

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности  
Направление подготовки 20.04.01 Техносферная безопасность  
Отделение контроля и диагностики

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы
<b>Математическое моделирование распространения загрязнения нефтепродуктами в водной среде</b>

УДК 502.21:504.5:665.6

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ЕМ61	Карташова Анастасия Дмитриевна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Перминов В.А.	д.ф.-м.н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Данков А. Г.	к.и.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Амелькович Ю.А.	к.т.н.		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП 20.04.01 Техносферная безопасность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Перминов В.А.	д.ф.-м.н.		

Томск – 2018 г.

**Результаты освоения образовательной программы по направлению  
20.04.01 Техносферная безопасность**

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
Р1	<i>Использовать на основе глубоких и принципиальных знаний необходимое оборудование, инструменты, технологии, методы и средства обеспечения безопасности человека и окружающей среды от техногенных и антропогенных воздействий в условиях жестких экономических, экологических, социальных и других ограничений</i>	Требования ФГОС (ПК-3–7; ОПК-1–3, 5; ОК-4–6) <sup>1</sup> , Критерий 5 АИОР <sup>2</sup> (пп.5.2.1, 5.2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р2	Проводить <i>инновационные</i> инженерные исследования опасных природных и техногенных процессов и систем защиты от них, включая <i>критический анализ данных из мировых информационных ресурсов, формулировку выводов в условиях неоднозначности</i> с применением <i>глубоких и принципиальных</i> знаний и <i>оригинальных</i> методов в области современных информационных технологий, современной измерительной техники и методов измерения.	Требования ФГОС (ПК-8–13; ОПК-1–3, 5; ОК-4, 9, 10, 11, 12), критерии АИОР Критерий 5 АИОР (пп. 5.2.2, 5.2.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р3	Организовывать и руководить деятельностью подразделений по защите среды обитания и безопасному размещению и применению технических средств в регионах, осуществлять взаимодействие с государственными службами в области экологической, производственной, пожарной безопасности, защиты в чрезвычайных ситуациях, находить и принимать управленческие решения с соблюдением профессиональной этики и норм ведения <i>инновационной</i> инженерной деятельности с	Требования ФГОС (ПК-4, 6, 14–18; ОПК-1–5; ОК-1, 7, 8), Критерий 5 АИОР (пп.5.2.5, 5.3.1–2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

<sup>1</sup> Указаны коды компетенций по ФГОС ВО (направление 20.04.01 – Техносферная безопасность).

<sup>2</sup> Критерии АИОР (Ассоциации инженерного образования России) согласованы с требованиями международных стандартов *EUR-ACE* и *FEANI*

	учетом юридических аспектов в области техносферной безопасности	
P4	Организовывать мониторинг в техносфере, составлять краткосрочные и долгосрочные прогнозы развития ситуации на основе его результатов с использованием <i>глубоких фундаментальных и специальных</i> знаний, аналитических методов и <i>сложных</i> моделей <i>в условиях неопределенности</i> , анализировать и оценивать потенциальную опасность объектов экономики для человека и среды обитания и разрабатывать рекомендации по повышению уровня безопасности	Требования ФГОС (ПК-2, 19, 21, 22; ОПК-1–5; ОК-2), Критерий 5 АИОР (п.5.2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P5	Проводить экспертизу безопасности и экологичности технических проектов, производств, промышленных предприятий и территориально-производственных комплексов, аудит систем безопасности, осуществлять мероприятия по надзору и контролю на объекте экономики, территории в соответствии с действующей нормативно-правовой базой	Требования ФГОС (ПК-20, 23–25; ОПК-1–3, 5), Критерий 5 АИОР (пп.5.2.5–6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<i>Общекультурные компетенции</i>		
P6	Работать в интернациональной профессиональной среде, включая разработку документации, презентацию и защиту результатов <i>инновационной инженерной деятельности с использованием иностранного языка</i>	Требования ФГОС (ОК-5, 6, 10–12; ОПК-3), Критерий 5 АИОР (п.5.3.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P7	Эффективно работать индивидуально, а также в качестве <i>руководителя группы</i> с ответственностью за работу коллектива при решении инновационных инженерных задач в области техносферной безопасности, демонстрировать при этом готовность следовать профессиональной этике и нормам, понимать необходимость и уметь <i>самостоятельно учиться</i> и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности	Требования ФГОС ВО (ОК-1-3, 5, 8, 11, 12, ОПК 1-4, ПК-18) Критерий 5 АИОР (пп.5.3.3–6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
 федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
 высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности  
 Направление подготовки 20.04.01 Техносферная безопасность  
 Отделение контроля и диагностики

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП  
 20.04.01 Техносферная безопасность  
 \_\_\_\_\_ В.А. Перминов  
 05.02.2018 г.

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

магистерской диссертации

Студенту:

Группы	ФИО
1ЕМ61	Карташова Анастасия Дмитриевна

Тема работы:

Разработка математической модели разлива нефтепродуктов в водной среде

Утверждена приказом директора (дата, номер)

02.02.18 г. № 616/С

Срок сдачи студентом выполненной работы:

04.06.2018 г.

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

**Исходные данные к работе**

*(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.).*

Объектом исследования является загрязнение водной среды нефтепродуктами, распространяющимися с учётом скорости течения реки и мощности выброса загрязняющих веществ. Предмет исследования – математические модели для описания процесса переноса загрязняющих веществ в водной среде.

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

*(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).*

- 1) Обзор существующих теоретических и экспериментальных методов изучения распространения нефтепродуктов в водной среде
- 2) Выбор метода математического моделирования
- 3) Применение метода контрольного объема для получения дискретного аналога
- 4) Разработка физико-математической постановки задачи о возникновении и распространении нефтяного загрязнения
- 5) Задание исходных данных и параметров.

	6). Разработка численной методики решения задачи. 7) Численное решение задачи о возникновении и распространении нефтяного разлива 8) Анализ результатов решения задачи и анализ возникновения и распространения нефтяного загрязнения
<b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	1) Модель распространения нефтяного пятна. Зависимость изменения концентрации от времени.

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**

*(с указанием разделов)*

Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Доцент ОСГН ШБИП ТПУ Данков Артем Георгиевич, к.и.н.
«Социальная ответственность»	Доцент ОКД ИШНКБ ТПУ Амелькович Юлия Александровна, к.т.н.
Раздел магистерской диссертации, выполненный на иностранном языке	Старший преподаватель ОИЯ ШБИП ТПУ Демьяненко Наталия Владимировна

**Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:**

**1. Теоретическая часть**

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	05.02.2018 г.
---	---------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Перминов В.А.	д.ф.-м.н.		05.02.2018 г.

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ЕМ61	Карташова А.Д.		05.02.2018 г.

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
 федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
 высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности  
 Направление подготовки 20.04.01 Техносферная безопасность  
 Уровень образования магистратура  
 Отделение контроля и диагностики  
 Период выполнения весенний семестр 2017/2018 учебного года

Форма представления работы:

магистерская диссертация

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН**  
**выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	04.06.18
--	----------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
12.03.2018 г.	Сбор сведений и проведение анализа для разработки раздела «Теоритическая часть»	20
26.03.2018 г.	Разработка раздела «Теоритическая часть»	10
09.04.2018 г.	Сбор сведений и разработка раздела «Практическая часть»	25
23.04.2018 г.	Разработка раздела магистерской диссертации на иностранном языке	15
07.05.2018 г.	Разработка разделов «Социальная ответственность» и «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	10
21.05.2018 г.	Оформление и представление ВКР	20

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Перминов В.А.	д.ф.-м.н.		05.02.2018

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель ООП 20.04.01 Техносферная безопасность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Перминов В.А.	д.ф.-м.н.		05.02.2018

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
1ЕМ61	Карташова А.Д.

Школа	ИШНКБ	Отделение	ОКД
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Техносферная безопасность

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

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения

Рабочее место находится в лаборатории корпуса ТПУ, состоит из письменного стола, компьютерного стула и персонального компьютера, при помощи которого осуществляется математическое моделирование разлива нефтяного загрязнения.

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

#### 1. Производственная безопасность

1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:

- физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;
- действие фактора на организм человека;
- приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);
- предлагаемые средства защиты;
- (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).

1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:

- механические опасности (источники, средства защиты);
- термические опасности (источники, средства защиты);
- электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);
- пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).

1.1. Освещенность, шум, микроклимат, ЭМИ.

1.2. Электрический ток.

#### 2. Экологическая безопасность:

- защита селитебной зоны
- анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);
- анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);
- анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);
- разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на

1. Охрана атмосферы и литосферы.

НТД по охране окружающей среды.		
<b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения;</li> <li>– выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>– разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>– разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</li> </ul>	2. Пожар, автоматизированные средства пожаротушения 3. Молниезащита	
<b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b> <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>	1. Специальные правовые нормы трудового законодательства 2. Организационные меры при компоновке рабочей зоны	

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Амелькович Ю.А.	к.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ЕМ61	Карташова Анастасия Дмитриевна		



**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
1ЕМ61	Карташова Анастасия Дмитриевна

Школа	ИШНКБ	Отделение	ОКД
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Техносферная безопасность

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	<i>Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, а также в нормативно-правовых документах.</i>
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	<i>Разработка технического задания и выбор направления исследований</i>
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	<i>Теоретические и экспериментальные исследования</i>
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	<i>Обобщение и оценка результатов, оформление отчета по НИР</i>

Перечень графического материала:

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. Альтернативы проведения НИ
4. График проведения и бюджет НИ
5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Данков А. Г.	к.и.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ЕМ61	Карташова Анастасия Дмитриевна		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа: 86 с., 11 рис., 22 табл., 32 источников, 1 прил.

Ключевые слова: математическое моделирование, нефтяное загрязнение, метод контрольного объема.

Объектом исследования является распространение нефтяного загрязнения в водной среде при разрыве трубопровода. Предмет исследования – математические модели распространения загрязнения в водной среде.

Цель работы – разработка двухмерной математической модели и исследование распространения нефтяного пятна в водотоке при разрыве трубопровода.

В процессе исследования проводилась разработка физико-математической постановки исследуемой задачи, исследование основных свойств нефти, влияющих на распространение загрязнения в водотоке, численное решение уравнений, описывающих изучаемый процесс, визуализация полученных данных с помощью программного пакета Matlab, анализ полученных результатов динамики изменения концентрации нефти в водотоке.

В результате исследования разработана математическая модель, позволяющая прогнозировать распространение нефтяного пятна в водной среде, получены распределения скорости, температуры, концентраций компонентов загрязняющих примесей в различные моменты времени, выяснена зависимость распространения загрязнения от расположения источника выброса, глубина реки и скорости течения реки.

Степень внедрения: разработанная в работе математическая модель распространения нефтяного загрязнения в водотоке опубликована в сборниках научных конференций.

Область применения: данная модель может применена для своевременной ликвидации нефтяного разлива.

Экономическая эффективность/значимость работы: данная модель позволяет прогнозировать распространение загрязнения в водотоке при разрыве трубопровода при заданных параметрах.

В будущем планируется: усовершенствовать математическую модель с учетом процессов, влияющих на распространение нефти в водной среде.

ВВЕДЕНИЕ.....	13
1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР .....	15
1.1 Источники загрязнения водной среды.....	15
1.2 Последствия разлива нефти в водной среде.....	17
1.3 Свойства нефти .....	18
1.4 Трансформация нефти в водной среде .....	19
1.5. Существующие математические модели и разработки .....	22
1.6 Физико-математическая постановка задачи .....	24
1.7       Метод решения.....	26
2. ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ ..	32
3. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ .....	36
3.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения .....	36
3.2 Технология Quad.....	37
3.3 SWOT-анализ.....	39
3.4 Планирование научно-исследовательских работ .....	42
3.4.1 Структура работ в рамках научного исследования .....	42
3.4.2 Определение трудоемкости выполнения работ .....	43
3.4.3 Разработка графика проведения научного исследования.....	44
3.4.4 Бюджет научно-технического исследования (нти) .....	48
3.4.4.1 Расчет материальных затрат нти .....	48
3.4.4.2 Основная заработная плата исполнителей темы .....	49
3.4.4.3 Дополнительная заработная плата исполнителей темы .....	50
3.4.4.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)..	51
3.4.4.5 Накладные расходы .....	51
3.4.4.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.....	52
3.5 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования ....	53

4. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ .....	57
4.1 Производственная безопасность .....	57
4.1.1 Анализ вредных факторов проектируемой производственной среды .....	57
4.1.1.1 Освещенность .....	58
4.1.1.2 Шум .....	60
4.1.1.3 Микроклимат .....	61
4.1.1.4 Электромагнитные излучения .....	62
4.1.2 Анализ опасных факторов проектируемой производственной среды .....	63
4.1.2.1 Электрический ток .....	64
4.2 Экологическая безопасность.....	66
4.2.1 Охрана атмосферного воздуха от загрязнения .....	66
4.2.2 Охрана литосферы. Твердые бытовые отходы .....	66
4.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	67
4.3.1 Пожар .....	67
4.3.2 Молниезащита .....	69
4.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .	70
4.4.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства.....	70
4.4.2 Организационные мероприятия по компоновке рабочей зоны .....	71
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	73
СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ .....	74
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	75
ПРИЛОЖЕНИЕ А .....	79

## ВВЕДЕНИЕ

Аварийные разливы нефти и нефтепродуктов при транспортировке и эксплуатации наносят значительный вред экосистемам. Рост добычи нефти, износ трубопроводного транспорта увеличивают количество чрезвычайных ситуаций. Нефтяное загрязнение изменяет условия обитания видов и нарушает различные естественные процессы. Для ликвидации и предупреждения последствий необходимо предсказать характер поведения нефти и нефтепродуктов в водоемах при разливе. Математическое моделирование позволит создать модель распространения нефтяного пятна в водной среде.

Изучению моделирования аварийных разливов нефти посвящено большое количество научных работ. Но в настоящее время не существует определенной методики или единого подхода по описанию разливов нефти. Существующие математические модели распространения нефтяного загрязнения не включают в себя влияние процессов выветривания (испарение, дисперсия, эмульгирование, седиментация, биоразложение). Необходимо разработать такую модель распространения нефтяного загрязнения, которая будет учитывать максимальное количество параметров, влияющих на ее распространения, из числа возможных.

