовых и нравственных аспектов профессиональной деятельности, в разработке проектов изделий с учетом технологических, конструкторских, эксплуатационных, эстетических, экономических и управленческих параметров, в разработке проектов модернизации действующих производств, создании новых, в разработке средств и систем автоматизации, контроля, диагностики, испытаний, управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством в соответствии с техническими заданиями и использованием стандартных средств автоматизации расчетов и проектирования.
<b>ПК(У)–5</b>	Способен участвовать в разработке (на основе действующих стандартов и другой нормативной документации) проектной и рабочей технической документации в области автоматизации технологических процессов и производств, их эксплуатационному обслуживанию, управлению жизненным циклом продукции и ее качеством, в мероприятиях по контролю соответствия разрабатываемых проектов и технической документации действующим стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам.
<b>ПК(У)–6</b>	Способен проводить диагностику состояния и динамики производственных объектов производств с использованием необходимых методов и средств анализа.

<b>Код компетенции</b>	<b>Наименование компетенции</b>
<b>ПК(У)–7</b>	Способен участвовать в разработке проектов по автоматизации производственных и технологических процессов, технических средств и систем автоматизации, контроля, диагностики, испытаний, управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством, в практическом освоении и совершенствовании данных процессов, средств и систем.
<b>ПК(У)–8</b>	Способен выполнять работы по автоматизации технологических процессов и производств, их обеспечению средствами автоматизации и управления, готовностью использовать современные методы и средства автоматизации, контроля, диагностики, испытаний и управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством.
<b>ПК(У)–9</b>	Способен определять номенклатуру параметров продукции и технологических процессов ее изготовления, подлежащих контролю и измерению, устанавливать оптимальные нормы точности продукции, измерений и достоверности контроля, разрабатывать локальные поверочные схемы и выполнять проверку и отладку систем и средств автоматизации технологических процессов, контроля, диагностики, испытаний, управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством, а также их ремонт и выбор; осваивать средства обеспечения автоматизации и управления.
<b>ПК(У)–10</b>	Способен проводить оценку уровня брака продукции, анализировать причины его появления, разрабатывать мероприятия по его предупреждению и устранению, по совершенствованию продукции, технологических процессов, средств автоматизации и управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством, систем экологического менеджмента предприятия, по сертификации продукции, процессов, средств автоматизации и управления.
<b>ПК(У)–11</b>	Способен участвовать: в разработке планов, программ, методик, связанных с автоматизацией технологических процессов и производств, управлением процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством, инструкций по эксплуатации оборудования, средств и систем автоматизации, управления и сертификации и другой текстовой документации, входящей в конструкторскую и технологическую документацию, в работах по экспертизе технической документации, надзору и контролю за состоянием технологических процессов, систем, средств автоматизации и управления, оборудования, выявлению их резервов, определению причин недостатков и возникающих неисправностей при эксплуатации, принятию мер по их устранению и повышению эффективности использования.
<b>ПК(У)–18</b>	Способен аккумулировать научно–техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт в области автоматизации технологических процессов и производств, автоматизированного управления жизненным циклом продукции, компьютерных систем управления ее качеством.
<b>ПК(У)–19</b>	Способен участвовать в работах по моделированию продукции, технологических процессов, производств, средств и систем автоматизации, контроля, диагностики, испытаний и управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством с

<b>Код компетенции</b>	<b>Наименование компетенции</b>
	использованием современных средств автоматизированного проектирования, по разработке алгоритмического и программного обеспечения средств и систем автоматизации и управления процессами.
<b>ПК(У)–20</b>	Способен проводить эксперименты по заданным методикам с обработкой и анализом их результатов, составлять описания выполненных исследований и подготавливать данные для разработки научных обзоров и публикаций.
<b>ПК(У)–21</b>	Способен составлять научные отчеты по выполненному заданию и участвовать во внедрении результатов исследований и разработок в области автоматизации технологических процессов и производств, автоматизированного управления жизненным циклом продукции и ее качеством.
<b>ПК(У)–22</b>	Способен участвовать: в разработке программ учебных дисциплин и курсов на основе изучения научной, технической и научно–методической литературы, а также собственных результатов исследований; в постановке и модернизации отдельных лабораторных работ и практикумов по дисциплинам профилей направления; способностью проводить отдельные виды аудиторных учебных занятий (лабораторные и практические), применять новые образовательные технологии, включая системы компьютерного и дистанционного обучения.



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники  
Направление подготовки – Шифр «Наименование направления»  
Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

\_\_\_\_\_ Громаков Е.И.

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

### ЗАДАНИЕ

#### на выполнение выпускной квалификационной работы

Обучающийся:

Группа	ФИО
158Т92	Шэн Юйсы

Тема работы:

Рассеяние плоской акустической волны на сферической капле воды в нефти	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№33–43/с от 02.02.2023 г.

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:	09.06.2023
--	------------

### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p><b>Исходные данные к работе</b></p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объектом исследования является явление рассеяния плоских акустических волн на нефтяных взвесах. Цель исследования этого явления заключается в использовании программы Console для имитации распределения звукового давления.</p>
<p><b>Перечень разделов пояснительной записки подлежащих исследованию, проектированию и разработке</b></p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Анализ поверхностного натяжения и функции Гиббса;</p> <p>Отражение и рефракция плоской волны на сферической капле;</p> <p>Расчет распространения акустической волны давления на поверхности сферических частиц;</p> <p>Звуковое давление на поверхности рассеивающей сферы;</p>

<b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Нет
---	-----

<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> <i>(с указанием разделов)</i>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Былкова Татьяна Васильевна, доцент ОСГН ШБИП, к.э.н.
Социальная ответственность	Сечин Александр Иванович, профессор ООД ШБИП, д.т.н.
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на иностранном языке:</b>	
Заключение (Conclusion)	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	02.02.2023 г.
---	---------------

**Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОАР ИШИТР	Исаев Ю.Н.	д.ф–м.н. Профессор		02.02.2023

**Задание принял к исполнению обучающийся:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
158Т92	Шэн Юйсы		02.02.2023

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники

Направление подготовки (ООП)– 15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств

Уровень образования – Бакалавриат

Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

Период выполнения – Весенний семестр 2022 /2023 учебного года

### КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ–ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Обучающийся:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
158Т92	Шэн Юйсы

Тема работы:

Рассеяние плоской акустической волны на сферической капле воды в нефти
--

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:	09.06.2023
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
29.05.2023 г.	<i>Основная часть ВКР</i>	60
30.05.2023 г.	<i>Раздел «Социальная ответственность»</i>	20
30.05.2023 г.	<i>Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»</i>	20

**СОСТАВИЛ:**

**Руководитель ВКР**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОАР ИШИТР	Исаев.Ю.Н.	д.ф–м.н. профессор		02.02.2023

**СОГЛАСОВАНО:**

**Руководитель ООП**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Громаков Е.И.	к.т.н., доцент		02.02.2023

**Обучающийся**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
158Т92	Шэн Юйсы		02.02.2023

## Реферат

Выпускная квалификационная работа 58 страниц, содержит 8 рисунка, 12 таблиц, 8 источников литературы, 3 приложения.

Ключевые слова: рассеивание звука, звуковые волны, нефтяная суспензия, звуковое давление, поверхностное натяжение.

Объектом исследования является сферические капли в нефтяной суспензии.

Цель работы – Использование программ Mathcad и Comsol для моделирования распределения звукового давления с целью определения характеристик распространения звуковых волн в нефтяных суспензиях.

В нашей работе мы проанализировали процесс рассеяния плоских акустических волн, исследовали и рассчитали распределение давления акустических волн на поверхность сферических капель и окружающую ее среду.

Результатом этой работы является моделирование характеристик распределения звукового давления и скорости звука на поверхности сферической капли воды и окружающей ее среды с помощью программ Mathcad и Comsol.

Рассеяние плоских акустических волн сферическими каплями воды в масле — важное физическое явление, имеющее большое значение во многих приложениях, таких как добыча нефти, исследование океана и военная разведка.

Прежде всего, при конструировании сферических капель воды необходимо учитывать влияние их диаметра, плотности, показателя преломления и других факторов на рассеяние звуковой волны. Как правило, капли воды большого диаметра, высокой плотности и показателя преломления, аналогичного окружающей среде, будут оказывать более сильное рассеивающее действие на звуковые волны.

Во-вторых, в процессе подготовки требуется высокоточный процесс подготовки, чтобы диаметр и плотность сферических капель воды соответствовали требованиям. В то же время также требуется соответствующая технология обработки поверхности для усиления силы взаимодействия между сферической каплей воды и окружающей средой, тем самым повышая эффективность рассеяния звуковых волн.

Наконец, рабочие характеристики рассеяния сферическими каплями в основном включают его частотную характеристику и направленность.

Степень, в которой сферические капли воды в масле рассеивают плоские акустические волны, в основном зависит от нескольких факторов, включая размер и плотность сферических капель воды, частоту и угол падения звуковых волн, а также показатель преломления окружающей среды. В практических приложениях эффект рассеяния обычно контролируют, регулируя эти факторы.

С точки зрения стоимости процесс подготовки сферических капель воды в масле относительно сложен, требует высокоточной технологии подготовки и соответствующей обработки поверхности, но стоимость технологии акустических волн относительно низка. Следовательно, применяя эту технологию, можно получить более точные данные, снизить стоимость последующих операций и добиться долгосрочных экономических выгод.

В будущем, с непрерывным развитием науки и техники и непрерывной зрелостью связанных технологий, рассеяние плоских акустических волн сферическими каплями воды в масле будет дополнительно изучаться и применяться. Например, путем объединения технологий искусственного интеллекта, таких как алгоритмы глубокого обучения.

## Содержание

Введение.....	13
1.Основной раздел.....	15
1.1Анализ поверхностного натяжения и функции Гиббса .....	15
1.2Отражение и рефракция плоской волны на сферической капле .....	18
1.3Отражение и рефракция плоской волны на абсолютно жесткой сфере. ....	22
1.4 Звуковое давление на поверхности рассеивающей сферы .....	28
1.5 Вывод.....	32
2 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение... ..	36
2.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения .....	36
2.2 Планирование научно–исследовательских работ .....	37
2.2.1 Структура работ в рамках научного исследования .....	37
2.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ .....	38
2.3Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой эффективности исследования .....	42
3.Социальная ответственность.....	47
3.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	47
3.2 Производственная безопасность .....	48
3.2.1Анализ опасных и вредных производственных факторов .....	49
3.2.2Анализ искусственного освещения.....	50
3.2.3Анализ электромагнитных полей промышленной частоты .....	51
3.2.4Анализ электробезопасности .....	51
3.2.5 Анализ показателей вибрации .....	52

3.3 Экологическая безопасность.....	52
3.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	53
3.5 Выводы по разделу.....	54
Заключение .....	56
Список используемой литературы .....	57

## Введение

С непрерывным развитием нефтяной промышленности нефтяная суспензия, как вещество, обычно используемое при добыче и транспортировке нефти, приобретает все большее значение неразрушающего контроля и контроля. Акустическая технология широко используется в области промышленного контроля благодаря своим бесконтактным и неразрушающим характеристикам. Для изучения особенностей распространения звуковой волны в нефтяной взвеси большое значение имеет изучение закона ее рассеяния.