Целью данной работы является разработка двухмерной математической модели и исследование распространения нефтяного пятна в водотоке при разрыве трубопровода.

Основные задачи:

1. Исследование основных свойств нефти, влияющих на распространение загрязнения в водотоке;
2. Разработка физико-математической постановки задачи о распространении нефтяного пятна в водотоке;
3. Численное решение уравнений, описывающих изучаемый процесс;
4. Визуализация полученных данных с помощью программного пакета Matlab;

5. Анализ полученных результатов динамики изменения концентрации нефти в водотоке.

# 1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

## 1.1 Источники загрязнения водной среды

Нефть и нефтепродукты относятся к числу наиболее вредных загрязнений в морской воде. Ежегодно в океаны попадает около 600 тыс. тонн нефти [1]. На рисунке 1.1 представлены возможные источники загрязнения вод мирового океана нефтью. К основным природным источникам загрязнения вод относятся эрозионные процессы и выходы нефти на дне моря. Важнейшие антропогенные источники подразделяется на три группы: морские, наземные и атмосферные. К морским источникам относятся морской транспорт, военные корабли, трубопроводы и т.д. К наземным источникам относятся водные системы, в которые загрязнения попадают при помощи грунтовых или сточных вод. Атмосферными источниками являются различные предприятия и другие объекты, осуществляющие выбросы углеводородных соединений в атмосферу.



Рисунок 1.1 – Источники загрязнению вод мирового океана нефтью

Наибольший вклад в загрязнения вод мирового океана вносит морской транспорт – 35 %, затем речной сток – 32 %, промышленные стоки – 13 %, природные источники – 10 %, морская добыча нефти – 1,5 % [2].

Действительно, морской транспорт, а в первую очередь танкерный является наиболее опасным источником загрязнения вод нефтепродуктами. Одни из самых крупных нефтяных загрязнений вод в мире произошли при аварии танкеров. К примеру, в 1978 году во Франции танкер Amoco Cadiz сел на мель, в воду вылилось 223 000 тонн нефти, в результате чего образовалось пятно размером 2000 квадратных километров. В 1979 году в результате аварии в мексиканский залив вылилось 460 тысяч тонн нефти. Также в этом году в Карибском море в результате столкновения танкеров вылилось почти 290 тысяч тонн нефти. В марте 1989 года нефтяной танкер сел на мель у побережья Аляски, в результате вылилось почти 48 тысяч тонн нефти, было загрязнено около 2000 километров береговой линии. В ноябре 2002 года в Испании затонул танкер, в море вылилось 64 тонны мазута. В августе 2006 года в результате аварии были загрязнены 300 км побережья в двух провинциях страны. 11 ноября 2007 года в результате шторма в Керченском проливе затонули 4 судна, 6 сели на мель и 2 танкера получили повреждения. В море вылилось более 2000 тонн мазута. Также известны различные крупные аварии на нефтяных платформах, например, авария в мексиканском заливе в 1979 году и в 2010 году на платформе Deepwater Horizon [3].

В России основной причиной разлива нефти является износ нефтепровода. По статистике более 90 % разрывов нефтепровода связаны с коррозией труб и неправильной эксплуатацией. Таким образом, Российскую нефтяную промышленность можно назвать самой грязной в мире. В таблице 1.1 представлено количество аварий с 2011 по 2014 года в различных нефтяных компаниях.



Таблица 1.1 – Статистика прорывов промысловых нефтепроводов

Компания/годы	2011	2012	2013	2014
«Роснефть»	7671	7338	6495	5797
«Лукойл»	3776	3712	3373	3114
«Сургутнефтегаз»	15	5	10	1
«Газпромнефть»	872	963	738	635
«Татнефть»	98	877	775	615
«Башнефть»	278	633	1067	1132
«Славнефть»	18	20	19	10

Таким образом, в целом о России в год происходит от 11000 до 14000 прорывов нефтепроводов [4].

## 1.2 Последствия разлива нефти в водной среде

По спутниковым наблюдениям Земли с космоса можно сказать, что 30 % мирового океана покрыто нефтяной пленкой. В прибрежных водах России в последние годы концентрация углеводородов составила от 0,5 до 13 ПДК [5]. В то время как, ПДК нефтепродуктов для питьевого и культурного водопользования согласно ГН 2.1.5.1315-03 составляет 0,1 мг / л [6].

Даже незначительная утечка нефти приводит к крайне негативным последствиям. При растекании по поверхности воды пленки нефти способны покрывать очень большие поверхности. 100-200 л нефти покрывают один квадратный километр поверхности моря пленкой толщиной примерно 0,1 мкм. Примерно через десять минут после разлива 1 тонны нефти, пятно распространяется в радиусе 50 метров толщиной слоя 110 мм [7].

Нефтяные разливы наносят как экологический, так и экономический ущерб. Экономический ущерб наносится прибрежным городам и населенным пунктам. А именно, предприятиям, связанным с потреблением воды, рыбакам, ресторанам и субъектам курортного бизнеса, сельскому хозяйству и коммунальным службам. Нефть и нефтепродукты в первую очередь нарушают структуру биоценозов, оседая на дно, нарушают экологическое состояние почвенного покрова и убивают растительность. Значительный ущерб получают водоплавающие птиц, контакт с нефтью вызывает раздражение глаз и разрушение оперения. Также опасен контакт с нефтью и для морских

млекопитающих, загрязнение шерсти осложняет их теплообмен и блокирует контакт тела с водой [8]. На рисунке 1.2 представлены последствия экологической катастрофы в Мексиканском заливе в 2010 году.



**Рисунок 1.2 – Последствия экологической катастрофы в мексиканском заливе (покрытые нефтью тело мертвого дельфина, чайка, раки)**

### **1.3 Свойства нефти**

Нефть – это сложная горючая смесь углеводородов различных классов, представляет собой бурую (черную) жирную, масляную жидкость. Рассмотрим основные физические характеристики, влияющие на состояние разлитой нефти в море.

Удельный вес нефти – это вес соответствующий единице ее объема. Нефть с низким удельным весом является более летучей и склонна к повышенной текучести.

Плотность нефти – это ее плотность относительно плотности воды. Для большинства видов нефти величина относительного удельного веса и относительной плотности находится в пределах 0,750-1,000. Плотность нефти зависит от содержания различных классов углеводородов. Чем больше газов содержит нефть, тем она легче, чем больше смолистых веществ, тем плотность выше [9].

Одной из важнейших физико-химических характеристик нефти является ее вязкость. Величина вязкости нефти и ее фракций сильно зависит от температуры – с повышением температуры уменьшается, а с понижением – возрастает. С повышением давления вязкость увеличивается. При высоких давлениях некоторые виды нефти превращаются в пластичную массу.

Чем больше парафинов содержит нефть, тем выше ее температура застывания. Содержание смолистых веществ понижают температуру застывания.

Летучесть нефти определяется ее дистилляционными характеристиками. С повышением температуры различные компоненты нефти доходят до точки кипения, испаряются и конденсируются [10].

#### 1.4 Трансформация нефти в водной среде

На поверхности водоема нефть подвергается следующим процессам (рисунок 1.4):

1. Распространение;
2. Испарение;
3. Эмульгирование;
4. Окисление;
5. Распространение;
6. Биоразложение;
7. Дисперсия;
8. Оседание.



Рисунок 1.4 – Процессы выветривания, действующие на нефть в море

В первую очередь нефть начинает распространяться по морской поверхности. Скорость процесса определяется количеством выброса нефти, ее вязкостью, температурой застывания, погодными условиями.

Скорость и интенсивность испарения нефти зависит от ее летучести, температуры воздуха и скорости ветра. Неустойчивые нефтепродукты испаряются в течение нескольких часов, соответственно, тяжелые нефти практически не испаряются [11].

Дисперсия нефти определяется ее составом, вязкостью и морскими условиями. Волны на поверхности воды разделяют нефтяное пятно на капли разных размеров, которые распространяются в толще воды. Мелкие капли остаются в толще воды, крупные капли поднимаются на поверхность, образуя повторное пятно или растекаясь в тонкую пленку. Нефть во взвешенном состоянии перемешивается с более значительными объемами морской воды, что приводит к быстрому и весьма существенному снижению концентрации нефти [12].

Для многих видов нефти характерно поглощение воды с образованием водонефтяных эмульсий, увеличивающих объем загрязнения в 3-5 раз. Такие эмульсии обладают высокой вязкостью и являются стабильными. Нефть с низкой вязкостью образует эмульсии примерно за 2-3 часа, содержание воды в них составляет около 80 %. Высоковязкие нефти образуют эмульсии в течение длительного времени, содержание воды в них составляет не более 40 %.

Растворение нефти в воде носит незначительный характер и зависит от состава нефти, температуры воды и турбулентности. Зачастую растворению подвергаются легкие компоненты, такие как ароматические углеводороды. Тяжелые компоненты нефти являются практически не растворимыми.

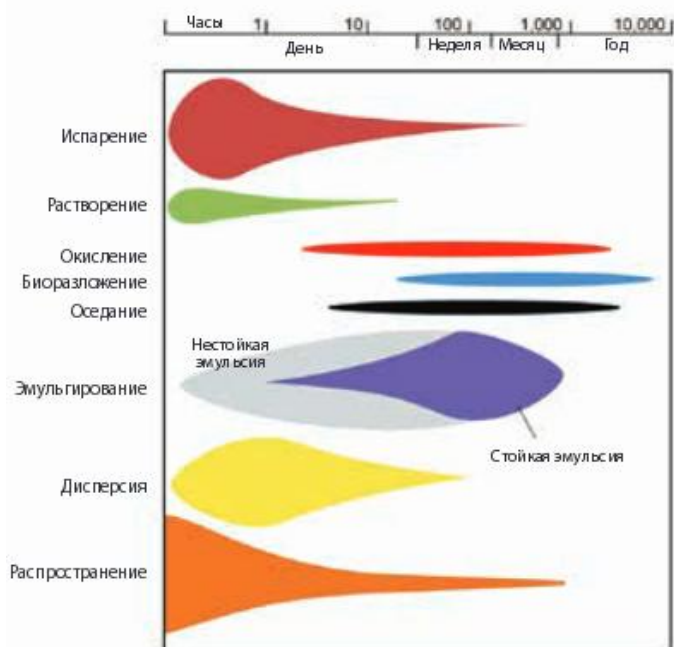
Диспергированные капли нефти взаимодействуют с веществами, взвешенными в толще воды, в результате чего они загустевают и оседают на морское дно.

В морской воде содержатся микроорганизмы, которые используют нефть в качестве источника углерода и энергии. Интенсивность биологического

распада зависит от температуры и наличия кислорода. Данный процесс оказывает значительное влияние на удаление нефтепродуктов с поверхности воды. Поэтому, нефть, попавшая не береговую линию, будет разлагаться гораздо медленнее.

На рисунке 1.5 изображена важность процессов действующих на нефть в морской воде. Процессы распространения, испарения, эмульгирования, диспергирования и растворения играют наибольшую роль на ранних стадиях разлива. Такие процессы, как биологический распад, окисление и седиментация являются долгосрочными. Дисперсия и эмульгирование являются соперничающими процессами: дисперсия устраняет нефть с морской поверхности, а эмульгирование приводит к увеличению объема и сохранению загрязнителя.

Прогнозирование потенциальных изменений характеристик нефти с течением времени позволяет оценить вероятную стойкость разлитой нефти, и, следовательно, установить наиболее подходящий метод ликвидации разлива[13].



**Рисунок 1.5 – Схематическое представление поведения разлива стандартного вида нефти, показывающее изменения относительной важности процессов выветривания с течением времени (ширина каждой полосы обозначает важность процесса).**

## 1.5. Существующие математические модели и разработки

Разработке математических моделей аварийных разливов нефти посвящено большое количество научных исследований, однако, не существует единого подхода к описанию этого процесса и общепринятой модели. Наименее изученной темой является действие различных процессов на состояние нефти в воде. Все известные модели рассматриваются в стационарном состоянии.

В статье [14] процесс распространения нефтяного пятна рассматривается как суперпозиция двух совместно действующих процессов: растекание нефтяного разлива и переноса течением водотока. В построенной модели русло было представлено в виде множества участков прямоугольной формы. Были заданы следующие параметры: ширина, глубина и протяженность, тип профиля поперечного сечения русла водотока, гидравлический уклон, гидравлический радиус, коэффициент шероховатости донной поверхности и коэффициент кинематической вязкости воды. В результате расчетов была получена средняя скорость течения воды.

Для верификации модели были взяты данные разлива нефти на нефтепроводе Харъяга - Усинск в 1994 году. В результате разлива в течение 87 минут вылило 2685 кубических метров нефти. Данная модель позволяет рассчитывать скорость распространения нефти по руслу, время подхода загрязнения к створу и построить зависимость площади загрязнения от времени.

В статье [15] была предложена двухуровневая математическая модель. На макроскопическом уровне моделируется движение нефти в пределах акватории порта, на мезоскопическом уровне модель воспроизводит физические аспекты загрязнения с детализацией до отдельных волн. Эффективность данной модель была проверена на Новороссийском морском порту. В предложенной модели карта акватории представлена в двумерном массиве 300 x 300 ячеек. В массиве существует два вида ячеек:

«истинно» – свободная водная поверхность, значение «ложно» – фрагмент берега. Ввод карты порта осуществлялся с помощью специально разработанной компьютерной программы. Программа имитирует выброс определенного объема нефти и в процессе работы выводит изображение загрязнения в зависимости концентрации от координат. Данная программа позволяет прогнозировать распространения загрязнения от источника с течением времени.

Известна математическая модель аварийных разливов нефти продуктов с использованием геоинформационных технологий [16]. Для проверки адекватности данной модели проводили реконструкцию экологической катастрофы в Керченском проливе 11 ноября 2007 года. С помощью средств геоинформационных технологий были выявлены наиболее характерные течения Керченского пролива, построены корреляционные зависимости полей ветра и течения. Данная модель учитывает следующие процессы: растекание, перемещение под действием течения и ветра, волновое воздействие вблизи береговой линии. В качестве основного инструмента был использован программный комплекс ArcGIS Desktop 9.3 компании ESRI (США). Математическая модель реализована на языке Visual Basic for Applications и встроена в ArcMap в виде модуля. Реализация метода основана на разделении нефтяного загрязнения на отдельные частицы и моделирование их переноса под действием ветра и течения. В качестве входных данных используют: конфигурацию водоема, метеорологическую ситуацию, реальные или рассчитанные течения, место и динамику разлива нефтепродуктов. Данный комплекс позволяет моделировать разливы нефти крупного масштаба и следить за траекторией каждой отдельной частицы.

Существует усовершенствованная математическая модель [17], в которой учитываются такие процессы как испарение, осаждение нефтепродуктов на береговую линию и осаждение на донную поверхность. Данная модель является наиболее приближенной к реальным условиям. Она

учитывает влияние особенностей русла реки, его береговой поверхности, а также процессы преобразования нефтяного пятна в воде.

Описанные математические модели позволяют отследить траекторию движения нефтяного загрязнения и изменение его пространственных характеристик, при заданных параметрах определить место контакта загрязнения с береговой линией.

### **1.6 Физико-математическая постановка задачи**

Реки являются основным источником водоснабжения. В настоящее время еще недостаточно эффективны способы очистки воды, особенно в случаях аварийных залповых выбросов различных веществ. В связи с оценкой состояния водной среды, представляет интерес методы описания распространения загрязняющих примесей в водоемах. В данной работе представлена математическая модель процесса тепло - и массопереноса, расчета полей скорости, температуры и концентраций загрязняющих компонент в водоеме. Разработанные методы предсказания уровней распределения загрязняющих примесей, попадающих в водную среду, могут быть использованы для контроля качества речной воды, в том числе при условии аварийных выбросов различных веществ в водоем.

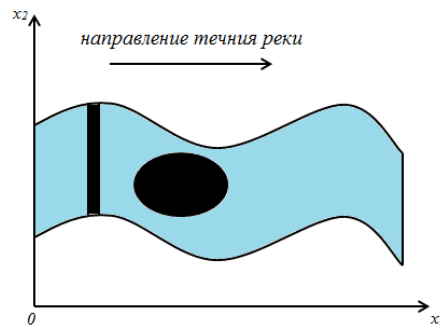
В результате образования отверстия в трубопроводе, пересекающем водную преграду, происходит вытекания нефти в реку. Необходимо определить распределение концентрации данного загрязняющего вещества в водной среде. Так как характерные размеры водоема в горизонтальных направлениях значительно превышают глубину водоема, и из априорных данных следует, что зависимости проекций скорости, температуры, концентраций компонентов от координаты  $x_3$ , отсчитываемой от поверхности дна реки меньше изменяются, чем от координат  $x_1$  и  $x_2$ , можно на основе вышеизложенного допущения усреднить исходные характеристики по глубине водоема согласно [18]:



$$\int_{-h}^0 \phi dx_3 = \bar{\phi} h \quad (1)$$

где  $\bar{\phi}$  – среднее значение величины  $\phi$ .

В результате рассмотрим плоскую задачу конвективного тепло - и массопереноса загрязняющих веществ в водоеме. Источник загрязнения моделируется поверхностным источником массы нагретых веществ, выделяющихся в результате залпового выброса в течение некоторого времени. Считается, что течение направлено слева направо и носит развитый турбулентный характер, а для описания конвективного переноса под воздействием течения реки используются двумерные уравнения Рейнольдса для турбулентного течения. Начало координат  $x_1 = 0$ ,  $x_2 = 0$  расположено в левой части рассматриваемой области, оси  $Ox_1$  и  $Ox_2$  расположены в плоскости земной поверхности (рисунок 1.6).



**Рисунок 1.6 - Схема расчетной области**

Сформулированная задача сводится к решению следующей системы уравнений:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho v_j) + \frac{\rho w_0}{h} = 0, \quad j = 1, 2, \quad i = 1, 2 \quad (2)$$

$$\rho \frac{dv_i}{dt} = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \mu \frac{\partial v_i}{\partial x_j} \right) - \frac{\rho v_i w_0}{h} - \rho g_i \quad (3)$$

$$\rho c_p \frac{dT}{dt} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial x_j} \right) - \frac{\rho w_0 c_p T_0}{h} \quad (4)$$

$$\rho \frac{dc_\alpha}{dt} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \rho D \frac{\partial c_\alpha}{\partial x_j} \right) - \frac{\rho c_\alpha w_0}{h}, \quad \alpha = 1, 2 \quad (5)$$

$$v = (v_1, v_2), \vec{g} = (0, g) \quad (6)$$

Начальные и граничные условия имеют вид:

$$t = 0: v_1 = 0, v_2 = 0, T = T_e, c_\alpha = c_{\alpha e}, T_s = T_e \quad (7)$$

$$x_1 = 0: v_1 = V_e, v_2 = 0, T = T_e, c_\alpha = c_{\alpha e} \quad (8)$$

$$x_1 = x_{1e}: \frac{\partial v_1}{\partial x_1} = 0, \frac{\partial v_2}{\partial x_1} = 0, \frac{\partial c_\alpha}{\partial x_1} = 0, \frac{\partial T}{\partial x_1} = 0 \quad (9)$$

$$x_2 = -x_{2e}: \frac{\partial v_1}{\partial x_2} = 0, \frac{\partial v_2}{\partial x_2} = 0, \frac{\partial c_\alpha}{\partial x_2} = 0, \frac{\partial T}{\partial x_2} = 0 \quad (10)$$

$$x_2 = x_{2e}: \frac{\partial v_1}{\partial x_2} = 0, \frac{\partial v_2}{\partial x_2} = 0, \frac{\partial c_\alpha}{\partial x_2} = 0, \frac{\partial T}{\partial x_2} = 0 \quad (11)$$

$\frac{d}{dt}$  – полная производная  $\left( \frac{d}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} + (v_j + w_p) \frac{\partial}{\partial x_j} \right)$ ,  $c_p$  – удельная теплоемкость воды при постоянном давлении,  $\rho$  – плотность воды,  $T$  – температура воды,  $c_\alpha$  – массовые концентрации ( $\alpha = 1$  – загрязняющая жидкость,  $2$  – загрязняющие частицы),  $P$  – давление,  $M_\alpha$  – молекулярная масса индивидуальных компонентов,  $\lambda$ ,  $\mu$ ,  $D$  – коэффициенты теплопроводности, динамической вязкости и диффузии;  $t$  – время,  $x_i, v_i$  ( $i = 1, 2$ ) – декартовы координаты и компоненты скорости,  $R$  – универсальная газовая постоянная,  $w_p$  – скорость оседания твердых загрязняющих частиц ( $w_p \neq 0$  в уравнении (4) при  $j=2$  для частиц, а в остальных случаях  $w_p = 0$ ).

## 1.7 Метод решения

Для решения поставленной задачи используется метод контрольного объема. Пространство разбивается на определенное число объемов, затем для каждого из них записывается баланс субстанции (энергии, импульса, массы и т.д.) [19]. В расчетной области необходимо указать граничные условия. Классический метод контрольных объемов основан на интегральных законах сохранения. На первом этапе для любого конечного объема формулируется закон сохранения. Затем расчетная область покрывается сеткой, в узлах

которой будут рассчитываться физические характеристики моделируемого процесса. Далее выбираются контрольные объемы, чаще всего, с центрами в узлах расчетной сетки и границами, проходящими через центры ребер ячеек сетки. Для каждого полученного контрольного объема записывается дискретный аналог закона сохранения на основе баланса всех потоков через границы рассматриваемого объема. Метод конечных объемов в большинстве случаев позволяет получать консервативные схемы, допускает дискретизацию расчетных областей со сложной геометрией, а также позволяет строить более точные схемы вблизи границ области. Эти достоинства метода обусловлены возможностью использовать нерегулярные сетки, равно как и контрольные объемы произвольной формы [19].

Выбор данного метода дискретизации объясняется тем, что используя его, в процессе решения точно выполняются интегральные законы сохранения таких величин как масса, количество движения, энергия в каждом контрольном объеме и для любой группы контрольных объемов и, следовательно, на всей расчетной области. Даже если решается задача с использованием малого количества контрольных объемов (тут ограничением могут являться возможности вычислительной техники) все равно решение будет получено, и оно будет удовлетворять точным интегральным балансам во всей расчетной области. Используя в решении метод контрольного объема при правильно заданных граничных условиях можно наверняка сказать, что будет получено физически оправданное решение, которое будет удовлетворять основным законам сохранения.

Дифференциальные уравнения, описывающие процессы теплообмена и гидродинамики подчиняются обобщенному закону сохранения. Если обозначить любую искомую функцию  $\Phi$ , то обобщенное дифференциальное уравнение принимает в тензорной форме вид:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\Phi) + \frac{\partial}{\partial x_i}(rv_i\Phi) = \frac{\partial}{\partial x_i}(\Gamma_\Phi \frac{\partial\Phi}{\partial x_i}) = S'_\Phi \quad (12)$$

где,  $t$  – временная координата,  $x_i$  – пространственная координата,  $\rho$  – плотность,  $v_i$  – компоненты вектора скорости,  $\Gamma_\Phi$  – коэффициент переноса,  $S_\Phi$  – источниковый член.

В частности в  $S_\Phi$  может входить приток (сток) тепла за счет химических реакций в уравнении энергии или увеличение (уменьшение) концентраций компонент в результате химических реакций в уравнении диффузии. Конкретный вид  $\Gamma_\Phi$  и  $S_\Phi$  зависит от смысла переменной  $\Phi$  [19].

Физически метод контрольного объема можно описать следующим образом: расчетная область разбивается на определенное число непересекающихся контрольных объемов таким образом, что каждая узловая точка содержится в одном контрольном объеме. В двумерном случае мы рассматриваем прямоугольник. Далее, дифференциальные уравнения интегрируются по каждому контрольному объему. Для вычисления интегралов используются профили, которые описывают изменение функции  $\Phi$  между узловыми точками. Полученный дискретный аналог выражает закон сохранения для параметра состояния  $\Phi$  для каждого конечного контрольного объема. Важнейшее свойство метода контрольного объема состоит в том, что при его использовании точно выполняются интегральные законы сохранения таких величин как масса, количество движения, энергия и т.д. в каждом контрольном объеме и для любой группы контрольных объемов и, следовательно, на всей расчетной области. Решение с использованием малого количества контрольных объемов также удовлетворяет точным интегральным балансам во всей области, то есть дискретный аналог (разностная схема) Патанкара-Сполдинга является консервативным. Способ разбиения расчетной области для двухмерного случая на контрольные объемы и типичный контрольный объем представлены на рисунке 1.7 [19].

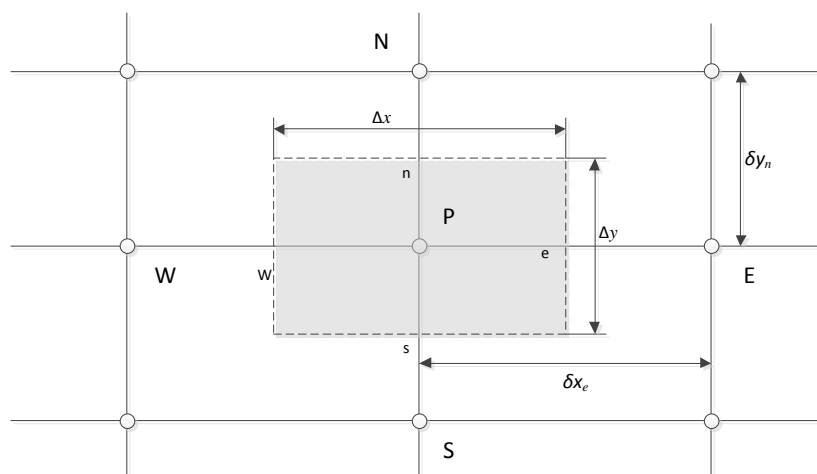


Рисунок 1.7 – Типичный контрольный объем для двумерного случая

На рисунке изображена область двумерной сетки, где пунктирной линией обозначен контрольный объем для двумерной области с центром в точке  $P$ . Центры соседних контрольных объемов обозначены буквами  $N, S, W, E$  (соответственно «север», «юг», «запад» и «восток»). Соответствующие точки на границах контрольного объема обозначены буквами  $n, s, w, e$ . Размеры контрольного объема обозначаются  $\Delta x$  и  $\Delta y$ . Расстояния до центров соседних контрольных объемов обозначены  $\delta_{xe}, \delta_{yn}$ . Таким же образом по аналогии вводятся обозначения трехмерного (пространственного) случая, то есть для контрольного объема, изображенного на рисунке.

Дискретный аналог для двумерного случая запишется в следующем виде:

$$a_P \Phi_P = a_w \Phi_w + a_E \Phi_E + a_S \Phi_S + a_N \Phi_N + b \quad (13)$$

где,

$$a_E = D_e A(|P_e|) + [-F_e, 0], \quad a_w = D_w A(|P_w|) + [F_w, 0] \quad (14)$$

$$a_N = D_n A(|P_n|) + [-F_n, 0] \quad (15)$$

$$a_S = D_s A(|P_s|) + [F_s, 0] \quad (16)$$

Расходы и проводимости определяются следующим образом:

$$F_e = (\rho u)_e \Delta y \quad (17)$$

$$F_w = (\rho u)_w \Delta y \quad (18)$$

$$F_n = (\rho v)_n \Delta x \quad (19)$$

$$F_s = (\rho v)_s \Delta x \quad (20)$$

$$D_e = \frac{\Gamma_e \Delta y}{(\delta x)_e} \quad (21)$$

$$D_w = \frac{\Gamma_w \Delta y}{(\delta x)_w} \quad (22)$$

$$D_n = \frac{\Gamma_n \Delta x}{(\delta x)_n} \quad (23)$$

$$D_s = \frac{\Gamma_s \Delta x}{(\delta x)_s} \quad (24)$$

Число Пекле:

$$P_e = F_e / D_e, \quad P_w = F_w / D_w, \quad P_n = F_n / D_n, \quad P_s = F_s / D_s \quad (25)$$

Выражение типа  $[A, B]$  означает, что выбирается максимальный элемент из двух. Для функции  $A(|P|)$  рекомендуется схема со степенным законом.

$$A(|P|) = \left[ 0, (1 - 0, |P|^5) \right] \quad (26)$$

Коэффициенты в соседних точках  $a_E, a_W, a_N, a_S, a_T, a_B$  учитывают влияние конвекции и диффузии для граней контрольного объема, которые в свою очередь зависят от массового расхода  $F$  и проводимости  $D$ .