Рассеяние звуковых волн на нефтяных суспензиях означает, что при прохождении звуковых волн через нефтяные суспензии часть звуковых волн будет рассеиваться частицами, пузырьками и другими веществами, диспергированными в жидкости. Эти частицы, пузырьки и другие вещества имеют разные размеры и формы, и они связаны с частотой, длиной волны и другими параметрами звуковой волны, поэтому они будут оказывать различное рассеивающее воздействие на звуковую волну в процессе распространения звуковой волны.

В нефтяных суспензиях звук в основном подвергается трем явлениям рассеяния: звуковому рассеянию, обратному рассеянию и многократному рассеянию. Среди них рассеяние скорости звука относится к непрерывному изменению скорости звука с глубиной из-за наличия частиц и пузырьков во взвеси, так что звуковая волна отражается и рассеивается при встрече с этими изменениями; обратное рассеяние относится к звуковой волне при встрече с ней. крупные частицы или пузырьки. В результате сильное отражение и обратное рассеяние обратно в направлении источника звука; многократное рассеяние относится к повторяющемуся рассеянию звуковой волны большим количеством частиц и пузырьков в суспензии, что в конечном итоге приводит к тому, что звуковая волна теряет свою первоначальную энергию и информацию.

Целью данной работы является исследование закона рассеяния звука на нефтяных суспензиях. С помощью программ Mathcad и Comsol анализируются характеристики распространения звуковой волны в нефтяной взвеси и взаимосвязь с частицами, пузырьками и другими веществами во взвеси, а также влияние механизма рассеяния скорости звука, обратного рассеяния и многократного Рассеяние исследуется, чтобы обеспечить основу для развития Использование нефтяных ресурсов.

## 1. Основной раздел

### 1.1 Анализ поверхностного натяжения и функции Гиббса

Запишем уравнение первого и второго законов термодинамики для объемной и поверхностной частей системы:

$$dU = TdS + \sigma d\Sigma - pdV. \quad (1)$$

Используя преобразование Лежандра, можно перейти к энергии Гиббса естественными переменными которой будут температура  $T$ , поверхность  $\Sigma$  и давление  $p$

$$dG = -SdT + \sigma d\Sigma + Vdp, \quad (2)$$

где  $U$  – внутренняя энергия;

$G$  – энергия Гиббса;  $S$  – энтропия;

$T$  – температура;

$\sigma$  – поверхностное натяжение;

$\Sigma$  – площадь поверхности;

$p$  – давление.

Поверхностное натяжение в соответствии с (1), определяется как энергия на единицу площади при адиабатическом процессе или как поверхностная энергия Гиббса при изотермическом процессе

$$\sigma = \left( \frac{\partial U}{\partial \Sigma} \right)_{S,V} = \left( \frac{\partial G}{\partial \Sigma} \right)_{T,p} \quad (3)$$

Полученные выражения позволяют трактовать поверхностное натяжение как удельную поверхностную энергию Гиббса.

Из уравнения Максвелла для выражения (2) определим связь удельной энтропии с поверхностным натяжением

$$S_{\Sigma} = \left( \frac{\partial S}{\partial \Sigma} \right)_T = - \left( \frac{\partial \sigma}{\partial T} \right)_{\Sigma} \quad (4)$$

Таким образом удельная поверхностная энтропия есть температурный коэффициент поверхностного натяжения. запишем удельную энергию для поверхностной части уравнения (1) с учетом (4)

$$U_{\Sigma} = TS_{\Sigma} + \sigma = \sigma - T \frac{\partial \sigma}{\partial T} \quad (5)$$

Характерный вид графика поверхностного натяжения  $\sigma(T)$  как функции температуры, это линейная зависимость с отрицательным наклоном (см. рис). следовательно, температурный коэффициент поверхностного натяжения (удельная поверхностная энтропия) есть постоянная прямая. качественно все зависимости можно нарисовать в виде, представленном на рисунке 1.

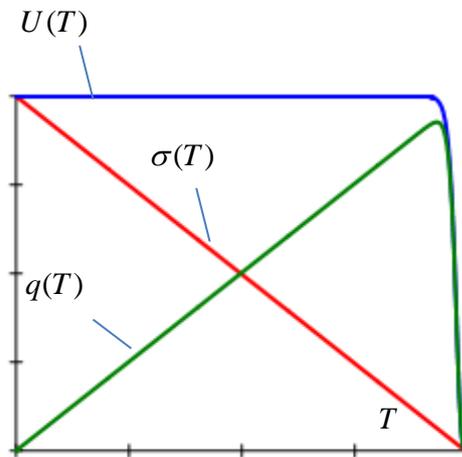


Рисунок 1 – Графики зависимостей

Следовательно внутренняя энергия определяется выражением

$$U = \left( \sigma - T \frac{\partial \sigma}{\partial T} \right) \Sigma \quad (6)$$

Если из последнего выражения вычесть энтропийное слагаемое  $TS = -T(d\sigma/dT)\Sigma$ , То можно получить свободную энергию Гельмгольца–  $F$ , ту часть внутренней энергии которая может совершать механическую работу:

$$F = \left( U + T \frac{\partial \sigma}{\partial T} \Sigma \right) = \sigma \Sigma \quad (7)$$

При изотермическом процессе за счет убыли свободной энергии  $F$  совершается механическая работа. Поверхностное натяжение зависит только от температурных. Для совершения механической работы  $A$  нужно изменить поверхностную площадь.

$$A = F_2 - F_1 = \sigma(\Sigma_2 - \Sigma_1) \quad (8)$$

Рассмотрим случай, когда капли меньшего размера сливаются в одну каплю большего размера. суммарная энергия в каплях меньшего размера больше чем энергия в образующейся капле большего размера, потому что в каплях меньшего размера содержится избыток поверхностной энергии. система всегда стремится к минимуму энергии и поэтому этот процесс слияния капель происходит самопроизвольно.

Вычислим тепловую энергию, выделяющуюся при слиянии мелких капель в одну большую. Для этого определим разность энтропий в исходной  $S_1$  и в конечной системах  $S_2$ . Так как процесс изотермический, то теплота выделяемая при этом процессе будет определяться выражением

$$Q = (S_2 - S_1)T = -T \left( \frac{d\sigma}{dT} \Sigma_2 - \frac{d\sigma}{dT} \Sigma_1 \right) = -T \frac{d\sigma}{dT} (\Sigma_2 - \Sigma_1) \quad (9)$$

Следовательно, сначала надо определим величину увеличения площади поверхности  $\Delta\Sigma = \Sigma_2 - \Sigma_1$ . пусть радиус образующейся капли будет  $R$ , а радиус исходных капель  $r$ . Число исходных капель вмещающихся в образуемую каплю определим соотношением (9)

$$n = \left( \frac{R}{r} \right)^3 \quad (9)$$

Увеличение площади поверхности определяется соотношением

$$\Delta\Sigma = \Sigma_2 - \Sigma_1 = 4\pi(r^2 n - R^2) = 4\pi \left( r^2 \frac{R^3}{r^3} - R^2 \right) = 4\pi R^2 \left( \frac{R}{r} - 1 \right) \quad (10)$$

Поставим полученное выражение в (8) получим (11)

$$Q = -4\pi R^2 T \frac{d\sigma}{dT} \left( \frac{R}{r} - 1 \right) \quad (11)$$

В частности, для образования одной капли воды радиуса  $R = 1\text{мм}$  из мелких капель радиусом  $r = 10^{-3}\text{мм}$  при температуре  $t = 100^\circ$ ,  $T = t + 273 = 373^\circ$ , с температурным коэффициентом поверхностного натяжения равным  $d\sigma / dT = -0,20 \cdot 10^{-7} \text{ Дж} / (\text{см}^2 \cdot \text{К})$  получим

$$Q = -4\pi R^2 T \frac{d\sigma}{dT} \left( \frac{R}{r} - 1 \right) = -4 \cdot 3,14 \cdot (10^{-1})^2 \cdot 373 \cdot (-0,2 \cdot 10^{-7}) \cdot \left( \frac{1}{10^{-3}} - 1 \right) = 9,4 \cdot 10^{-4} \text{ Дж}$$

А работа, которую совершает система для слияния капель можно определить из соотношения (8), при  $\sigma = 72 \text{ мДж} / \text{м}^2$

$$A = F_2 - F_1 = \sigma (\Sigma_2 - \Sigma_1) = 4\pi R^2 \sigma \left( \frac{R}{r} - 1 \right) = 2,218 \cdot 10^{-4} \text{ Дж}$$

Этот процесс можно рассматривать и в другую сторону. Сколько энергии нужно вложить в дисперсную среду, чтобы капли не сливались в одну, чтобы среда оставалась монодисперсной. То есть привести среду в метастабильное состояние с энергией достаточной для удержания в стабильном состоянии.

В процессе исследования рассеяния звуковых волн на нефтяных взвешках к параметрам падающих волн относятся частота, амплитуда, скорость волны и форма волны. Для эффективного изучения процесса рассеяния звуковых волн на нефтяных суспензиях необходимо подобрать соответствующую длину волны падающей волны. Вообще говоря, длина волны звуковой волны должна быть намного больше диаметра частиц или пузырьков, чтобы обеспечить очевидный эффект рассеяния.[1]

## **1.2 Отражение и рефракция плоской волны на сферической капле**

Будем рассматривать каплю как сферическую частицу, на которую падает плоская монохроматическая ультразвуковая волна давления частоты  $f = 0,3 \text{ МГц}$ . Диаметр капли будем считать равным  $0,005 \text{ м} = 5 \text{ мм}$  (рисунок 2).

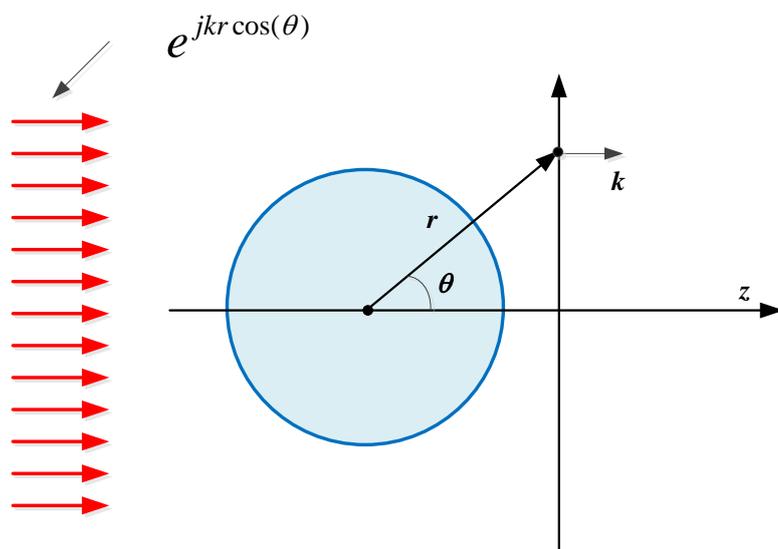


Рисунок 2 – Распространение плоских волн на поверхности сферической капли.

Для решения поставленной задачи будем использовать сферические функции – полиномы Лежандра. Полиномы Лежандра обладают ортогональностью на интервале  $[-1, 1]$ .