Для решения дискретного аналога был использован алгоритм Томаса или TDMA (Tri-diagonal-Matrix Algorithm – трехдиагональный матрицы алгоритмом). Название TDMA является результатом того, что когда матрица коэффициентов этих уравнений записана, все ненулевые коэффициенты группируются вдоль трех диагоналей матрицы.

Для удобства записи алгоритма введем некоторые обозначения. Присвоим узловым точкам, номера 1, 2, 3, ...,  $n$ . Номера 1 и  $n$  относятся к точкам на границе. Тогда дискретный аналог можно записать в следующем виде:

$$a_i T_i = b_i T_{i+1} + c_i T_{i-1} + d_i \quad (27)$$

где  $i = 1, 2, 3, \dots, n$ . Таким образом, температура  $T$ , связана с соседними значениями  $T_{i-1}$  и  $T_{i+1}$ .

Запись уравнений для узловых точек на границе дает:

$$c_l = 0 \text{ и } b_n = 0 \quad (28)$$

Следовательно, температуры  $T_0$  и  $T_{n+l}$  не будут, иметь, смысла (в том случае, когда температуры на границе заданы, уравнения для граничных точек записываются в обычной форме, например если  $T_l$  задано, имеем  $a_l b_l=0$ ,  $c_l=0$  и  $d_l$  равно заданному значению  $T_l$ ) [19].

## 2. ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ

Математическое моделирование распространения нефтяного загрязнения проведено на примере реки Томи (рисунок 2.1). В качестве расчетной области был выбран участок реки Томь. Расчетная область покрывалась контрольными объемами. Для определения конфигурации реки использовался метод фиктивных областей [19]. На левой границе расчетной области задавалась скорость течения реки. Также была задана глубина реки и в различных частях реки определялись координаты и величина концентрации выброса.

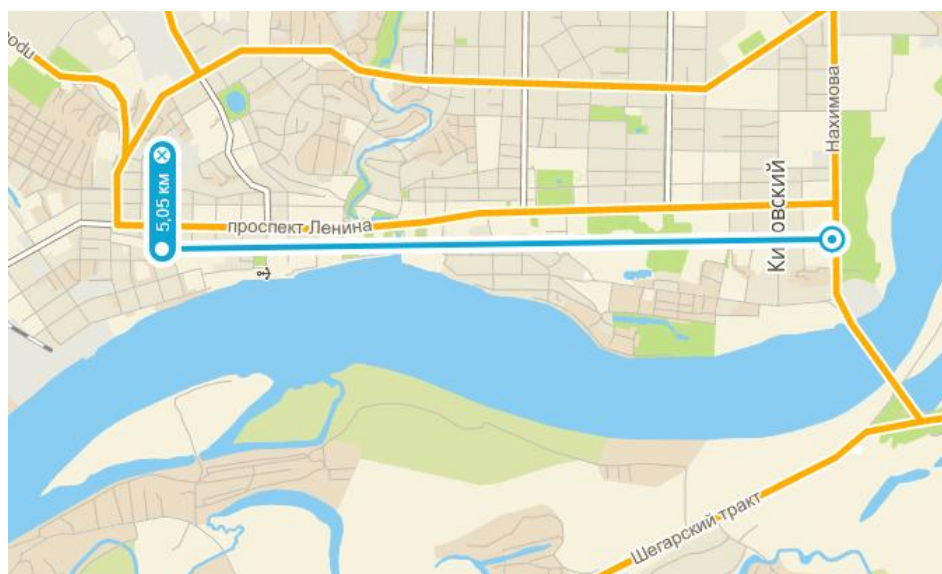
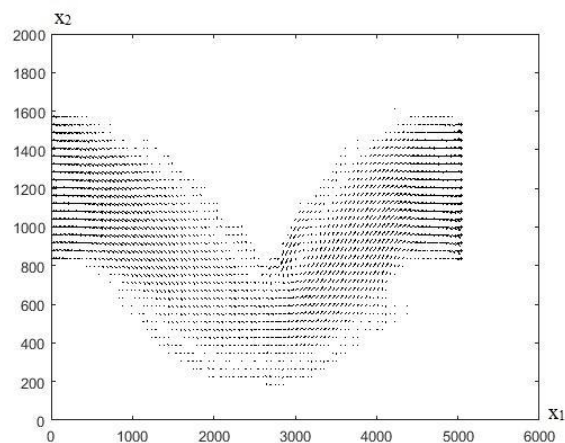


Рисунок 2.1 – Карта реки Томь

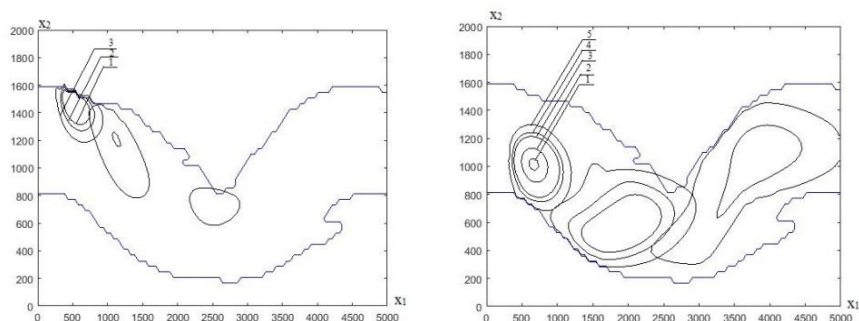
В результате численных расчетов получены распределения скорости, температуры, концентраций компонент загрязняющих примесей в различные моменты времени. При расчете полей концентраций учитывается поле скоростей (рисунок 2.2). Из рисунка видно, что конфигурация реки влияет на распространение загрязнения.





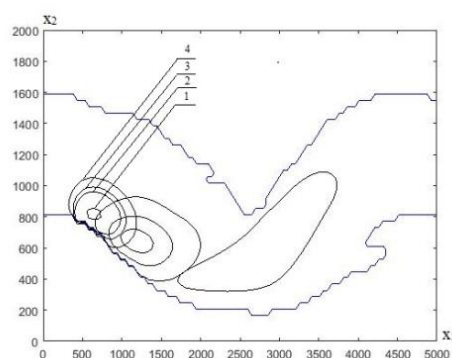
**Рисунок 2.2 – Векторное поле скорости**

На рисунке 2.3(а, б, в) представлено распределение концентрации загрязняющей примеси попавшей в водоем в результате аварийного выброса в зависимости от места нахождения источника. Скорость течения  $0,33 \text{ м/с}$ , глубина водоема  $8 \text{ м}$ , концентрация в окрестности источника выброса  $25 \text{ кг/м}^3$ .



**а**

**б**



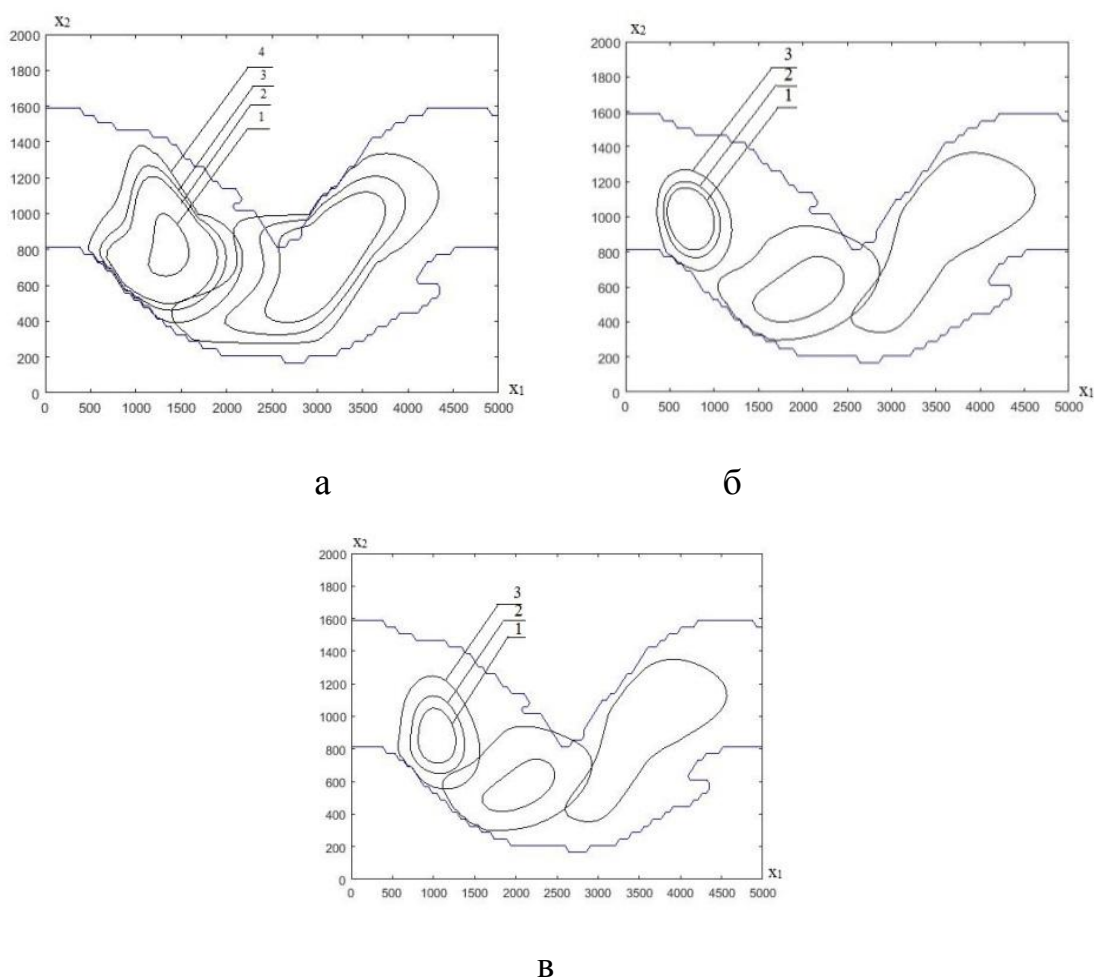
**в**

**Рисунок 2.3 – Распространение нефтяного загрязнения в зависимости от расположения источника выброса в различные моменты времени: а – верхняя граница русла, б – середина русла, в – нижняя граница русла**

При расположении источника загрязнения вблизи береговой линии концентрация загрязнителя распространяется медленнее вдоль берега.

При расположении источника загрязнителя в центре русла реки концентрация распространяется с большей скоростью и примесь переносится на большие расстояния.

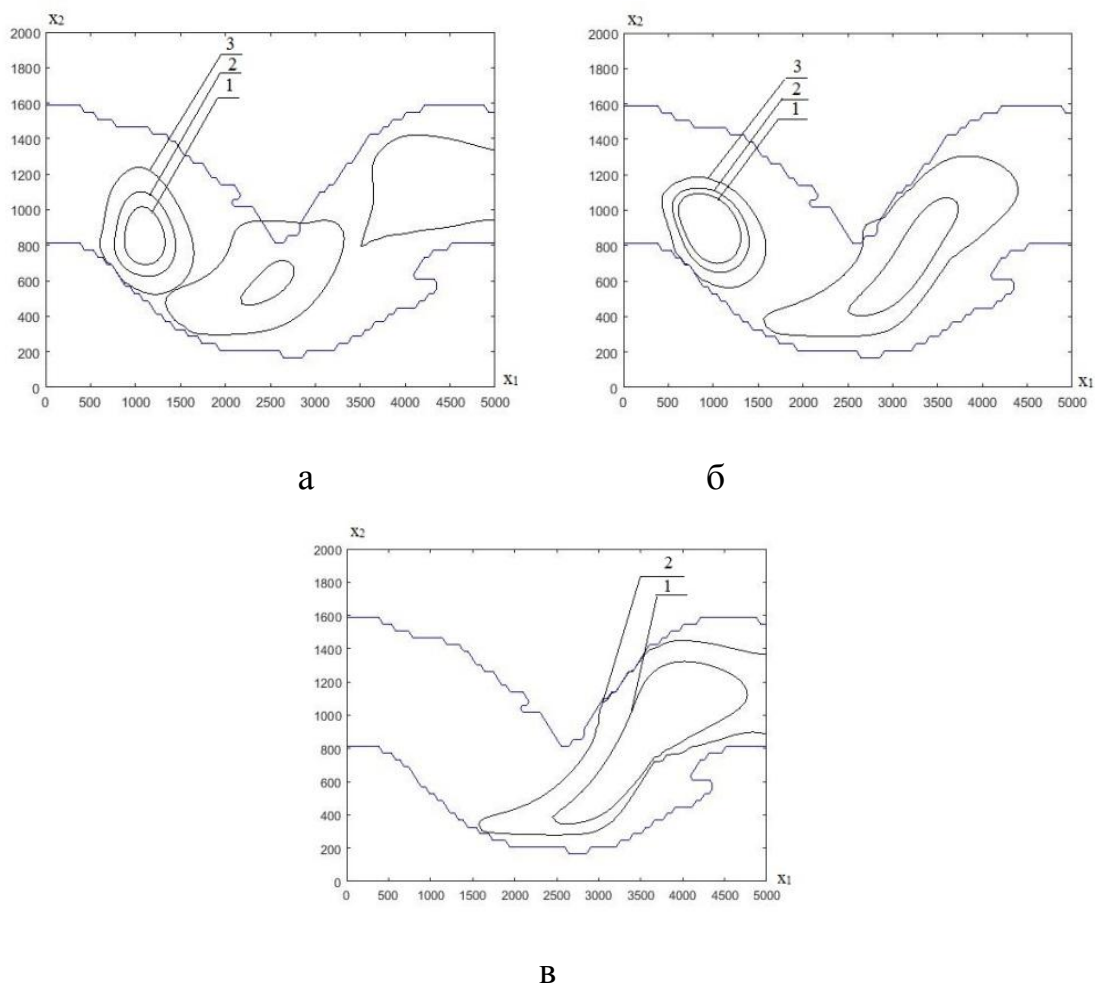
На рисунке 2.4(а, б, в) представлено распространение нефтяного загрязнения в зависимости от глубины реки. Источник выброса находится в центре русла, концентрация в окрестности источника выброса  $10 \text{ кг/м}^3$ , скорость течения  $0,33 \text{ м/с}$ .