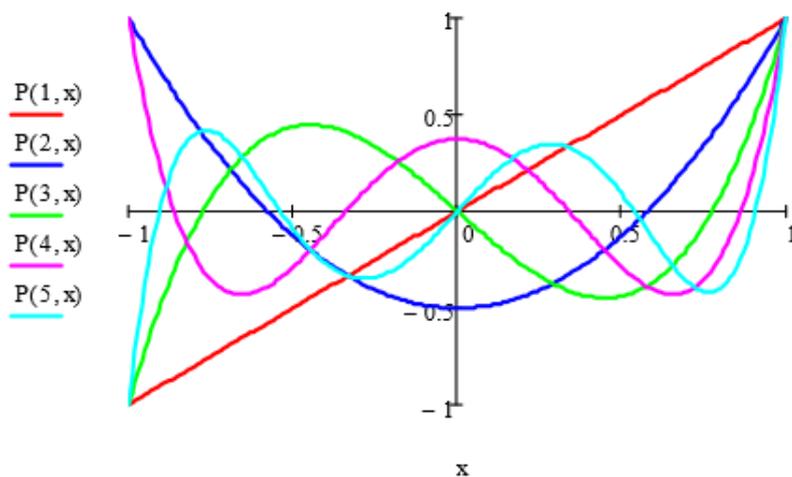
В качестве примера приведем несколько первых полиномов Лежандра

$$P_n(x) = \frac{1}{2^n n!} \frac{d^n}{dx^n} (x^2 - 1)^n$$

$$P_0(x) = 1, \quad P_1(x) = x, \quad P_2(x) = \frac{1}{2}(3x^2 - 1), \quad P_3(x) = \frac{1}{2}(5x^3 - 3x),$$

$$P_4(x) = \frac{1}{8}(35x^4 - 30x^2 + 3), \quad P_5(x) = \frac{1}{8}(63x^5 - 70x^3 + 15x),$$

$$P_6(x) = \frac{1}{16}(231x^6 - 315x^4 + 105x^2 - 5)$$



### Рисунок 3 – Изображение функции Лежандра

Полиномами Лежандра удобно описывать рассеяния звуковых волн телами, имеющими сферическую структуру. [2]

Представим плоскую волну в виде суперпозиции полиномов Лежандра:

$$e^{ikz} = e^{ikr\mu} = e^{ikr\cos(\theta)} = \sum_v^N a_v P_v(\mu) \quad (1)$$

Здесь  $k$  – волновой вектор (пространственная частота),  $\mu = \cos(\theta)$  – косинус угла наклона к горизонтальной оси,  $z$  – координата распространения,  $r$  – радиус вектор. Будем решать задачу в относительных единицах,  $R=1$  радиус сферы.

Определим коэффициента разложения  $a_v$  ряда (1)

$$a_v = \left( v + \frac{1}{2} \right) \int_{-1}^1 P_v(\mu) e^{i\mu kr} d\mu = i^v (2v + 1) j_v(kr),$$

где  $i$  – мнимая единица;

$j_v(kr)$  – сферическая функция Бесселя  $V$  – того порядка.

Проверим точность разложения плоской волны, используя программу Mathcad (листинг 1).

Листинг 1 – Проверка точности разложения плоской волны

*Коэффициент разложения ряда и декомпозиция плоской волны по полиномам Лежандра*

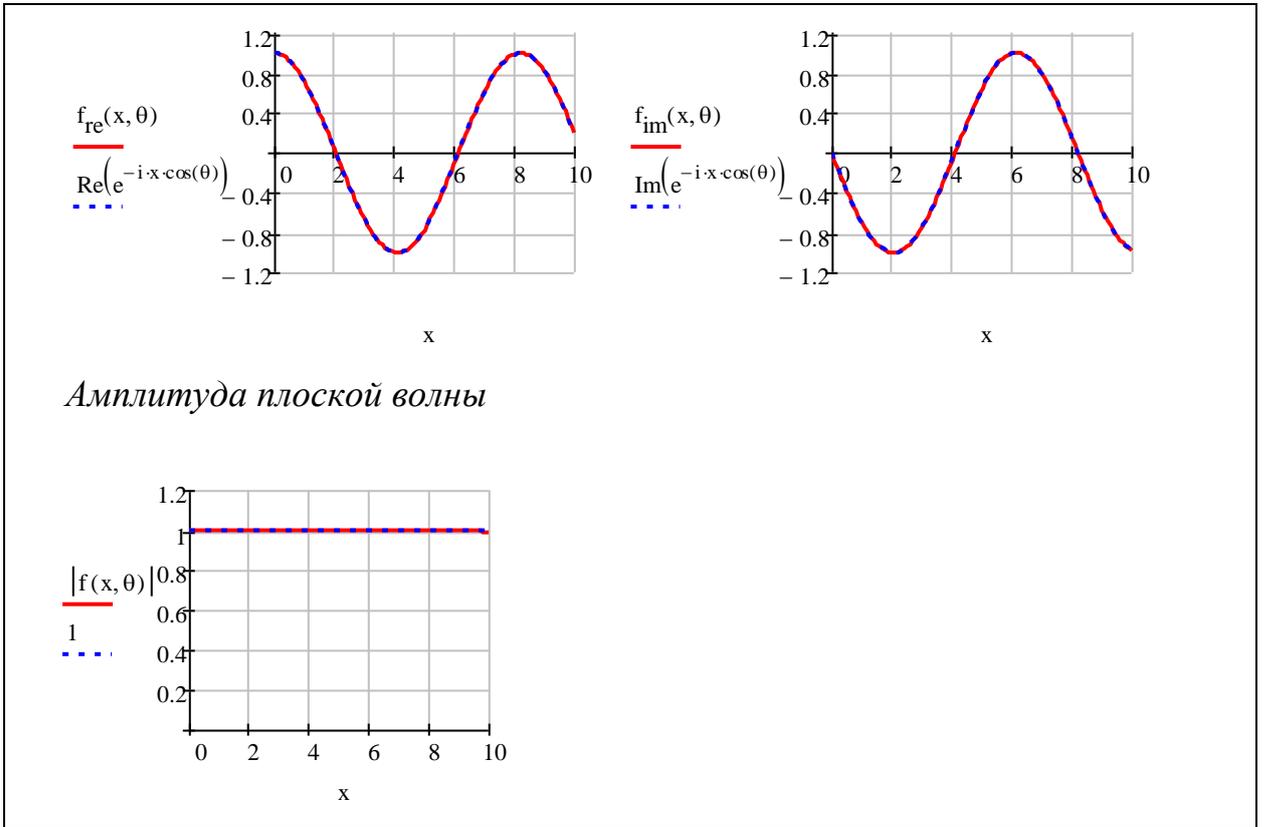
$$a(k, x) := j^{-k} \cdot (2 \cdot k + 1) \cdot j_s(k, x) f(x, \theta) := \sum_{k=0}^N (a(k, x) \cdot P(k, \cos(\theta)))$$

*Проверка разложения волны при фиксированном угле  $\theta := 40 \cdot \text{deg}$*

*Действительная и мнимая части волны*  $f_{\text{re}}(x, \theta) := \text{Re}(f(x, \theta))$

$f_{\text{im}}(x, \theta) := \text{Im}(f(x, \theta)) \quad x := 0, 0.1.. 10$

Продолжение листинга 1



Если представить степени  $\mu$  в виде ряда по полиномам Лежандра и произвести почленное интегрирование, то получим ряд, идентичный ряду для функций Бесселя

$$\begin{aligned}
 e^{ikz} &= e^{ikr\mu} = e^{ikr\cos(\theta)} = \sum_v^N i^v (2v+1) j_v(kr) P_v(\mu) = \\
 &= \sum_v^N i^v (2v+1) j^v J_{v+1/2}(kr) P_v(\mu) \sqrt{\pi / 2kr}
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

Такой же результат можно получить, если представить плоскую волну как решение уравнения Бесселя:

$$e^{ikz} = e^{ikr\mu} = e^{ikr\cos(\theta)} = \sum_v^N a'_v P_v(\mu) J_{v+1/2}(kr)
 \tag{3}$$

### 1.3 Отражение и рефракция плоской волны на абсолютно жесткой сфере

Представим полное звуковое поле – поле звукового давления, в виде суммы падающей и отраженной волн, падающих на сферу. Падающую волну можно представить в виде ряда сходящихся сферических волн, падающих на сферу (индекс  $i$  – означает падающую волну)

$$P_i = \bar{A}e^{ikz} = \bar{A}e^{ikr\mu} = \bar{A}e^{ikr\cos(\theta)} = \bar{A} \sum_v^N i^v (2v+1) j_v(kr) P_v(\mu) \quad (1)$$

Здесь учтено, что  $-jkz = -jk(z_0 - r\cos(\theta))$ ,  $\bar{A} = Ae^{-jkz_0}$ .

Отраженную волну тоже можно представить в виде разложения в ряд по сферическим волнам (индекс  $r$  – означает отраженную волну)

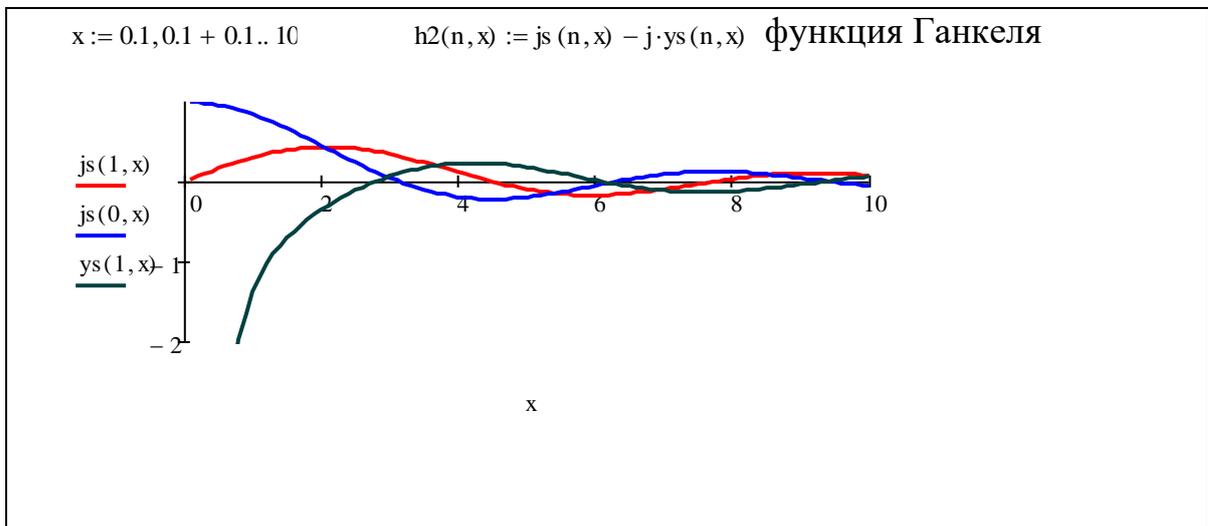
$$P_r = \sum_n^N a_n h_n^{(2)}(kr) P_n(\mu) \quad (2)$$

Здесь  $h_n^{(2)}(kr)$  – сферические функции Ганкеля, которая состоит из функции Бесселя и Неймана

$$h_n^{(2)}(x) = j_n(x) - jn_n(x) = \sqrt{\frac{\pi}{2z}} (J_{n+1/2}(z) - jN_{n+1/2}(z)) \quad (3)$$

Для представления функции Ганкеля будем использовать функции из пакета Mathcad (листинг 2).

Листинг 2 – Функция Ганкеля



Радиальная компонента скорости частиц в падающей волне на поверхности сферы определяется выражением

$$\bar{V}_i = \sum_{n=0}^{\infty} \bar{V}_n^0 = \frac{j}{k\rho c} \left( \frac{\partial \bar{P}_i}{\partial r} \right)_{r=R} = - \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\bar{A}}{\rho c} (2n+1) P_n(\mu) j^{n+1} B_n(kR) \sin \delta_n(kR) = - \frac{\bar{A}}{\rho c} \sum_{n=0}^{\infty} (2n+1) j^{n+1} P_n(\mu) \frac{U_n(kR)}{(kR)^2} \quad (4)$$

Здесь мы учли, что производные функций Ганкеля и Бесселя равны

$$\frac{\partial h_n^{(2)}(kR)}{\partial(kR)} = j B_n(kR) e^{-j\delta_n(kR)} \quad (5)$$

$$\frac{\partial j_n(kR)}{\partial(kR)} = \text{Re} \left\{ -j B_n(kR) e^{-j\delta_n(kR)} \right\} = -B_n(kR) \sin \delta_n(kR) \quad (6)$$

Выражение(4)определяет распределение скорости частиц в падающей волне на поверхности сферы в виде ряда по сферическим функциям. На поверхности абсолютно жесткой сферы радиальная компонента скорости частиц полного поля равна нулю, и, следовательно, амплитуда скорости отраженной волны  $V_r^0$  равна амплитуде  $V_i^0$  падающей волны с противоположным знаком :

$$\bar{V}_r^0 = -\bar{V}_i^0 = \sum_{n=0}^{\infty} \bar{V}_m^0 P_n(\mu) \quad (7)$$

Звуковое давление в отраженной волне, согласно выражениям (4), записывается в виде

$$\bar{P}_r = \rho c \sum_{n=0}^{\infty} (2n+1) \bar{V}_m^0 P_n(\mu) \frac{h_n^{(2)}(kr)}{B_n(kR) e^{-j\delta_n(kR)}} = \bar{A} \sum_{n=0}^{\infty} (2n+1) j^{n+1} P_n(\mu) \sin \delta_n(kR) e^{j\delta_n(kR)} h_n^{(2)}(kr) \quad (8)$$

или, выраженное через функции Штенцеля, в виде

$$\bar{P}_r = -j\rho c \sum_{n=0}^{\infty} \bar{V}_m^0 P_n(\mu) \frac{k^2 R^2 [S_n(kr) + jC_n(kr)]}{kr [U_n(kR) + jV_n(kR)]} = -\bar{A} \sum_{n=0}^{\infty} (2n+1) j^n P_n(\mu) \frac{U_n(kR)}{[U_n(kR) + jV_n(kR)]} [S_n(kr) + jC_n(kr)] \quad (9)$$

Полное звуковое поле состоит из поля падающей и отраженной волн:

$$\bar{P} = \bar{P}_i + \bar{P}_r = \bar{A} e^{jk\mu r} + \sum_n \bar{P}_{nr} \quad (10)$$

Если падающую волну также выразить через сферические функции (1), то получим

$$\bar{P} = \frac{\bar{A}}{kr} \sum_{n=0}^{\infty} (2n+1) j^{n+1} P_n(\mu) \frac{S_n(kr) V_n(kR) - C_n(kr) U_n(kR)}{U_n(kR) + j V_n(kR)} \quad (11)$$

Поскольку при больших значениях  $kr$  сферические функции сходятся плохо, выражение (11) является более подходящим для численных расчетов, чем выражения (8) и (9). На больших расстояниях, т. е. вне области ближнего поля, имеем

$$\begin{aligned} S_n(kr) + j C_n(kr) &= j^{n+1} e^{-jkr} \\ h_n^{(2)}(kr) &= j^{n+1} \frac{e^{-jkr}}{kr} \end{aligned} \quad (12)$$

Коэффициент отражения  $\bar{R} = \sum \bar{R}_n$  – величина, которая нас интересует – равен

$$\frac{\bar{P}_r}{\bar{P}_i} = \frac{1}{jkr} \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \frac{(2n+1) P_n \cos \theta}{1 + j V_n(kR)/U_n(kR)} e^{-jkr(1+\cos \theta)} = \frac{R}{r} \sum_{n=0}^{\infty} \bar{R}_n e^{-jkr(1+\cos \theta)} \quad (13)$$

$$\frac{\bar{P}_r}{\bar{P}_i} = \frac{1}{kr} \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^{n+1} (2n+1) P_n \cos \theta \sin \delta_n(kR) \times e^{-jkr(1+\cos \theta) + j \delta_n(kR)} \quad (14)$$

Для малых значений  $kR$  функций  $U_n$  и  $V_n$  можно разложить в ряды. В результате получаем

$$\begin{aligned} \frac{R}{r} \bar{R}_0 &= \frac{1}{jkr} \frac{1}{1 + j3/(kR)^3} \approx -\frac{(kR)^3}{-3kr} \\ \frac{R}{r} \bar{R}_1 &= \frac{1}{jkr} \frac{-3 \cos \theta}{1 - j6/(kR)^3} \approx -\frac{(kR)^3}{-2kr} \cos \theta \end{aligned} \quad (15)$$

Сферические волны нулевого и первого порядка дают одинаковые вклады; вклады волн высших порядков по крайней мере в  $k^2 R^2$  раз меньше. Поэтому при малых  $kr$  отношение амплитуды отраженной волны к амплитуде падающей волны определяется выражением

$$\frac{R}{r} \bar{R} \approx \frac{R}{r} (\bar{R}_0 + \bar{R}_1) = -\frac{k^2 R^2}{3} \left( 1 + \frac{3 \cos \theta}{2} \right) \frac{R}{r} = -\frac{\pi \tau}{r \lambda^2} \left( 1 + \frac{3 \cos \theta}{2} \right) \quad (16)$$

причем  $\theta = 0$  соответствует направлению на источник звука;  $\tau$  – объем сфер. Звуковое давление, рассеянное на малой абсолютно жесткой сфере,

пропорционально ее объему и обратно пропорционально квадрату длины волны (подобно давлению, создаваемому абсолютно жесткой осциллирующей сферой). Если кричать в лесу, то отражаются только высокочастотные компоненты и эхо звучит иначе, чем исходный звук. Подобное же явление наблюдается при рассеянии света на микроскопических флуктуациях плотности в атмосфере. Вследствие того, что в основном рассеиваются коротковолновые компоненты света, небо кажется голубым.

Для больших значений  $kr$  ( $kr > 1/2$ ) необходимо производить численный расчет с помощью табулированных функций Бесселя. В этом случае коэффициент отражения определяется следующим образом:

$$\frac{\bar{P}_r}{\bar{P}_i} = \frac{R}{r} \bar{R} e^{-jkr(1+\cos\theta)} \quad (17)$$

Вследствие сферического расхождения волн звуковое давление в рассеянной волне убывает пропорционально  $R/r$ . Член  $r \cos\theta$  представляет собой проекцию радиус-вектора, проведенного из центра сферы в точку наблюдения, на направление распространения падающей плоской волны. Он определяет фазу падающей волны, величина  $r$  в показателе экспоненты учитывает фазу рассеянной волны, которая распространяется от центра сферы в точку наблюдения.

Величина  $\bar{R}$  не является истинным коэффициентом отражения, а описывает амплитуду отраженной волны через амплитуду падающей. Если отражающая сфера абсолютно жесткая, то в приближении геометрической оптики

$$P_r = P_i \frac{R}{r} = P_i \frac{(R/2)}{r} \quad (18)$$

Отраженная волна расходится так, как если бы она возбуждалась колеблющейся сферой, радиус которой равен половине радиуса отражающей сферы. Звуковой пучок, который распространяется к центру отражающей сферы, отклоняется на угол  $2\theta$  относительно своей оси, если  $\theta$  – угол падения

( угол, который составляют падающие лучи с радиус–вектором, направленным к центру сферы ) . Это объясняется тем, что угол отражения равен  $2\theta$  .

Результаты вычислений, выполненных Штенцелем, являются правильными, за исключением знака минус в его формулах [в этом нетрудно убедиться, если сопоставить численные значения, получаемые по формуле (14) при малых  $kR$ , с кривыми Штенцеля].

Мнимая часть коэффициента отражения периодически осциллирует при изменении величины  $kR$  . Максимумы встречаются точно при тех значениях  $kR$ , при которых функция  $\sin kR / kR$  обращается в нуль, т . е . они соответствуют антирезонансам жидкости внутри жесткой оболочки, радиус которой равен радиусу сферы ( на поверхности скорость равна точке нулю, а давление максимально ) . С математической точки зрения абсолютно жесткая поверхность сферы эквивалентна тому, что амплитуда и фаза отраженной волны, исходящей из точки  $r=0$ , принимают на поверхности сферы определенные значения, удовлетворяющие граничным условиям. При антирезонансах отсутствует источник звука в начале координат, поэтому фаза отраженной волны отличается от фазы падающей волны при  $r=0$  лишь знаком, а коэффициент отражения равен  $-1/2$  . Заметим, что коэффициент отражения практически равен  $1/2$  уже при  $kR > 1$  или  $2R > \lambda/3$

Расчет коэффициента отражения для других значений угла  $\theta$  является весьма громоздким из – за угловой зависимости полиномов Лежандра  $P_n(\cos \theta)$  . На рисунке 4 приведены индикатрисы рассеяния для различных значений  $kR$  . Заметим, что при больших значениях  $kR$  вследствие дифракции звука вокруг сферического рассеивателя значительное излучение происходит в направлении тени.[3]

Иногда представляет интерес определить максимальное возмущение звукового поля, производимое сферическим рассеивателем. Для малых значений  $kR$  этот максимум определяется из соотношения (16) при  $\theta = 0$  :

$$\left| \frac{P_r}{P_i} \right| = \frac{(kR)^3}{3kr} \cdot \frac{5}{2} = \frac{5 k^2 \tau}{8 \pi r}, \quad (19)$$

где  $\tau$  – объём сферы для больших значений  $kr$  ( $kr > 1$ ) коэффициент отражения:

$$|\bar{R}| \approx 1/2 \text{ и } \left| \frac{P_r}{P_i} \right| = \frac{R}{2r}. \quad (20)$$