**Рисунок 2.4 - Распространение нефтяного загрязнения в зависимости от глубины реки в различные моменты времени: а –  $h = 1 \text{ м}$ , б –  $h = 6 \text{ м}$ , в –  $h = 10 \text{ м}$**

При уменьшении глубины реки концентрация загрязнителя на более длительное время задерживается в окрестности источника выброса.

На рисунке 2.5 представлено распространения нефтяного загрязнения в зависимости от скорости течения реки. Средняя скорость течения составляет от 0,33 до 0,66 м/с, на перекатах 1,75 м/с. Источник выброса находится в центре русла, концентрация в окрестности источника выброса составляет  $10 \text{ кг/м}^3$ , глубина водоема составляет 8 м.



**Рисунок 2.5 - Распространение нефтяного загрязнения в зависимости от скорости течения реки в различные моменты времени: а –  $v = 0,33 \text{ м/с}$ , б –  $v = 0,66 \text{ м/с}$ , в –  $v = 1,75 \text{ м/с}$**

При увеличении скорости течения реки концентрация загрязнителя распространяется на большие расстояния от источника выброса.

### **3. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ**

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы по теме: «Математическое моделирование распространения загрязнения нефтепродуктами в водной среде» производился анализ работ различных ученых в области математического моделирования, были рассмотрены существующие математические модели, разработана математическая модель распространения нефтезагрязнения.

Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» представляет собой проектирование и создание конкурентоспособных разработок, технологий, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения. Данный раздел направлен на закрепление и углубление теоретических знаний и практических навыков в области экономики, организации и управления производством.

Целью раздела является анализ ресурсоэффективности программного обеспечения. Основные задачи заключаются в оценке перспективности использования программы и определения её экономической эффективности.

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

Основным сегментом данного рынка является создание программы. Применение программ для моделирования разлива нефти основано на экономической целесообразности и достаточной эффективности. Программное обеспечение Matlab обладает более широким интерфейсом и высокой скоростью исчислений. Следовательно, данная программа является наиболее востребованной на рынке.

Таблица 3.1 – Сегментирование рынка услуг

		Программа		
		Matlab	Octave	Genius
Размер компании	Крупная			
	Средняя			
	Мелкая			

### 3.2 Технология Quad

Технология QuaD (QUality ADvisor) – гибкий инструмент измерения характеристик, описывающих качество новой разработки и ее перспективность на рынке и позволяющие принимать решение целесообразности вложения денежных средств в научно-исследовательский проект.

Таблица 3.2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение (3/4)	Средневзвешенное значение (5x2)
Показатели оценки качества разработки					
1.Повышение производительности труда пользователя	0,09	100	100	1	0,09
2.Энергоэффективность	0,07	70	100	0,7	0,049
3.Надежность	0,08	60	100	0,6	0,048
4.Безопасность	0,09	100	100	1	0,09
5.Потребность в ресурсах памяти	0,06	70	100	0,7	0,042
6.Функциональная мощность	0,06	60	100	0,6	0,036
7.Простота эксплуатации	0,08	80	100	0,8	0,064
8.Качество интеллектуального интерфейса	0,08	70	100	0,7	0,056
Показатели оценки коммерческого потенциала разработки					
9.Конкурентоспособность продукта	0,05	30	100	0,3	0,015
10.Уровень проникновения на рынок	0,07	20	100	0,2	0,014
11.Цена	0,05	70	100	0,7	0,035
12.Предполагаемый срок эксплуатации	0,08	80	100	0,8	0,064
13.Послепродажное обслуживание	0,07	80	100	0,8	0,066
14.Финансирование научной разработки	0,04	20	100	0,2	0,008
15.Наличие сертификации разработки	0,03	30	100	0,3	0,09
Итого	1				0,767

Оценка качества и перспективности по технологии QuaD определяется по формуле:

$$P_{cp} = \sum B_i \times B_i \quad (29)$$

где  $P_{cp}$  – средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки;

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

$B_i$  – средневзвешенное значение  $i$ -го показателя.

$$P_{cp} = 0,09*0,09+0,049*0,07+0,048*0,08+0,09*0,09+0,042*0,06+ \\ +0,036*0,06+0,064*0,08+0,056*0,08+0,015*0,05+0,014*0,07+0,035*0,05+ \\ 0,064*0,08+0,066*0,07+0,008*0,04+0,09*0,03=76,7$$

Полученное значение  $P_{cp} = 76,7$  говорит о то, что перспективность разработки проведенного исследования является выше средней [8].

### 3.3 SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта [20].

Таблица 3.3 – Матрица SWOT

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии.</p> <p>С2. Экологичность технологии.</p> <p>С3. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями.</p> <p>С4. Удобства в использовании.</p> <p>С5. Актуальность проекта</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Невозможность точного расчета.</p> <p>Сл2. Отсутствие у потенциальных потребителей ЭВМ.</p> <p>Сл3. Отсутствие компании, которые хотели бы купить продукт.</p> <p>Сл4. Отсутствие опыта работы с программированием.</p> <p>Сл5. Большой срок проведения расчетов программой.</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Использование на любой ЭВМ.</p> <p>В2. Поддержание проекта министерством чрезвычайных ситуаций Томской области.</p> <p>В3. Появление дополнительного спроса на новый продукт</p> <p>В4. Низкие требования к вычислительным ресурсам ЭВМ.</p>	<p>Имея в наличии любую ЭВМ и хоть какой ни будь персонал, можно создать партнерские отношения с организациями мониторинга, а также получение финансирования от них. Получить дополнительный спрос на дешевый и эффективный продукт.</p>	<p>Проведение быстрого расчета и мгновенного результата.</p> <p>Испытания на местности для получения точных результатов.</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства</p> <p>У2. Развитая конкуренция технологий программы.</p> <p>У3. Ограничения на экспорт технологии</p> <p>У4. Невозможность учета всех параметров для точного расчёта.</p>	<p>Продвижение проекта с указанием на его достоинства.</p> <p>В дальнейшем планируется доработка программы для более точного расчета.</p>	<p>Испытание проектной разработки для увеличения учета параметров.</p> <p>Доказательство наибольшей эффективности, чем у конкурентов.</p>



Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта. Этап представлен в виде интерактивных матриц в таблицах 3.4, 3.5, 3.6, 3.7.

Таблица 3.4 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	+	0	+	+	0
	B2	+	0	+	+	0
	B3	0	+	+	+	0
	B4	+	+	0	+	0

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие сильных сторон и возможности: B1C1C3C4; B2C1C3C4; B3C2C4; B4C1C2C4.

Таблица 3.5 – Интерактивная матрица проекта

Слабые стороны проекта						
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	B1	+	+	-	0	+
	B2	+	+	0	+	+
	B3	+	+	+	0	-
	B4	0	+	0	+	+

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие слабых сторон и возможности: B1Сл1Сл2Сл5; B2Сл2Сл4Сл5; B3Сл5; B4Сл2Сл5.

Таблица 3.6 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	+	+	+	+	0
	У2	+	+	+	+	+
	У3	-	0	+	-	-
	У4	-	-	-	-	0

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие сильных сторон и угрозы: У1C1C2C3C4; У2C1C2C3C4C5; У3C3.

Таблица 3.7 – Интерактивная матрица проекта

Слабые стороны проекта						
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	У1	-	0	+	0	-
	У2	+	-	+	+	+
	У3	-	+	+	0	-
	У4	+	0	-	+	+

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие слабых сторон и угрозы: У1Сл3; У2Сл1Сл3Сл4Сл5; У3Сл2Сл3; У4Сл1Сл4Сл5.

### 3.4 Планирование научно-исследовательских работ

#### 3.4.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

1. Определение структуры работ в рамках научного исследования;
2. Определение участников каждой работы;
3. Установление продолжительности работ;
4. Построение графика проведения научных исследований.

В данном разделе необходимо составить перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, провести распределение исполнителей по видам работ. Примерный порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 3.8 [20].

Таблица 3.8 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб.	Содержание работ	Должность исполнителя
Создание темы проекта	1	Составление и утверждение темы проекта	Научный руководитель
	2	Анализ актуальности темы	
Выбор направления исследования	3	Поиск и изучение материала по теме	Студент
	4	Выбор направления исследований	Научный руководитель, студент
	5	Календарное планирование работ	
Теоретические исследования	6	Изучение литературы по теме	Студент
	7	Подбор нормативных документов	
Практические исследования	9	Составление сравнительной таблицы	Студент
	10	Проведение расчетов по теме	
Оценка полученных результатов	12	Оценка и анализ полученных результатов	Студент
	13	Эффективность предложенных идей	Научный руководитель, студент

### 3.4.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения, ожидаемого (среднего) значения трудоемкости используется следующая формула:

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{mini}} + 2t_{\text{max}i}}{5} \quad (30)$$

где,

$t_{\text{ож}i}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы чел.-дн.;

$t_{\text{mini}}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\max i}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-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 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i} \quad (31)$$

где,

$T_{pi}$  – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожi}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

$Ч_i$  – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, человек [20].

### 3.4.3 Разработка графика проведения научного исследования

Наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта. Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ. Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}} \quad (32)$$

где,

$T_{ki}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в календарных днях;

$T_{pi}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется следующим образом:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} \quad (33)$$

где,

$T_{\text{кал}}$  – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$  – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$  – количество праздничных дней в году.

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе  $T_{ki}$  необходимо округлить до целого числа. Все рассчитанные значения необходимо свести в таблицу (таблица 3.9).

Таблица 3.9– Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работ									Исполнители	Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$			Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$		
	$t_{min}$ , чел-дни			$t_{max}$ , чел-дни			$t_{ожи}$ , чел-дни				Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3							
Составление и утверждение темы ВКР	1	2	3	3	4	4	2	3	3	Студент и научный руководитель	1	1	1	1	1	1
Анализ актуальности темы	2	1	2	3	2	3	2	1	2	Студент и научный руководитель	1	1	1	1	1	1
Постановка задач	1	2	2	2	3	4	1	2	3	Студент и научный руководитель	1	2	2	1	3	3
Определение, этапов и сроков написания ВКР	3	2	4	3	3	5	3	2	4	Студент, научный руководитель	1	1	2	1	1	3
Анализ литературы по тематике работы	3	5	4	7	5	6	5	5	5	Студент	5	5	5	7	7	7
Сбор материалов и выбор одного из существующих методов программирования	7	10	12	10	15	15	8	12	13	Студент	8	12	13	12	18	19
Анализ конкурентных методик	3	6	6	7	9	11	5	7	8	Студент	5	7	8	7	10	12
Проведение расчетов по теме	17	8	10	20	10	15	18	9	12	Студент	18	9	12	26	13	18
Анализ полученных результатов	5	4	5	7	6	9	6	5	7	Студент	6	5	7	9	7	10
Выводы по проекту	4	2	7	5	3	8	4	2	7	Студент, научный руководитель	2	1	4	3	1	6

Таблица 3.10 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№ работ	Вид работ	Исполнители	$T_{ki}$ кал. дн.	Продолжительность выполнения работ												
				февраль		март			апрель			май			июнь	
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1	Составление и утверждение темы ВКР	Студент и научный руководитель	1													
2	Анализ актуальности темы	Студент и научный руководитель	1													
3	Постановка задач	Студент и научный руководитель	3													
4	Определение, этапов и сроков написания ВКР	Студент и научный руководитель	3													
5	Анализ литературы по тематике работы	Студент	7													
6	Сбор материалов и выбор одного из существующих методов программирования	Студент	19													
7	Анализ конкурентных методик	Студент	12													
8	Проведение расчетов по теме	Студент	26													
9	Анализ полученных результатов	Студент	10													
10	Выводы по проекту	Студент и научный руководитель	6													



–



–

### 3.4.4 Бюджет научно-технического исследования (нти)

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

1. Материальные затраты НТИ;
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
3. Основная заработная плата исполнителей темы;
4. Дополнительная заработная плата исполнителей темы;
5. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
6. Затраты научные и производственные командировки;
7. Контрагентные расходы;
8. Накладные расходы [20].

#### 3.4.4.1 Расчет материальных затрат нти

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$З_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m Ц_i \cdot N_{\text{расхи}} \quad (34)$$

где,

$m$  – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{\text{расхи}}$  – количество материальных ресурсов  $i$ -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м<sup>2</sup> и т.д.);

$Ц_i$  – цена приобретения единицы  $i$ -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м<sup>2</sup> и т.д.);

$k_T$  – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы (15%).



Таблица 3.11 – Материальные затраты

Наименование	Ед. изм.	Количество			Цена за ед., руб.			Затраты на материалы, (З <sub>м</sub> ), руб.		
		Matlab	Octave	Genius	Matlab	Octave	Genius	Matlab	Octave	Genius
Бумага	Лист.	300	250	320	2,50	2,50	3	750	625	960
Картридж	Шт.	1	1	2	1000	1200	1000	1000	1200	2000
Доп. литература	Шт.	1	1	1	130	200	160	130	200	160
ИТОГО								1880	2025	3120

### 3.4.4.2 Основная заработная плата исполнителей темы

Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада. Расчет основной заработной платы сводится в табл. 12.

Основная заработная плата исполнителей, непосредственно участвующих в проектировании разработки:

$$C_{осн/зн} = \sum t_i \cdot C_{зн_i} \quad (35)$$

где,

$t_i$  – затраты труда, необходимые для выполнения  $i$ -го вида работ, в рабочих днях;

$C_{зн_i}$  – среднедневная заработная плата работника, выполняющего  $i$ -ый вид работ, (руб./день).

Среднедневная заработная плата определяется по формуле:

$$C_{зн_i} = \frac{D + D \cdot K}{F} \quad (36)$$

где,

$D$  - месячный оклад работника (в соответствии с квалификационным уровнем профессиональной квалификационной группы);

$K$  - районный коэффициент (для Томска – 30%);

$F$  – количество рабочих дней в месяце (в среднем 22 дня).

Таблица 3.12 – Расчет основной заработной платы

Исполнитель	Оклад, руб.	Средняя заработная плата, руб./дн.	Трудоемкость, раб. дн.			Основная заработная плата, руб.		
			Matlab	Octave	Genius	Matlab	Octave	Genius
Руководитель	16751,29	989,8	6	6	10	5938,8	5938,8	9898
Студент	6976,22	412,2	48	44	55	19785,6	18136,8	22671
ИТОГО						25724,4	24075,6	32569

### 3.4.4.3 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} \quad (37)$$

где,

$k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

Таблица 3.13 – Расчет дополнительной заработной платы

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.			Коэффициент дополнительной заработной платы	Дополнительная заработная плата, руб.		
	Matlab	Octave	Genius		Matlab	Octave	Genius
Руководитель	5938,8	5938,8	9898	0,15	890,8	890,8	1484,7
Студент	19785,6	18136,8	22671		2967,8	2720,5	3400,6
ИТОГО					3858,6	3611,3	4885,3

### 3.4.4.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}) \quad (38)$$

где,

$k_{внеб}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

Отчисления во внебюджетные фонды рекомендуется представлять в табличной форме (таблица 3.14).

Таблица 3.14 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.			Дополнительная заработная плата, руб.		
	Matlab	Octave	Genius	Matlab	Octave	Genius
Руководитель проекта	5938,8	5938,8	9898	890,8	890,8	148,7
Студент-дипломник	197,85,6	181,36,8	22,671	296,7,8	272,0,5	340,0,6
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271					
Итого						
Исполнение 1	8016,9					
Исполнение 2	7503,1					
Исполнение 3	10150,1					

### 3.4.4.5 Накладные расходы

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:

$$З_{накл} = (\text{сумма статей } 1 \div 7) \cdot k_{нр} \quad (39)$$

где,

$k_{\text{нр}}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 50%.

$$З_{\text{накл(исп1)}} = (2986 + 25724,4 + 3858,6 + 8016,9) \times 0,5 = 20292,95$$

$$З_{\text{накл(исп2)}} = (3215 + 24075,6 + 3611,3 + 7503,1) \times 0,5 = 19202,5$$

$$З_{\text{накл(исп1)}} = (2960 + 32569 + 4885,3 + 10150,1) \times 0,5 = 25282,2$$

### 3.4.4.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 3.15.

Таблица 3.15 – Расчет бюджета затрат НИТ

Наименование статьи	Сумма, руб.		
	Matlab	Octave	Genius
1. Материальные затраты НИТ	1880	2025	3120
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	25724,4	24075,6	32569
3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	3858,6	3611,3	4885,3
4. Отчисления во внебюджетные фонды	8016,9	7503,1	10150,1
5. Накладные расходы	19739,9	18607,5	25362,2
6. Бюджет затрат НИТ	59219,8	55822,5	76086,6

Минимальный бюджет НИТ представлен компанией “Octave” и составляет 55822,5 рублей.

### 3.5 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} \quad (40)$$

где,

$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$  – интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_{pi}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;

$\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля).

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}1} = \frac{59219,8}{76086,6} = 0,8; \quad I_{\text{финр}}^{\text{исп.}2} = \frac{55822,5}{76086,6} = 0,7; \quad I_{\text{финр}}^{\text{исп.}3} = \frac{76086,6}{76086,6} = 1;$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i \quad (41)$$

где,

$I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности для  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$b_i^a, b_i^p$  – балльная оценка  $i$ -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

$n$  – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы (таблица 3.16).

Таблица 3.16 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Matlab	Octave	Genius
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	5	4	3
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	5	3	2
3. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,15	5	4	4
4. Энергосбережение	0,20	3	4	3
5. Надежность	0,25	4	5	2
6. Качество интеллектуального интерфейса	0,15	5	4	4
ИТОГО	1	4,35	4,1	2,9

$$I_{p-исн1} = 5*0,1 + 5*0,15 + 5*0,15 + 3*0,2 + 4*0,25 + 5*0,15 = 4,35;$$

$$I_{p-исн2} = 4*0,1 + 3*0,15 + 4*0,15 + 4*0,2 + 5*0,25 + 4*0,15 = 4,1;$$

$$I_{p-исн3} = 3*0,1 + 2*0,15 + 4*0,15 + 3*0,2 + 2*0,25 + 4*0,15 = 2,9.$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения

разработки ( $I_{исн.i}$ ) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исн.1} = \frac{I_{p-исн1}}{I_{финр.1}} \quad (42)$$

$$I_{исн.1} = \frac{4,35}{0,8} = 5,4; \quad I_{исн.2} = \frac{4,1}{0,7} = 5,8; \quad I_{исн.3} = \frac{2,9}{1} = 2,9$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность

проекта (таблица 3.16) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных.

Сравнительная эффективность проекта ( $\mathcal{E}_{cp}$ ):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}} \quad (43)$$

Таблица 18 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Matlab	Octave	Genius
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,8	0,7	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,3 5	4,1	2,9
3	Интегральный показатель эффективности	5,4	5,8	2,9
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	0,9	1	0,5

В результате проделанного анализа экономической эффективности было проведено сегментирование рынка, по результатам которого были выбраны наиболее перспективные сегменты. Анализ качества и перспективности данной разработки показал, что она является весьма перспективной, средневзвешенное значение показателя качества и перспективности составило 76,7%.

В ходе выполнения работы был составлен перечень этапов и работ, а также распределены исполнители. В качестве исполнителей выступили: научный руководитель и студент. А также был составлен календарный план-график проведения НИОКР, на котором представлены временные интервалы выполнения различных этапов работ.

Был произведен расчет материальных затрат, минимальные затраты составили 1880 рублей (Matlab). А также произведен расчет основной и дополнительной заработной платы, отчислений во внебюджетные фонды и расчет накладных расходов. По результатам расчетов получили, что минимальный бюджет НТИ составил 55822,5 рубля (Octave).

Были рассчитаны интегральные финансовые показатели разработок, интегральные показатели ресурсоэффективности и сравнительная эффективность различных компаний.



## **4. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ**

Выпускная квалификационная работа представляет собой математическое моделирование разлива нефтепродуктов в водной среде. Работа предполагает применение электронно-вычислительной машины, персонального компьютера. Во время работы сотруднику требуются значительные затраты умственной, эмоциональной и физической энергии. В связи с этим, необходимо оптимизировать условия труда сотрудника и регламентировать режим работы и отдыха. Меры по охране труда при работе с персональным компьютером должны носить комплексный характер и включать в себя полный спектр работ, направленных на ликвидацию вредных и опасных факторов.

В данном разделе рассматриваются следующие вопросы:

1. Организация рабочего места пользователя ЭВМ;
2. Анализ вредных и опасных факторов;
3. Определение оптимальных условий труда.

### **4.1 Производственная безопасность**

#### **4.1.1 Анализ вредных факторов проектируемой производственной среды**

На работника, офисного помещения действуют следующие вредные и опасные производственные факторы:

1. Освещенность;
2. Шум;
3. Микроклимат;
4. ЭМИ.

Таблица 4.1 – Вредные производственные факторы и нормативные документы, определяющие их нормирование

Вредные производственные факторы	Нормативные документы
1.1 Освещение	1) СанПиН 2.2.1/2.1.1278-03 «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий» 2) СНиП 23-05-95 "Естественное и искусственное освещение"
1.2 Шум	3) ГОСТ 12.1.003-14 Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности 4) СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки» 5) Закон РСФСР «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» от 19.04.91.
1.3 Микроклимат	6) СанПиН 2.2.4.548-96 «Санитарные правила и нормы. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений»
1.4 ЭМИ	7) СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы».

#### 4.1.1.1 Освещенность

К вредным факторам относят искусственное освещение, которое обеспечивается электрическими источниками света и применяется для работы в

темное время суток, и днем при недостаточном естественном освещении. Источниками света при искусственном освещении являются газоразрядные лампы низкого и высокого давления и лампы накаливания. Плохое освещение снижает работоспособность, может привести к возникновению травм и ухудшению здоровья. Рабочее место должно быть освещено достаточно и равномерно. Освещение не должно ослеплять и образовывать резкие тени на рабочих местах. Существует три вида освещения - естественное, искусственное и совмещенное (естественное и искусственное вместе).

Зрительные работы в лаборатории корпуса относятся к работам высокой точности (3 разряд). Согласно СНиП 23-05-95\* «Естественное и искусственное освещение» освещенность при системе комбинированного освещения должна составлять 750 лк, а при системе общего освещения 300 лк. Коэффициент пульсации не должен превышать 15 % [21].

Для производственных помещений всех назначений применяются системы общего (равномерного или локализованного) и комбинированного (общего и местного) освещения. Выбор между равномерным и локализованным освещением проводится с учётом особенностей производственного процесса и размещения технологического оборудования. Система комбинированного освещения применяется для производственных помещений, в которых выполняются точные зрительные работы. Применение одного местного освещения на рабочих местах не допускается.

Источники света, применяемые для искусственного освещения, делят на две группы – газоразрядные лампы и лампы накаливания. Для общего освещения, как правило, применяются газоразрядные лампы как энергетически более экономичные и обладающие большим сроком службы. Наиболее распространёнными являются люминесцентные лампы. По спектральному составу видимого света различают лампы дневного света (ЛД), дневного света с улучшенной цветопередачей (ЛДЦ), холодного белого (ЛХБ), тёплого белого (ЛТБ) и белого цвета (ЛБ). Наиболее широко применяются лампы типа ЛБ. При повышенных требованиях к передаче цветов освещением применяются лампы

типа ЛХБ, ЛД, ЛДЦ. Лампа типа ЛТБ применяется для правильной цветопередачи человеческого лица.

Кроме люминесцентных газоразрядных ламп (низкого давления) в производственном освещении применяют газоразрядные лампы высокого давления, например, лампы ДРЛ (дуговые ртутные люминесцентные) и другие, которые необходимо использовать для освещения более высоких помещений (6-10 м). Использование ламп накаливания допускается в случае невозможности или технико-экономической нецелесообразности применения газоразрядных ламп.

При выборе типа светильников следует учитывать светотехнические требования, экономические показатели, условия среды. Наиболее распространёнными типами светильников для люминесцентных ламп являются: Открытые двухламповые светильники типа ОД, ОДОР, ШОД, ОДО, ООД – для нормальных помещений с хорошим отражением потолка и стен, допускаются при умеренной влажности и запылённости. Светильник ПВЛ – является пылевлагозащищённым, пригоден для некоторых пожароопасных помещений: мощность ламп 2x40 Вт.

Плафоны потолочные для общего освещения закрытых сухих помещений:

Л71Б03 – мощность ламп 10x30 Вт;

Л71Б84 – мощность ламп 8x40 Вт.

#### **4.1.1.2 Шум**

Шум представляет собой сочетание множества звуков, которые распространяются в пространстве благодаря волнообразным колебаниям источника звука. Это называется распространением звуковой волны, которое постепенно затухает при расходовании энергии на распространение в среде. От величины энергии источника звука зависит сила звука, оцениваемая звуковым давлением, которое измеряется в ньютонах на квадратный метр ( $\text{Н/м}^2$ ).

Воздействие шума на организм человека вызывает негативные изменения, прежде всего в органах слуха, нервной и сердечно-сосудистой системах. Степень выраженности этих изменений зависит от параметров шума, стажа работы в условиях воздействия шума, длительности действия шума в течение рабочего дня, индивидуальной чувствительности организма. Действие шума на организм человека отягощается вынужденным положением тела, повышенным вниманием, нервно-эмоциональным напряжением, неблагоприятным микроклиматом. Лаборатория оснащена системой вентиляции.

Работа системы вентиляции сопровождается шумом. В лаборатории шум превышающий уровень звука и эквивалентный уровень звука 60 дБА отсутствует [22]. Лаборатория находится вдали от центральных улиц, автомобильных и железных дорог, аэропортов.

В качестве средств индивидуальной защиты от негативного воздействия шума используют беруши, наушники или защитные костюмы. Средства коллективной защиты подразумевают под собой изменение направления излучения шума, рациональную планировку лаборатории и применение звукоизоляции.

#### **4.1.1.3 Микроклимат**

Микроклимат производственных помещений - это метеорологические условия внутренней среды помещений, которые определяются действующими на организм человека сочетаниями температуры, влажности, скорости движения воздуха и теплового излучения; комплекс физических факторов, оказывающих влияние на теплообмен человека с окружающей средой, на тепловое состояние человека и определяющих самочувствие, работоспособность, здоровье и производительность труда. Показатели микроклимата: температура воздуха и его относительная влажность, скорость

его движения, мощность теплового излучения рассчитываются, используя категории работ по энергозатратам.

В таблице 4.2 предоставлены нормативы микроклимата СанПиН 2.2.4.548-96 «Санитарные правила и нормы. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений»[23].

Таблица 4.2 – Допустимые нормы микроклимата в рабочей зоне

Период года	Температура воздуха, °С		Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с	
	оптимальная	допустимая		оптимальная, не более	допустимая, не более
Холодный	20,0—21,9	24,1—25	15—75	0,1	0,1
Теплый	21—22,9	25,1—28	15—375	0,1	0,2

В целях профилактики неблагоприятного воздействия микроклимата в холодный период года оптимальные значения обеспечиваются системой отопления, в теплый период года – системами вентиляции и кондиционирования. В качестве средств индивидуальной защиты в холодный период год необходимо использовать специальную одежду.