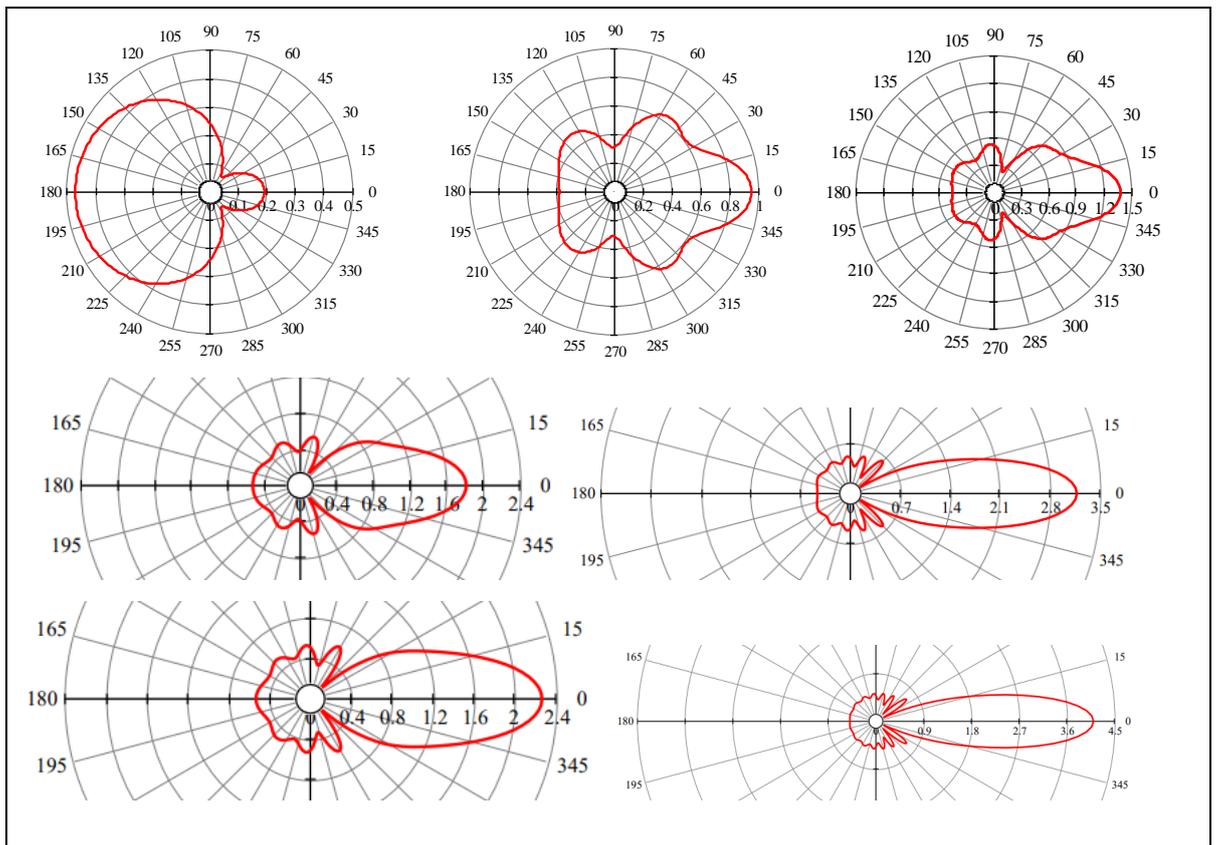


Рисунок 4 – Угловая зависимость коэффициента отражения абсолютно жесткой сферы для различных значений  $kR$  согласно Штенцелю.

Рассчитайте рассеянное звуковое поле, когда  $kR$  равно 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 и 8 соответственно. С помощью Mathcad для моделирования объекта исследования через каждые  $1^\circ$  устанавливается точка расчетного поля на расстоянии 50 метров от центра сферы для извлечения там звукового давления. Извлекаемое звуковое давление рассчитывается для эквивалентного центра звука 1 м стального шара в соответствии с законом сферического затухания.

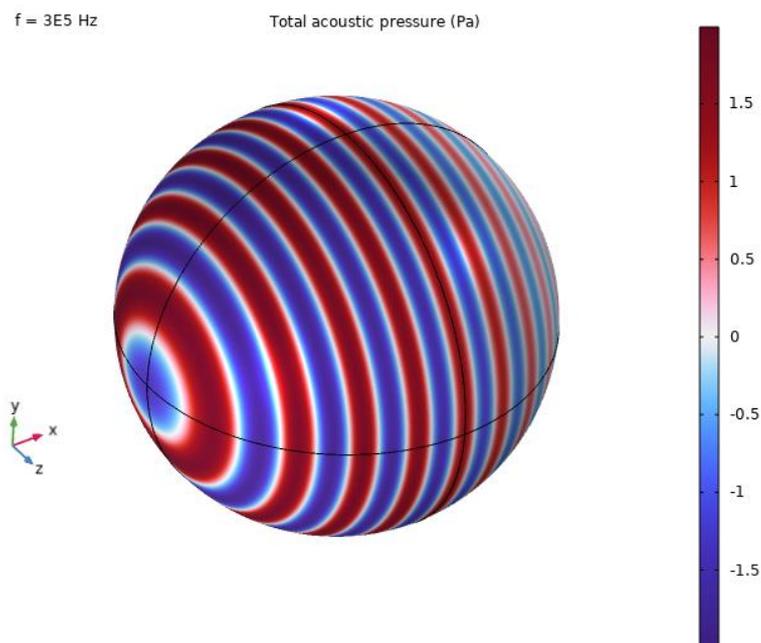
Направленность жесткого шара при различных значениях  $kR$  хорошо просматривается из рисунка, который доказывает, что данный метод

позволяет точно моделировать интенсивность акустического рассеяния передающей и принимающей цели под масляной взвесью при любом угле отрыва.

Интенсивность рассеянного звука  $Z$  находится в сложной зависимости от полярного угла  $\theta$ . На рисунке показано угловое распределение интенсивности звука рассеянной волны при различных значениях  $kR$ . Из рисунка видно, что при малых  $kR$  большая часть интенсивность рассеянного звука равномерно распределяется в противоположном направлении. Направление падающей волны, при увеличении  $kR$  интенсивность звука рассеянной волны в направлении падающей волны постепенно усиливается, а направленность становится все более сложной; при большом  $kR$  половина рассеянной волны будет сосредоточена в направлении падающей волны, а другая половина более равномерно распределена в других направлениях.

#### 1.4 Звуковое давление на поверхности рассеивающей сферы

Найдем распределение звукового давления на поверхности сферы (рисунок 5).



### Рисунок 5 – Давление на поверхности шара

Звуковое давление на частоте 0,3 МГц показано на рисунке 6. Метод граничных элементов решает только на границе, но поле, полученное с помощью метода граничных элементов, может быть оценено в любой точке области, которую он представляет. На графике показан уровень рассеянного звукового давления на границе БЭМ и его оценка в пространстве вокруг сферы (рисунок 7-8).

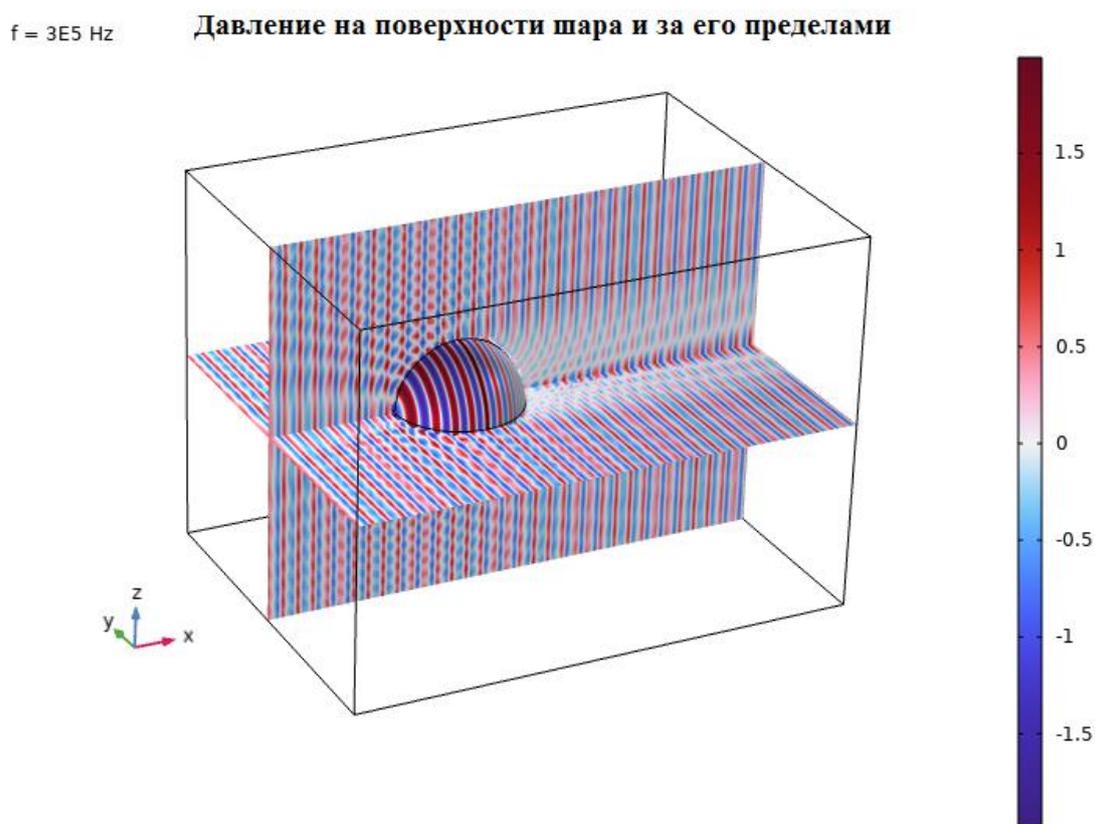


Рисунок 6– Давление на поверхности шара и за пределами

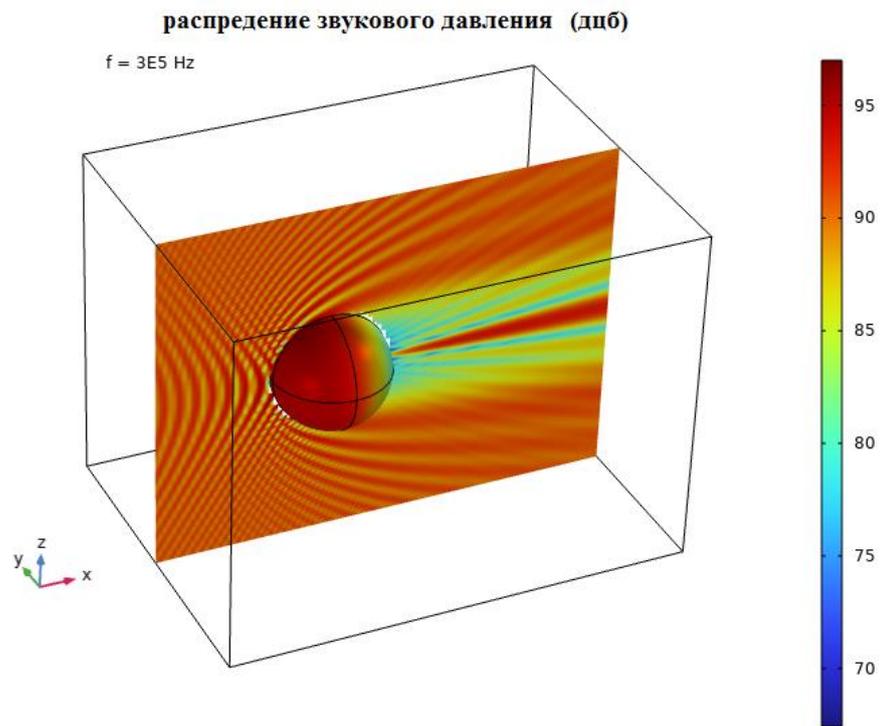


Рисунок 7 – Скорость звука в плоском срезе на частоте 3E5 Гц

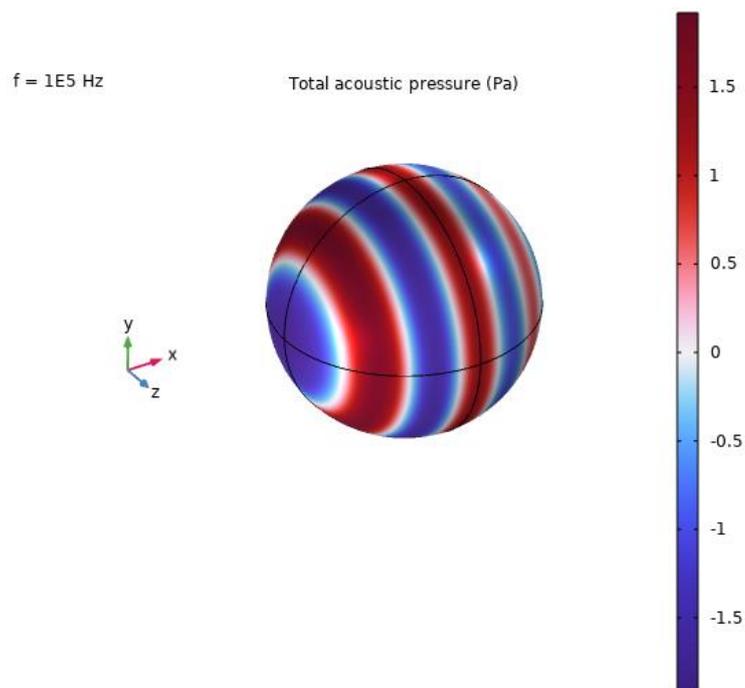


Рисунок 8 – Уровень звукового давления на границе БЭМ

Уровень звукового давления на частоте 0,1 МГц показан на рисунке 9 МГЭ решает только на границе, но поле, полученное с помощью МГЭ, можно оценить в любой точке области, которую он представляет. На рисунке 10

показан уровень рассеянного акустического звукового давления на границе БЭМ и его оценка в пространстве, окружающем сферу.

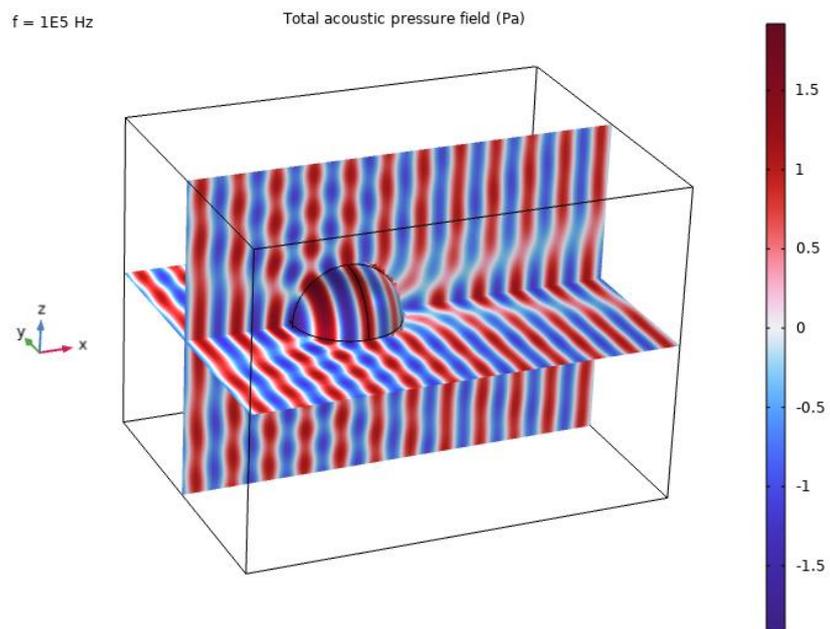


Рисунок 9 – Давление на поверхности шара и за пределами

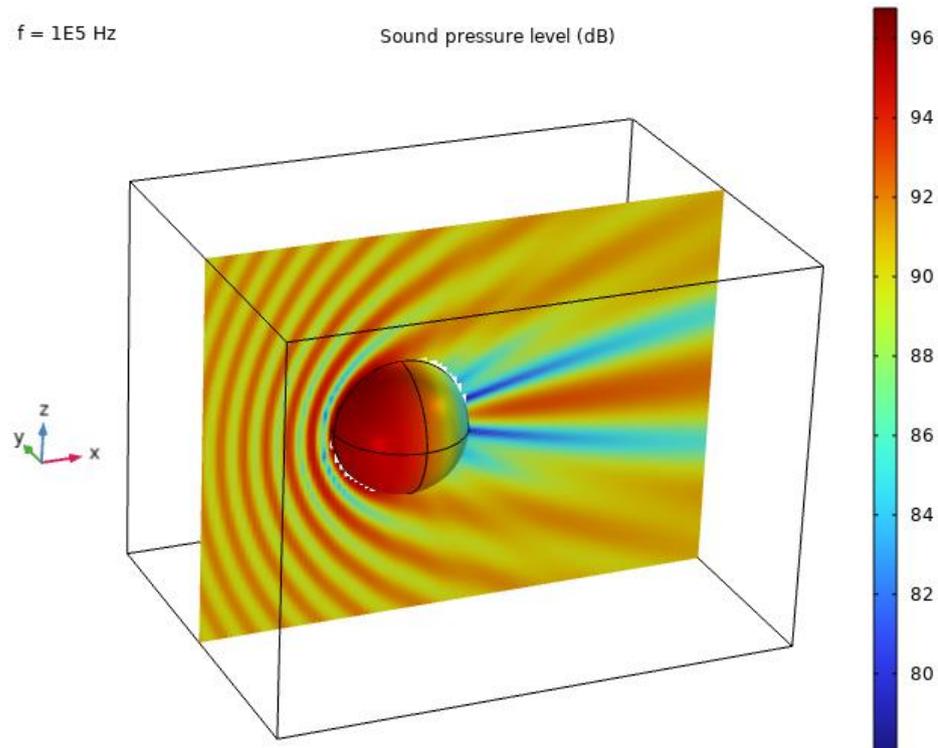


Рисунок 10 – Скорость звука в плоском срезе на частоте 1E5 Гц.

### 1.5 Вывод

Процесс рассеяния звуковых волн на нефтяных суспензиях представляет собой сложное физическое явление, и его исследование может обеспечить неинвазивный, экологически чистый и высокоточный метод обнаружения флюидов и контроля добычи. Благодаря обучению известно, что частота, энергия и угол падения будут влиять на характеристики распространения и рассеяния звуковых волн в нефтяных суспензиях; такие факторы, как размер, форма и распределение частиц или пузырьков в нефтяных суспензиях, также будут влиять на распространение и рассеяние. звуковых волн в них значительное воздействие; характеристики распространения и рассеяния звуковых волн в нефтяных суспензиях могут быть использованы для эффективного обнаружения и точного измерения характеристик частиц или пузырьков в них; метод обнаружения, основанный на технологии рассеяния

звуковых волн, не является инвазивные, экологически чистые, высокоточные и т. д. Преимущества, поэтому он имеет широкий спектр применения в нефтяной промышленности, охране окружающей среды, медицинской диагностике и т. д.

**ЗАДАНИЕ К РАЗДЕЛУ  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ  
И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Обучающемуся:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
158Т92	Шэн Юйсы

<b>Школа</b>	<b>ИШИТР</b>	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	<b>Отделение автоматизации и робототехники</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств

**Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:**

<i>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально–технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Среднерыночные цены РФ для определения стоимости материальных ресурсов. Нормативные документы НИ ТПУ, ФЗ «О минимальном размере оплаты труда» для определения оплата труда исполнителей проекта.
<i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Накладные расходы 16%, районный коэффициент 30 %.
<i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Отчисления в социальные внебюджетные фонды 30 %.

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

<i>1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Оценить потенциальных потребителей исследования, проанализировать конкурентных решений, представить SWOT – анализ. Предложить возможные альтернативы проведения НИ.
<i>2. Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Представить план этапов работ, определить трудоёмкость и построить календарный график, сформировать бюджет НИ.
<i>3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	Определить интегральные показатели финансовой эффективности, ресурсоэффективности разработки. Рассчитать сравнительную эффективность проекта.

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений.</li> <li>2. Матрица SWOT–анализа</li> <li>3. Морфологическая матрица</li> <li>4. Перечень этапов, работ и распределение исполнителей</li> <li>5. Временные показатели проведения НИ</li> <li>6. Бюджет НИ</li> <li>7. Оценка характеристик вариантов исполнения</li> <li>8. Сравнительная эффективность разработки.</li> </ol>
--

<b>Дата выдачи задания к разделу в соответствии с календарным учебным графиком</b>	01.03.2023
--	------------

**Задание выдал консультант по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Былкова Т.В.	к.э.н.		01.03.2023

**Задание принял к исполнению обучающийся:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
158Т92	Шэн Юйсы		01.03.2023

## 2 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

### 2.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum Vi \cdot Bi, \quad (21)$$

где  $K$  – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

$Vi$  – вес показателя (в долях единицы);

$Bi$  – балл  $i$ -го показателя.

В итоге, получили:  $K_f = 4.195$ ,  $K_{k1} = 3.585$ ,  $K_{k2} = 3.78$ .

Таблица 1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкуренто–способность		
		Бф	Бк1	Бк2	Кф	Кк1	Кк2
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1.Повышение производительности труда пользователя	0,09	5	3	4	0,45	0,27	0,36
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,07	4	4	3	0,28	0,28	0,21
3. Помехоустойчивость	0,09	4	3	4	0,36	0,27	0,36
4. Энергоэкономичность	0,01	4	3	3	0,04	0,03	0,03
5. Надежность	0,03	3	4	3	0,09	0,12	0,09
6. Уровень шума	0,07	3	3	4	0,21	0,21	0,28
7. Безопасность	0,07	5	3	3	0,35	0,21	0,21
8. Потребность в ресурсах памяти	0,01	4	5	5	0,04	0,05	0,05
9. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,02	3	3	4	0,06	0,06	0,08
10. Простота эксплуатации	0,04	3	4	5	0,12	0,16	0,2
11.Качество интеллектуального интерфейса	0,04	3	3	3	0,12	0,12	0,12
12. Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,07	4	3	5	0,28	0,21	0,35
13. Предполагаемый срок эксплуатации	0,04	5	3	4	0,2	0,12	0,16

Итого	1				4.195	3.585	3.78
-------	---	--	--	--	-------	-------	------

## 2.2 Планирование научно–исследовательских работ

### 2.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Примерный порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в табл.2.

Таблица 2 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка техниче–ского задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель темы
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
	3	Проведение патентных исследований	Инженер
	4	Выбор направления исследований	Руководитель, инженер
	5	Календарное планирование работ по теме	Руководитель,
Теоретические и эксперименталь ные исследования	6	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Инженер
	7	Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов	Руководитель темы
	8	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими иссле–дованиями	Инженер
	9	Заполняется дипломником самостоятельно	Инженер
Обобщение и оценка результатов	10	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, инженер
	11	Определение целесообразности проведения ОКР	Руководитель, инженер
Проведение ОКР			
Разработка технической документации и проектирование	12	Разработка блок–схемы, принципиальной схемы	Руководитель темы
	13	Выбор и расчет конструкции	Инженер
	14	Оценка эффективности производства и применения проектируемого изделия	Инженер
	15	Заполняется дипломником самостоятельно	Инженер

## Продолжение таблицы 2

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Изготовление и испытание макета (опытного образца)	16	Конструирование и изготовление макета (опытного образца)	Руководитель Темы
	17	Лабораторные испытания макета	
Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР)	18	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	Руководитель Темы
	19	Оформление патента	Инженер
	20	Размещение рекламы	Инженер

### 2.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3 \cdot t_{\min} + 2 \cdot t_{\max}}{5} \quad (22)$$

где  $t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$  – ой работы, чел – дн. ;

$t_{\min}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$  – ой работы, чел – дн.;

$t_{\max}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$  ой работы, чел – дн .

$$t_{ожс} = (3 \cdot 3 + 2 \cdot 25) / 5 = 11.8 \text{ чел} - \text{Дн.}$$

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_p$ , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как

удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{c_i}, \quad (23)$$

где  $T_{pi}$  – продолжительность одной работы, раб часах ;

$t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел – часах ;