#### 4.1.1.4 Электромагнитные излучения

При длительном постоянном воздействии электромагнитного поля (ЭМП) радиочастотного диапазона на организм человека наблюдаются нарушения сердечнососудистой, дыхательной и нервной систем, характерны головная боль, утомляемость, ухудшение самочувствия, изменение проводимости сердечной мышцы.

Электромагнитное поле, создаваемое персональным компьютером, имеет сложный спектральный состав в диапазоне частот от 0 Гц до 1000 МГц. Мощность экспозиционной дозы мягкого рентгеновского излучения в любой точке на расстоянии 0,05 м от экрана при любых положениях ПК не должна превышать 100 мкР/ч. Время работы на персональном компьютере по санитарным нормам не должно превышать 4 часа. Данное воздействие не видно глазу, что затрудняет своевременно отреагировать на изменения. Действия по улучшению условий труда будут предприняты либо во время проверок, либо после обнаружения ухудшения состояния здоровья работника.

Электромагнитные поля, создаваемые персональными компьютерами, соответствуют нормам, прописанные в СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы». В таблице 4.3 приведены допустимые уровни ЭМП, которые соответствуют технике в кабинете [24].

Таблица 4.3 – Временные допустимые уровни ЭМП, создаваемых ПК

Наименование параметров		ВДУ ЭМП
Напряженность электрического поля	В диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	25 В/м
	В диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	В диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	250 нТл
	В диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц	25 нТл
Электростатический потенциал экрана видеомонитора		500 В

Среди средств защиты от ЭМИ выделяют следующие: организационные мероприятия: инженерно-технические мероприятия; лечебно-профилактические мероприятия. В качестве инженерно – технических методов применяются экранирующие устройства, ослабители мощности, согласованные нагрузки и средства индивидуальной защиты. Организационные мероприятия включают в себя: требования к персоналу, рациональная расстановка оборудования, ограничение работы оборудования, защита расстоянием. В качестве лечебно – профилактических мероприятий проводят предварительный и периодический медицинский контроль над состоянием здоровья, а также мероприятий по повышению устойчивости организма к ЭМИ.

#### 4.1.2 Анализ опасных факторов проектируемой производственной среды

Опасные факторы:

- 1) Электрический ток.

Опасный фактор производства	Нормативные документы
2.1 Электрический ток	1) ГОСТ 12.1.038-82 «Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов»

#### 4.1.2.1 Электрический ток

Согласно классификации помещений по опасности поражения людей электрическим током, кабинет является «помещением без повышенной опасности поражения людей электрическим током», так как характеризуется отсутствием условий, создающих повышенную или особую опасность [25].

ГОСТ 12.1.038-82 устанавливает предельно допустимые напряжения и токи, протекающие через тело человека при нормальном (неаварийном) режиме работы электроустановок производственного и бытового назначения постоянного и переменного тока частотой 50 и 400 Гц. Для переменного тока 50 Гц допустимое значение напряжения прикосновения составляет 2 В, а силы тока — 0,3 мА, для тока частотой 400 Гц — соответственно 2 В и 0,4 мА; для постоянного тока — 8 В и 1,0 мА (эти данные приведены для продолжительности воздействия не более 10 мин в сутки).

В ПЭВМ разрядные токи статического электричества чаще всего возникают при прикосновении к любому из элементов. Такие разряды могут привести к выходу из строя ПЭВМ. Для снижения величины возникающих зарядов статического электричества в помещениях вычислительных центров покрытие технологических полов следует выполнять из однослойного поливинилхлоридного линолеума. Другим методом защиты является нейтрализация заряда ионизированным газом. К общим мерам защиты от статического электричества в вычислительных центрах можно отнести общее и местное увлажнение воздуха. В промышленности широко применяются радиоактивные нейтрализаторы.

Согласно правилам устройства электроустановок, помещение, в котором проводятся работы, относятся к помещениям без повышенной опасности ПУЭ (7-е) издание раздел 2.4., так как помещение сухое с нормальной температурой воздуха и изолированными полами.



Для исключения поражения электрическим током запрещается:

1. Часто включать и выключать компьютер без необходимости;
2. Прикасаться к экрану и к тыльной стороне блоков компьютера;
3. Работать на средствах вычислительной техники и периферийном оборудовании мокрыми руками;
4. Работать на средствах вычислительной техники и периферийном оборудовании, имеющих нарушения целостности корпуса, нарушения изоляции проводов;
5. Неисправную индикацию включения питания, с признаками электрического напряжения на корпусе;
6. Класть на средства вычислительной техники и периферийное оборудование посторонние предметы;
7. Запрещается под напряжением очищать от пыли и загрязнения электрооборудование;
8. Запрещается проверять работоспособность электрооборудования в непригодных для эксплуатации помещениях с токопроводящими полами, сырых, не позволяющих заземлить доступные металлические части;
9. При обнаружении неисправности немедленно обесточить электрооборудование. Продолжение работы возможно только после устранения неисправности;
10. При обнаружении оборвавшегося провода необходимо немедленно принять меры по исключению контакта с ним людей. Прикосновение к проводу опасно для жизни;
11. Во всех случаях поражения человека электрическим током немедленно вызывают врача;
12. До прибытия врача нужно, не теряя времени, приступить к оказанию первой помощи пострадавшему [26].

## **4.2 Экологическая безопасность**

### **4.2.1 Охрана атмосферного воздуха от загрязнения**

По данным исследований, обыкновенные персональные компьютеры загрязняют окружающую среду не хуже автомобилей. Работающий компьютер деионизирует окружающую среду и уменьшает влажность воздуха. Ученые подсчитали, что сейчас, когда человечество выбрасывает в атмосферу огромное количество углекислого газа, 2 % всех выбросов приходится на электронику. Когда серверу приходится работать, в окружающую среду выделяется очень большое количество тепла и углекислого газа.

В первую очередь, необходимо повышать качество персональных компьютеров, за счёт установки на них нового программного обеспечения. Таким образом, материнские платы, мощные блоки и сервера, затрачивая меньшее количество энергии, будут обеспечивать большую производительность, что должно привести к снижению темпов роста выбросов углекислоты. Также необходимо использовать более эффективные источники питания и использовать менее мощные компоненты системы [27].

### **4.2.2 Охрана литосферы. Твердые бытовые отходы**

Как и на любом производственном объекте, мусор в офисах формируется, исходя из специфики работы. Так же, как для строительных площадок характерен строительный мусор и отходы, для жилых домов твердые бытовые отходы, так для офисов отходы формируются в основном из бумаги, оберточных материалов, продуктов жизнедеятельности офисных работников. Так как многие сотрудники проводят в офисе большую часть своего времени, среди отходов встречаются пластиковая одноразовая посуда, остатки пищи, пластиковые бутылки и алюминиевые банки. Иногда этих отходов больше, чем бумажных отходов.

Деление отходов на отдельные классы опасности для окружающей природной среды установлено Федеральным классификационным каталогом отходов, утвержденным приказом Министерства природных ресурсов РФ от 2 декабря 2002 г. № 786, и «Критериями отнесения опасных отходов к классу опасности для окружающей природной среды», утвержденными приказом Министерства природных ресурсов РФ от 15 июня 2001 г. № 511.

Наименее опасными считаются так называемые практически неопасные отходы. Кроме них существуют только более опасные: малоопасные, умеренно опасные, высокоопасные и, наконец, чрезвычайно опасные.

Инвентаризация отходов с офисных помещений:

Ртутные лампы, люминесцентные ртутьсодержащие трубки, отработанные отходы стекла с нанесенным люминофором (мониторы от компьютеров), стеклянный бой незагрязненный (исключая бой стекла электронно-лучевых трубок и люминесцентных ламп), картриджи, лом медных сплавов несортированный (тоже от компьютеров), отходы бумаги и картона от канцелярской деятельности и делопроизводства и плюс отходы от автотранспорта, если есть на балансе [28].

### **4.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

К возможным чрезвычайным ситуациям относительно офисного помещения можно отнести: пожар, удар молнии, террористические акты, наводнения, ураганы и т.д.

Рассмотрим наиболее вероятные из них.

#### **4.3.1 Пожар**

Наиболее вероятной чрезвычайной ситуацией в помещениях общественного назначения, где находится рабочее место оператора, может являться пожар и вероятность поражения электрическим током.

Пожар – это вышедший из-под контроля процесс горения, уничтожающий материальные ценности и создающий угрозу жизни и здоровью людей. Основными причинами пожара являются: неисправности в электрических сетях, нарушение технологического режима и мер пожарной безопасности (курение, разведение открытого огня, применение неисправного оборудования и т.п.). Основными опасными факторами пожара являются тепловое излучение, высокая температура, отравляющее действие дыма (продуктов сгорания: окиси углерода и др.) и снижение видимости при задымлении. Критическими значениями параметров для человека, при длительном воздействии указанных значений опасных факторов пожара, являются: температура – 70° С; плотность теплового излучения – 1,26 кВт/м<sup>2</sup>; концентрация окиси углерода – 0,1 % объема; видимость в зоне задымления – 6-12 м.

Для исключения возможности возникновения пожара в рабочем помещении, необходимо систематически проверять целостность изоляционных покрытий электрических проводок, осуществлять курение только в специально отведенных местах. Согласно № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» аудитория корпуса имеет класс функциональной пожарной опасности Ф5.1[29]. В соответствии с ГОСТ 12.1.004-91 тушение пожаров предусматривает использование средств и снаряжения пожаротушения. Для пожаротушения в аудитории корпуса может быть использован углекислотный огнетушитель.

Так как пожарная нагрузка офисных помещений относительно мала, то их относят к категории В4 по пожарной опасности. Требования по обеспечению пожарной безопасности регламентируются ГОСТ 12.1.004-91. Помещение постоянно должно содержаться в чистоте и систематически очищаться от отходов производства. В зависимости от категории установлены соответствующие нормативы по огнестойкости строительных конструкций, планировке зданий, этажности, оснащенности устройствами противопожарной

защиты и др. Особые требования предъявляются к устройству и размещению кабельных коммуникаций.

В число предупредительных мероприятий могут быть включены мероприятия, направленные на устранение причин, которые могут вызвать пожар, на ограничение (локализацию) распространения пожаров, создание условий для эвакуации людей и имущества при пожаре, своевременное обнаружение пожара и оповещение о нем, тушение пожара, поддержание сил ликвидации пожаров в постоянной готовности.

Содержание оборудования, особенно энергетических сетей, в исправном состоянии позволяет, в большинстве случаев, исключить причину возгорания. Своевременное обнаружение пожара может достигаться оснащением производственных и бытовых помещений системами автоматической пожарной сигнализации или, в отдельных случаях, с помощью организационных мер. Первоначальное тушение пожара (до прибытия вызванных сил) успешно проводится на тех объектах, которые оснащены автоматическими установками тушения пожара.

При обнаружении возгорания действовать необходимо быстро, используя все доступные способы для тушения огня. Если потушить огонь в кратчайшее время невозможно, вызовите пожарную охрану организации (при её наличии) или города. При эвакуации горящие помещения и задымленные места проходить следует быстро, задержав дыхание, защитив нос и рот влажной плотной тканью. В сильно задымленном помещении передвигаться следует ползком или пригнувшись.

#### **4.3.2 Молниезащита**

Молния представляет собой заряд атмосферного электричества. Молниезащита - это комплекс мероприятий, обеспечивающих безопасность людей, сохранность сооружений и оборудования от зарядов атмосферного статического электричества.

Прямой удар молнии является наиболее опасным и является причиной пожаров и взрывов, вызывает местные разрушения у сооружений из кирпича и бетона. Канал молнии имеет температуру 20 000° и выше. Сила тока в канале достигает 200 000А, напряжение 150 000 000В.

Согласно классификации объектов, офисное помещение относится к обычным объектам, 3 категория молниезащиты. Удар молнии может привести к отказу электроснабжения, системы пожарной сигнализации, потери средств связи, сбой работы компьютеров с потерей данных.

Комплекс средств молниезащиты зданий или сооружений включает в себя устройства защиты от прямых ударов молнии и устройства защиты от вторичных воздействий молнии. В частных случаях молниезащита может содержать только внешние или только внутренние устройства. В общем случае часть токов молнии протекает по элементам внутренней молниезащиты. Внешняя МЗС может быть изолирована от сооружения (отдельно стоящие молниеотводы - стержневые или тросовые, а также соседние сооружения, выполняющие функции естественных молниеотводов), или может быть установлена на защищаемом сооружении и даже быть его частью. Внутренние устройства молниезащиты предназначены для ограничения электромагнитных воздействий тока молнии и предотвращения искрений внутри защищаемого объекта. Токи молнии, попадающие в молниеприемники, отводятся в заземлитель через систему токоотводов (спусков) и растекаются в земле [30].

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

##### **4.4.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства**

Руководствуясь трудовым законодательством, режим труда и отдыха предусматривают с учетом специфики труда всех работающих, в первую очередь обеспечивают оптимальные режимы работающих, с повышением

физическими и нервно-эмоциональными нагрузками, в условиях монотонности и с воздействием опасных и вредных производственных факторов.

Нормальная продолжительность рабочего времени сотрудников не может превышать 40 часов в неделю. Основным режимом работы является пятидневная рабочая неделя с двумя выходными днями. При пятидневной рабочей неделе продолжительность ежедневной работы определяется правилами внутреннего трудового распорядка или графиками сменности, составляемыми с соблюдением установленной продолжительности рабочего рабочей недели и утверждаемыми администрацией по согласованию с профсоюзным комитетом. В течение рабочего дня (смены) работнику должен быть предоставлен перерыв для отдыха и питания продолжительностью не более двух часов и не менее 30 минут, который в рабочее время не включается.

На работах с вредными условиями труда работникам бесплатно выдаются прошедшие обязательную сертификацию или декларирование соответствия специальная одежда, специальная обувь и другие средства индивидуальной защиты.

Санитарно-бытовое обслуживание и медицинское обеспечение работников в соответствии с требованиями охраны труда возлагается на работодателя. В этих целях работодателем по установленным нормам оборудуются санитарно-бытовые помещения, помещения для приема пищи, помещения для оказания медицинской помощи, комнаты для отдыха в рабочее время и психологической разгрузки; организуются посты для оказания первой помощи, укомплектованные аптечками для оказания первой помощи [31].