$C_i$  – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

$$T_{pi} = 11.8/1 = 11.8 .$$

Таблица 3 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$	Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$
	$t_{min}$ , чел–дни	$t_{max}$ , чел–дни	$t_{ожі}$ , чел–дни			
Определение тем работы	1	2	1.4	Научный руководитель, инженер	10.7	12.9256
Подбор и изучение материала по теме исследования	1	3	1.8	Научный руководитель, инженер	0.9	1.0872
Проведение патентных исследований	2	5	3.2	Научный руководитель, инженер	1.6	1.9328
Изучение, анализ, структурирование материалов по выбранной теме исследования	3	4	4.2	инженер	24.2	29.2336
Написание теоретической части исследования	5	9	6.6	инженер	6.6	7.9728
Анализ экспериментальных данных	8	12	9.6	инженер	6.6	7.9728
Данные, полученные из экспериментальных явлений	6	10	7.6	инженер	6.6	7.9728
Оценка эффективности полученных результатов	2	3	2.4	Научный руководитель, инженер	1.2	1.4496

Оформление и проверка итогового варианта работы	3	4	3.4	Научный руководитель, инженер	1.7	2.0536
ИТОГО	Руководитель				4,85	7,12
	Студент				27,05	39,94

### 2.2.3 Расчет материальных затрат НИИ

Материальные затраты для данной разработки, представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на мате- риалы, (З <sub>м</sub> ), руб.
Интернет услуги	-Месяц	4	350	1400
Электроэнергия	кВт	60	3,5	210
Итого				1610

Таблица 5 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, руб.о	Общая стоимость оборудования, руб.
Исп.1				
1.	компьютер	1	50000	50000
2.	MicrosoftOffice 2023	1	7458	7458
3	Console	По подписке	0	0
4	Mathcad	По подписке	0	0
Итого:				57458
Исп.2				
1.	компьютер	1	50000	50000
2.	MicrosoftOffice 2023	1	7458	7458
3	Console	1	7920	7920
4	Mathcad	1	7883	7883
Итого:				73261

Исп.3				
1.	компьютер	1	50000	50000
2.	MicrosoftOffice 2023	1	7458	7458
3	Matlab	1	7920	7920
4	SMath Studio	1	13680	13680
Итого:				79058

Таблица 6 – Расчёт заработной платы и отчисление в социальные внебюджетные фонды

Исполнители	Зтс, руб.	кпр	кд	кр	Зм, Руб	Здн, руб.	Тр, раб. дн.	Зосн, руб.	Отчисление в социальные внебюджетные фонды
Руководитель	39300	0,3	0,3	0,3	74670	2383	14	33357	10007
Студент	16242	0,3	0,3	0,3	30859,8	1550	57	88345	26503
Итого								121702	36511

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{nakl} = \left( \text{сумма статей} \frac{1}{7} \right) * k_{nr}, \quad (24)$$

где  $k_{nr}$  – 0,16 коэффициент накладных расходов.

Определение бюджета затрат на научно–исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в табл. 7

Таблица7 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование	Сумма, руб		
	И1	И2	И3
Затраты на материалы и комплектующие	1610	1610	1610
Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных работ)	57458	73261	79058
Затраты по основной заработной плате исполнителей	121702	121702	121702

Отчисления во внебюджетные фонды	36511	36511	36511
Накладные затраты	34765	37293	38221
Итого	252046	270377	277102

### 2.3 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой эффективности исследования

Определение ресурсосберегающей, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследований. Расчет интегральных показателей финансовой эффективности. Интегральный фин. показатель эффективности [3]:

$$I_{fin}^{isp} = \frac{\Phi_{\text{пи}}}{\Phi_{\text{мах}}}, \quad (25)$$

где  $\Phi_{\text{пи}}$  – стоимость и-го варианта создания;

$\Phi_{\text{мах}}$  – максимальный показатель стоимости научного исследования.

$$I_{fin}^{isp1} = \frac{\Phi_{\text{пи1}}}{\Phi_{\text{мах}}} = \frac{252046}{277102} \approx 0,91;$$

$$I_{fin}^{isp2} = \frac{\Phi_{\text{пи2}}}{\Phi_{\text{мах}}} = \frac{270377}{277102} \approx 0,98;$$

$$I_{fin}^{isp3} = \frac{\Phi_{\text{пи3}}}{\Phi_{\text{мах}}} = \frac{277102}{277102} \approx 1.$$

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы (таблица 8).

Таблица 8 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Способствует росту производительности пользователя	0,1	5	3	4
2. Удобство в эксплуатации (соответствует потребителям)	0,15	4	2	3
3. Помехоустойчивость	0,15	5	3	3

4. Энергосбережение	0,20	4	3	3
5. Надежность	0,25	4	4	4
6. Материалоемкость	0,15	4	4	4
ИТОГО	1			

$$I_{p1} = 5 * 0,1 + 4 * 0,15 + 5 * 0,15 + 4 * 0,2 + 4 * 0,25 + 5 * 0,05 + 4 * 0,01$$

$$= 3,94$$

$$I_{p2} = 3 * 0,1 + 2 * 0,15 + 3 * 0,15 + 3 * 0,2 + 4 * 0,25 + 2 * 0,05 + 4 * 0,1$$

$$= 3,15$$

$$I_{p3} = 4 * 0,1 + 3 * 0,15 + 3 * 0,15 + 3 * 0,2 + 4 * 0,25 + 4 * 0,05 + 4 * 0,1$$

$$= 3,5$$

Таблица9 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,91	0,98	1,00
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3,9	3,15	3,5
3	Интегральный показатель эффективности	4,3	3,2	3,5
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,33	1,23	

Сравнивая эффективность вариантов исполнения, мы пришли к выводу, что общие показатели эффективности исполнения 1 выше, чем у исполнения 2 и 3 на 33 % и 23 %.

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет понять и выбрать более эффективный вариант решения поставленной в бакалаврской работе технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности.



**ЗАДАНИЕ К РАЗДЕЛУ  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Обучающемуся:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
158Т92	Шэн Юйсы

<b>Школа</b>	<b>ИШИТР</b>	<b>Отделение (НОЦ)</b>	<b>Отделение автоматизации и робототехники</b>
<b>Уровень образования</b>	<b>Бакалавриат</b>	<b>Направление/специальность</b>	15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств

**Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:**

<p>Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p>Использование программ Mathcad и Comsol для моделирования распределения звукового давления с целью определения характеристик распространения звуковых волн в нефтяных суспензиях. Объект исследования – сферические капли жидкости в нефтяных суспензиях. Областью применения являются нефтедобыча. Рабочей зоной является офис и лаборатория. Размеры помещения – не менее 20м*20м*5м. Количество и наименование оборудования рабочей зоны – количества не более 5 комплектов, включая компьютеры, принтеры и мониторы. Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне: Математическое моделирование с помощью пакета Mathcad 15 и набор текста на персональном компьютере.</p>
<p>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</p>	
<p><b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны</li> </ul>	<p>1. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197–ФЗ.</p> <p>2. ГОСТ 12.0.003–2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».</p>
<p><b>2. Производственная безопасность:</b></p> <p>2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов</p> <p>2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p>	<p>Вредные факторы: 1. Отклонение показателей микроклимата 2. Превышение уровня шума 3. Недостаточная освещенность рабочей зоны 4. Повышенный уровень вибрации 5. Умственное перенапряжение</p> <p>Опасные факторы: 6. Статическое электричество 7. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может</p>

	произойти через тело человека 8. Короткое замыкание
<b>3. Экологическая безопасность:</b>	Воздействие на селитебную зону: воздействие отсутствует Воздействие на литосферу: утилизация элементов отработавшего оборудования, макулатуры, аккумуляторов, люминесцентных ламп Воздействие на гидросферу: продукты жизнедеятельности персонала Воздействие на атмосферу: задымление в случае возгорания
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	Возможные ЧС: природная – сильные морозы зимой, (аварии на электро-, тепло-коммуникациях, водоканале, транспорте); Наиболее типичная ЧС: Пожар в следствие короткого замыкания.

<b>Дата выдачи задания к разделу в соответствии с календарным учебным графиком</b>	26.04.2023г.
--	--------------

**Задание выдал консультант по разделу «Социальная ответственность»:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ТПУ	Сечин А.И.	Д.т.н.		26.04.2023г.

**Задание принял к исполнению обучающийся:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
158Т92	Шэн Юйсы		26.04.2023г.

### **3. Социальная ответственность**

Данная выпускная квалификационная работа представлена научно-исследовательской работой, во время выполнения которой осуществлялась работа с пакетом Mathcad 15, математическое моделирование и набор текста на персональном компьютере, поэтому в разделе «Производственная безопасность при проведении геоэкологических исследований» рассматривается «Производственная безопасность при работе на персональных компьютерах». Цель данного раздела: проанализировать опасные и вредные факторы при данном виде производственной деятельности и решить вопросы обеспечения защиты от них на основе требований действующих нормативно-технических документов.

#### **3.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

Научно-исследовательская работа включает в себя использование персонального компьютера. Поэтому, согласно ГОСТ 12.2.032-78 [1], выполняя планировку рабочего места необходимо учитывать следующее: • Рекомендуемый проход справа и спереди от стола 500 мм, слева допускается проход 300 мм; • Рабочие места с ПЭВМ при выполнении творческой работы, требующей значительного умственного напряжения или высокой концентрации внимания, рекомендуется изолировать друг от друга перегородками высотой (1,5–2,0) м. Экран видеомонитора должен находиться от глаз пользователя на расстоянии (600–700) мм, но не ближе 500 мм с учетом размеров алфавитно-цифровых знаков и символов. Конструкция рабочего стола должна удовлетворять требованиям эргономики; • Конструкция рабочего стула (кресла) должна обеспечивать поддержание рациональной рабочей позы при работе на ПЭВМ позволять изменять позу с целью снижения статического напряжения мышц шейно-плечевой области и спины для предупреждения развития утомления. Тип рабочего кресла следует выбирать с учетом роста пользователя, характера и продолжительности

работы с ПЭВМ; • Кресло не может располагаться непосредственно на границе площади рабочего места. Рекомендуемое расстояние от спинки стула до границы должно быть не менее 300 мм [2].

### 3.2 Производственная безопасность

Для анализа вредных и опасных факторов необходимо воспользоваться ГОСТ 12.0.003–2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация». Рабочее место представляет собой помещение, где располагается ПК для разработки ВКР. Возможные опасные и вредные факторы перечислены в таблице 1 [3].

Таблица 1 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003–2015)	Нормативные документы
1. Отклонение показателей микроклимата	СанПиН 1.2.3685–21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания.
2. Производственные факторы, связанные с акустическими колебаниями в производственной среде (повышенным уровнем и другими неблагоприятными характеристиками шума)	ГОСТ 12.1.003–2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности; СанПиН 51.13330.2011. Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23–03–2003.
3. Производственные факторы, связанные с отсутствием или недостатком необходимого искусственного освещения	СанПиН 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение;
4. Повышенный уровень вибрации	ГОСТ 12.4.002 – 97 ССБТ. Средства индивидуальной защиты рук от вибрации. Общие технические требования.
5. Производственные факторы, обладающие свойствами психофизиологического воздействия на организм человека (активное наблюдение за ходом производственного процесса, монотонность труда, перенапряжение анализаторов)	МР 2.2.9.2311 – 07 Профилактика стрессового состояния работников при различных видах профессиональной деятельности;
6. Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий	ГОСТ 12.1.038–82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов;
7. Статическое эл–во	ГОСТ 12.1.009 – 2017 ССБТ. Электробезопасность. Термины и определения.

8. Короткое замыкание	ГОСТ 12.1.019 – 2009 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
-----------------------	---

### 3.2.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

Повышенный уровень шума при работе установки причисляют к группе физических опасных и вредных производственных факторов. Возникает он за счет движения жидкости через трубопроводы, при открытии или закрытии задвижек, но главным источником шума является электродвигатель регулирующего клапана. Существует ряд негативных последствий шума, например, он неблагоприятно действуют на организм человека, вызывает головную боль, под его влиянием развивается раздражительность, снижается внимание, замедляются сенсомоторные реакции, а при чрезвычайно интенсивном действии понижаются возбудительные процессы в коре головного мозга.

Интенсивный шум (более 80 дБ) при длительном воздействии может привести к полной или частичной потере слуха. Допустимые значения звукового давления согласно СанПиН 1.2.3685–21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» представлены в таблице 2, согласно СП 51.13330.2011. Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23– 03– 2003 (пункт 6).

Таблица 2 – Допустимые уровни звукового давления

Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБА
31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
99	95	87	82	78	75	73	71	69	80

Для уменьшения воздействия повышенного уровня шума на организм оператора технологических установок следует:

- использовать звуко и шумоизоляционные материалы;
- рационально планировать производственное помещение, снижая уровень шума (экранирование рабочего места);

– своевременно смазывать движущие части механизмов. А в качестве индивидуальных средств защиты можно использовать наушники.

### **3.2.2 Анализ искусственного освещения**

Недостаточное освещение рабочего места и помещения является вредным фактором для здоровья человека, вызывающим ухудшение зрения. Неудовлетворительное освещение может, кроме того, являться причиной травматизма. Неправильная эксплуатация, так же, как и ошибки, допущенные при проектировании и устройстве осветительных установок, могут привести к пожару, несчастным случаям. При таком освещении снижается производительность труда и увеличивается количество допускаемых ошибок. В помещении операторной в качестве искусственного освещения используются светильники с люминесцентными лампами. Нормы освещенности приведены в СП 52.13330.2016, освещенность рабочего места оператора АСУ ТП должна составлять (300 – 500) Лк. при общем освещении. Коэффициент пульсации освещения — параметр, который отражает силу изменения светового потока, направляемого на единицу поверхности в определенный временной промежуток. Стоит учесть, что существующими санитарными правилами установлен верхний лимит на параметр коэффициента пульсации. В месте организации рабочего места он не должен быть выше 20%. При этом, чем более ответственный вид деятельности у работника, тем ниже должен быть этот параметр. Для офисных помещений и административных зданий, где подразумевается напряженный зрительный труд, коэффициент пульсации не должен быть больше 5%. При этом опасность света как раз и заключается в том, что его нельзя распознать, но результатом действия может стать расстройство сна, слабость, депрессия, сбои в работе сердца, дискомфорт и так далее. В зимний период вследствие укороченного светового дня и недостаточного естественного освещения необходимо использовать искусственное освещение. Освещенность рабочего места в

норму достигается периодическим мытьем окон, подстриганием веток деревьев.

### **3.2.3 Анализ электромагнитных полей промышленной частоты**

Работа оператора АСУ ТП в основном связана с работой за персональным компьютером. Вследствие чего на него оказывается воздействие электромагнитного излучения, источниками которого являются системный блок и кабели, соединяющие электрические цепи. Электромагнитные излучения оказывают негативное влияние на сердечно-сосудистую, нервную и эндокринную систему, а также могут привести к раковым заболеваниям. Для того чтобы избежать негативного воздействия от электромагнитного излучения необходимо следовать основным требованиям, описанным в СП 2.2.3670–20 «Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда» [4]. Для снижения воздействия данного типа излучения предпринимают меры:

- расстояние от монитора до работника должно составлять не менее 50 см;
- применение специализированных очков от электромагнитного излучения.

### **3.2.4 Анализ электробезопасности**

Рабочее помещение оператора, где установлены персональные компьютеры, относится к помещениям без повышенной опасности, однако существует опасность поражения электрическим током в случае неисправности изоляции проводов и повреждении корпуса системного блока. Также имеется опасность короткого замыкания. Электрический ток оказывает на человека термическое, электролитическое, биологическое и механическое воздействие. Поражение током может привести к летальному исходу. Предельно допустимые значения силы переменного и постоянного тока и напряжения представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Предельно допустимые значения силы тока

	Переменный ток при частоте, Гц:		Постоянный ток
	50	400	
Напряжение, В	2	2	8
Сила тока, мА	0.3	0.4	1

В качестве защиты являются изолирующие устройства и покрытия, устройства защитного заземления и автоматического отключения питания. Необходимо разместить предупредительные знаки и плакаты безопасности «Опасно. Высокое напряжение». Помещение относится к категории повышенной опасности, по пожарной опасности к категории ВЗ.

### **3.2.5 Анализ показателей вибрации**

Анализ показателей норм вибрации определяется в соответствии с СанПиН 1.2.3685–21. Согласно СанПиН 1.2.3685–21 на рабочем месте оператора технологических установок присутствует общая производственная вибрация (технологическая вибрация на стационарных рабочих местах). При внедрении автоматизированной системы управления концевым делителем фаз трубным вибрация может появиться вследствие наличия вибрации на участке с объектами управления, которая передается в операторное помещение. Для снижения воздействия этого фактора используются: виброизолирующие рукавицы и виброизолирующая обувь.

### **3.3 Экологическая безопасность**

Основным инструментом работы при разработке является ПК. Для удовлетворения потребности в электроэнергии, в настоящее время приходится увеличивать мощность и количество электростанций. Это приводит к нарушению экологической обстановки, так как электростанции в

своей деятельности используют различные виды топлива, водные ресурсы, а также являются источником вредных выбросов в атмосферу. Данная проблема является мировой. На сегодняшний день во многих странах внедрены альтернативные источники энергии (солнечные батареи, энергия ветра). Еще одним способом решения данной проблемы является использование энергосберегающих систем. К отходам, производимым в помещении, можно отнести бытовой мусор и твердые отходы при поломки частей ПК. Согласно СанПиН 2.1.3684–21 оборудование в случае полной неработоспособности и неремонтопригодности должно быть утилизировано на полигоне твердых бытовых отходов [5]. Необходимо предпринимать различные меры, для того чтобы как можно больше сократить негативное влияние на окружающую среду. В качестве таких мер можно рассматривать:

- использование экономного режима работы электротехники;
- использовать энергосберегающие лампы для освещения помещений;
- устанавливать режим освещения, соответствующий времени года;
- правильно утилизировать отходы (компьютерный лом, газоразрядные лампы, бумага и др.);
- применять расходные материалы с высоким коэффициентом использования и возможностью их полной или частичной регенерации;
- использовать малотоксичные материалы при производстве компьютерной техники.

### **3.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

Наиболее характерной ЧС при разработке ВКР является пожар, это обусловлено использованием оборудования, подключенного к промышленной сети, а именно ПК. Для ослабления последствий пожара в здании должны находиться углекислотный огнетушитель, сухой песок и внутренние пожарные водопроводы находиться. Они предназначаются для своевременного тушения небольших локальных возгораний. Действия, которые можно предпринять для предотвращения пожара: – организация

обучения персонала правилам пожарной безопасности; – разработка мероприятий по действиям персонала на случай возникновения пожара и организация эвакуации людей; – назначение лица, ответственного за эвакуацию, которое должно следить за исправностью дверных проемов, окон, проходов и лестниц. Действия при пожаре на производстве регламентируются правилами обеспечения пожарной безопасности предприятия. Основой для подготовки инструкции по эвакуации служат Противопожарные правила, утвержденные Постановлением Правительства РФ от 16.09.2020 №1979 «Об утверждении Правил противопожарного режима в Российской Федерации». Общие правила же правила поведения при обнаружении пожара персоналом остаются неизменными: – немедленно сообщить в пожарную службу; – сообщить руководству предприятия; – включить сигнализацию, систему пожаротушения; – оказать помощь в эвакуации людей и тушении пожара.

### **3.5 Выводы по разделу**

В ходе реализации данного раздела были рассмотрены организационные и правовые вопросы обеспечения безопасности, проанализированы нормативные документы, касающиеся разработки выпускной квалификационной. Значение всех производственных факторов на изучаемом рабочем месте соответствует нормам, которые также были продемонстрированы в данном разделе. Категория помещения по электробезопасности, согласно ПУЭ, соответствует первому классу – «помещения без повышенной опасности. Согласно правилам по охране труда при эксплуатации электроустановок персонал должен обладать I группой допуска по электробезопасности. Категория тяжести труда в лаборатории по СанПиН 1.2.3685–21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания" относится к категории Ib (работы, производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой и сопровождающиеся физическим напряжением). В качестве самой характерной ЧС был выявлен пожар. Следование предложенным в данном

разделе правилам и мерам может помочь избежать чрезвычайных ситуаций, а также обеспечить сохранность здоровья персонала и состояния окружающей среды.

## Заключение

Рассеяние плоских акустических волн сферическими каплями воды в масле является важным физическим явлением и имеет широкие перспективы применения. Экспериментальные результаты показывают, что при определенных условиях сферические капли воды в масле могут отражать, пропускать и рассеивать падающие плоские акустические волны. На эффект рассеяния будут влиять такие факторы, как размер и плотность сферических капель воды, частота и угол падения звуковых волн, а также показатель преломления окружающей среды.

В частности, когда частота звуковой волны сравнима с диаметром сферической капли воды, эффект рассеяния является наилучшим; когда размер звуковой волны сферической капли воды намного меньше длины звуковой волны, эффективность рассеивания будет значительно снижена. В то же время угол падения также будет влиять на эффект рассеяния, а эффективность рассеяния максимальна при вертикальном падении. С точки зрения стоимости процесс подготовки всей системы рассеяния относительно сложен, но с помощью этой технологии можно получить более точные данные, а стоимость последующих операций можно снизить для достижения долгосрочных экономических выгод.

Таким образом, технология рассеяния плоских акустических волн сферическими каплями воды в масле имеет широкие перспективы применения и важное исследовательское значение, а также представляет собой физическую технологию с большим потенциалом развития.

## Список используемой литературы

1. Лекции по коллоидной химии А.В. Протопопов [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://download.altstu.ru/cabinet/teacher/508/Leksii\\_po\\_kolloidnoy\\_khimii.pdf](http://download.altstu.ru/cabinet/teacher/508/Leksii_po_kolloidnoy_khimii.pdf)
2. Л.Ф.ЛЕПЕНДИН АКУСТИКА [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://alexandr4784.narod.ru/lependin.html>
3. Е.СКУЧИК ОСНОВЫ АКУСТИКИ [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://cxo.lv/images/stories/Books/electro/aml.pdf>
4. ГОСТ 12.2.032–78 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200003913>, свободный (дата обращения 6.05.2022).
5. ГОСТ 12.0.003–2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200136071>, свободный (дата обращения 10.05.2022).
6. ГОСТ 12.1.003–2014 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200118606>, свободный (дата обращения 12.05.2022).
7. СП 2.2.3670–20 «Санитарно–эпидемиологические требования к условиям труда» [Электронный ресурс] – Режим доступа – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573230583>.
8. Санитарно–эпидемиологические правила и нормативы: СанПиН 1.2.3685–21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» [Электронный ресурс] – Режим доступа:

<https://docs.cntd.ru/document/573500115>, свободный (дата обращения 8.05.2022).