#### **4.4.2 Организационные мероприятия по компоновке рабочей зоны**

Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 рабочее место по отношению к световым проемам должно располагаться таким образом, чтобы естественный свет падал преимущественно слева. Оконные проемы должны быть оборудованы регулируемыми устройствами, например, жалюзи [32].

Конструкция рабочего стола должна обеспечивать оптимальное размещение на рабочей поверхности оборудования. Конструкция рабочего стула должна обеспечивать поддержание рациональной рабочей позы при работе, позволять изменять позу с целью снижения статического напряжения мышц шейно-плечевой области и спины для предупреждения развития утомления. Рабочий стул должен быть подъемно-поворотным, регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а также расстоянию спинки от переднего края сиденья. При этом регулировка каждого параметра должна быть независимой, легко осуществляемой и иметь надежную фиксацию. Поверхности сиденья, спинки и других элементов стула должны быть полумягкими, с нескользящим, слабо электризующимся и воздухопроницаемым покрытием, обеспечивающим легкую очистку от загрязнений.

Согласно СП 1.13130.2009 Свод правил с системы противопожарной защиты при работе в сидячем положении рекомендуются следующие параметры рабочего места:

1. ширина - не менее 700 мм;
2. высота рабочей поверхности - 700 мм над уровнем пола.

Под рабочей поверхностью должно быть предусмотрено пространство для ног:

1. высота - не менее 650 мм;
2. ширина - не менее 500 мм;
3. глубина - не менее 650 мм.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе были исследованы основные свойства нефти, влияющие на распространение загрязнения, разработана физико-математическая постановка задачи о распространении нефтяного пятна в водотоке. Также разработана математическая модель распространения нефтяного загрязнения в водной среде. Данная модель была разработана на примере реки Томь. В результате численных расчетов были получены распределения скорости, температуры, концентраций компонентов загрязняющих примесей в различные моменты времени.

Было выяснено что, при расположении источника загрязнения вблизи береговой линии концентрация загрязнителя распространяется медленнее вдоль берега, при расположении источника загрязнителя в центре русла реки концентрация распространяется с большей скоростью и примесь переносится на большие расстояния. Также при уменьшении глубины реки концентрация загрязнителя на более длительное время задерживается в окрестности источника выброса, а при увеличении скорости течения реки концентрация загрязнителя распространяется на большие расстояния от источника выброса.

Таким образом, были выполнены поставленные задачи.

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ

1. Карташова А.Д. Численное решение задачи о распространении загрязнения в реке./ Экология и безопасность в техносфере: современные проблемы и пути решения : сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов / Юргинский технологический институт. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2017. – 448с.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. About Marine Spills. [Электронный ресурс] // «International Tanker Owners Pollution Federation Limited». URL: <http://www.itopf.com/marine%2Dspills/> Дата обращения: 11.12.2017.
2. Иванов В.А., Показеев К.В., Шейдер А.А. Основы океанологии. – СПб.-М.-Краснодар: Лань, 2008. – 573с
3. Новости нефтегазового сектора. [Электронный ресурс] // URL: <https://neftegaz.ru/analysis/view/7509-Krupneyshie-razlivy-nefti-v-istorii-chelovechestva/> Дата обращения: 11.12.2017.
4. Stringer – информационное агентство. [Электронный ресурс] // URL: <http://stringer-news.com/publication.mhtml?Part=48&PubID=3991/> Дата обращения: 11.12.2017.
5. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации 2009 году: гос. докл. [Электронный ресурс] // Мин-во природ. ресурсов и экологии РФ. URL: <http://www.mnr.gov.ru/regulatory/detail.php?ID=98694/> Дата обращения: 09.12.2017.
6. СанПин 4630-88. Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнения.
7. Давыдова С.Л., Тагасов В.И. Нефть и нефтепродукты в окружающей среде. – М.: Изд-во Росс. ун-та дружбы народов, 2004. – 163 с
8. Полиинформ. Промышленная и экологическая безопасность. [Электронный ресурс] // URL: <http://www.polyinform.ru/razlivy-nefti.html/> Дата обращения: 11.12.2017.
9. Бурдынь Т.А., Закс Ю.Б. Химия нефти, газа и пластовых вод. – М.: Недра, 1975 – 135с.

10. Воробьев Ю.Л., Акимов В.А., Соколов Ю.И. «Предупреждение и ликвидация аварийных разливов нефти и нефтепродуктов». – М.: Ин-октаво, 2005. – 368с.
11. Проблемы совершенствования системы борьбы с разливами нефти на Дальнем Востоке: Материалы регионального научно-практического семинара. - Владивосток: ДВГМА, 1999.
12. Технический информационный документ. Поведение морских разливов нефти. [Электронный ресурс] // URL: [http://www.itopf.com/uploads/translated/TIP\\_2\\_2011\\_RU\\_Fate\\_of\\_marine\\_oil\\_spills.pdf/](http://www.itopf.com/uploads/translated/TIP_2_2011_RU_Fate_of_marine_oil_spills.pdf) Дата обращения: 11.12.2017.
13. Алешин И.В. Охрана окружающей среды при освоении ресурсов Мирового океана. – СПб.: СПбГМТУ, 2005. – 88 с.
14. Алешин И.В. Охрана окружающей среды при освоении ресурсов Мирового океана. – СПб.: СПбГМТУ, 2005. – 88 с.
15. Швырков С.А. Прогнозирование площадей разливов нефти и нефтепродуктов при квазимгновенных разрушениях вертикальных стальных резервуаров // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2008 – 40с.
16. Матишов Г.Г., Бердников С.В., Савицкий Р.М. Экосистемный мониторинг и оценка воздействия разливов нефтепродуктов в Керченском проливе. Авария судов в ноябре 2007 г. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮНЦ РАН, 2008 – 80с.
17. Аникиев, В. В. Двумерная модель растекания и формирования неоднородностей нефтяной пленки на поверхности моря // Доклады АН СССР. – 1984. – 215с.
18. Grishin, A.M.: Mathematical Modeling Forest Fire and New Methods Fighting Them, F.Albini (ed.), Publishing House of Tomsk University, Tomsk (Russia). – 1997.
19. Патанкар С.В. Численные метода решения задач теплообмена и динамики жидкости. - М.: Энергоатомиздат, 1984. – 152 с.

20. Гаврикова Н.А. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / Н.А. Гаврикова, Л.Р. Тухватулина, И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.В. Шаповалова; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 73 с.
21. СанПиН 2.2.1/2.1.1278-03. «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий»
22. ГОСТ 12.1.003-14. Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности.
23. ГОСТ 30494-2011 | 4. Параметры микроклимата
24. СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03. «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы».
25. «Правила устройства электроустановок» (утв. Минтопэнерго России 06.10.1999)
26. ГОСТ 12.1.038-82. «Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов».
27. ГОСТ 17.2.1. 03-84. Охрана природы. Атмосфера. Термины и определения контроля загрязнения.
28. ГОСТ 17.4.3.04-85. Охрана природы. Почвы. Общие требования к контролю и охране от загрязнения.
29. Федеральный закон от 22 июля 2008 года №123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».
30. "Инструкции по молниезащите зданий, сооружений и промышленных коммуникаций" (СО-153-34.21.122-2003).
31. "Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 05.02.2018).

32. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. "Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы".

# ПРИЛОЖЕНИЕ А

## Раздел 1 Литературный обзор

---

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ЕМ61	Карташова А.Д.		

Консультант ОКД:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Перминов В.А.	д. ф.- м.н		

Консультант – лингвист ОИЯ ШБИП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Демьяненко Н.В.			

## Transformation of oil in the water environment

When oil hits the surface of the reservoir, complex processes begin to occur with it.

First of all, oil begins to spread over the sea surface. The speed of the process is determined by the amount of oil release, its viscosity, pour point, weather conditions.

The speed and intensity of evaporation of oil depends on its volatility, air temperature and wind speed. Spills of unstable oil products, such as kerosene or gasoline, can completely evaporate after a few hours, and light types of oil are able to lose up to 40% on the first day. However, heavy oil and fuel oil products are not very vulnerable to evaporation.

The dispersion of oil is determined by its composition, viscosity and marine conditions. Waves and turbulence on the sea surface can lead to the fragmentation of all or part of the spot into droplets of various sizes that are mixed with the upper layers of the water column. Smaller droplets remain suspended, while larger ones again rise to the surface, where they either fuse with other droplets and re-form a stain, or spread out in the form of a very thin film. Oil in a suspended state is mixed with more and more significant amounts of sea water, which leads to a rapid and very significant decrease in the concentration of oil.

For many types of oil, absorption of water with the formation of water-oil emulsions is characteristic, increasing the volume of pollution by 3-5 times. Such emulsions have a high viscosity and are stable. Oil with low viscosity forms emulsions in about 2-3 hours, the water content in them is about 80%. High-viscosity oils form emulsions for a long time, the water content in them is not more than 40%.

Dissolution of oil in water is insignificant. The rate and degree of dissolution of oil depend on its composition, water temperature and turbulence. Often, light components such as aromatic hydrocarbons are dissolved. Heavy oil components are practically insoluble.

Dispersed oil droplets interact with substances suspended in the water column, as a result of which they thicken and settle on the seabed. Oil is also

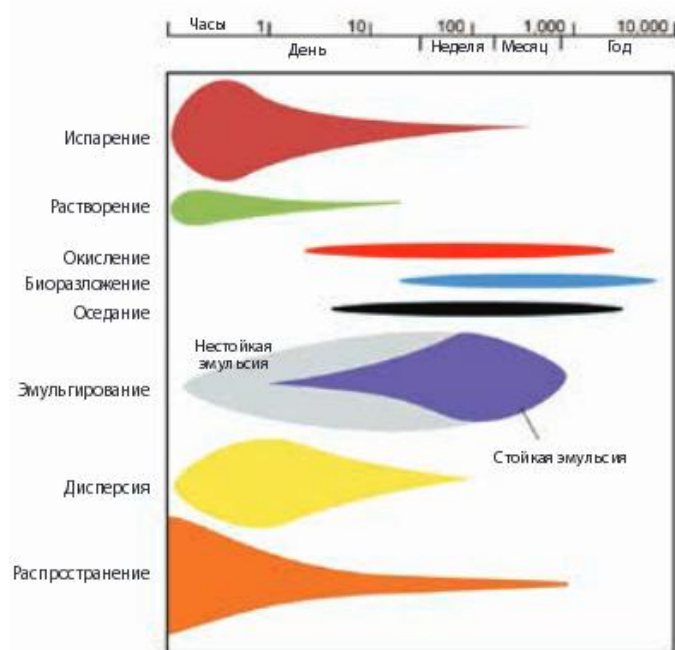


absorbed by plankton organisms and is included in fecal clots, which then settle on the seabed.

Seawater contains microorganisms that use oil as a source of carbon and energy. The intensity of biological decay depends on the temperature and the presence of oxygen. This process has a significant impact on the removal of petroleum products from the water surface. Therefore, the oil that gets not the shoreline will decompose much more slowly.

Figure 3 shows the importance of the processes that affect oil in seawater. The processes of propagation, evaporation, emulsification, dispersion and dissolution play a major role in the early stages of the spill. Such processes as biological decay, oxidation and sedimentation are long-term. Dispersion and emulsification are competing processes: the dispersion removes oil from the sea surface, and emulsification leads to an increase in volume and to the preservation of the contaminant

Forecasting potential changes in oil characteristics over time allows us to estimate the likely resistance of spilled oil, and, therefore, to establish the most appropriate method for liquidation of the spill.



**Figure 3 - Schematic representation of the spill behavior of a standard oil type, showing changes in the relative importance of weathering processes over time - the width of each strip indicates the importance of the process.**

#### Existing mathematical models and developments

A lot of scientific research has been devoted to the development of mathematical models of oil spills, however, there is no single approach to describing this process and the generally accepted model. The least studied topic is the effect of various processes on the state of oil in water. All known models are considered in a stationary state.

In one of the articles, the process of spreading an oil spill is viewed as a superposition of two co-operative processes: the spreading of an oil spill and the transfer by a flow of a watercourse. In the constructed model, the canal was represented as a set of rectangular sections. Then, for each linear section, the following parameters were set: the width of the watercourse, the length of the linear section, the depth of the watercourse, the type of the cross-section profile of the watercourse channel, the hydraulic slope, the hydraulic radius, the roughness coefficient of the bottom surface, and the coefficient of kinematic viscosity of the water. Based on these parameters, the average water flow rate was calculated for each linear section.

To verify the model, the oil spill was taken at the Kharyaga-Usinsk oil pipeline in 1994. As a result, the spill poured 2,685 cubic meters of oil within 87 minutes. This model allows to calculate the speed of oil distribution along the channel, the time of approach of pollution to the line and to construct the dependence of the pollution area on time.

A two-level mathematical model was also proposed. At the macroscopic level, the movement of oil is simulated within the port water area, at the mesoscopic level the model reproduces the physical aspects of pollution with detailing to individual waves. The efficiency of this model was tested at the Novorossiysk seaport. In the proposed model, the aquatic map is represented in a two-dimensional

array of 300x300 cells. In the array there are two types of cells: "true" - a free water surface, the meaning "false" - a fragment of the shore. The port map was entered using a specially developed computer program. The program simulates the release of a certain volume of oil and in the process of work displays a pollution image in dependence of the concentration on the coordinates. This program allows predicting the spread of contamination from the source over time.

A mathematical model of emergency oil product spills is known with the use of geoinformation technologies. To verify the adequacy of this model, the ecological catastrophe was reconstructed in the Kerch Strait on November 11, 2007. With the help of geoinformation technologies, the most characteristic currents of the Kerch Strait were revealed, correlation dependencies of the wind and current fields were constructed. This model takes into account the following processes: spreading, moving under the influence of current and wind, wave action near the coastline. As the main tool was used the software complex ArcGIS Desktop 9.3 of ESRI (USA). The mathematical model is implemented in Visual Basic for Applications and is built into ArcMap as a module. The implementation of the method is based on the separation of oil contamination into individual particles and the modeling of their transport under the influence of wind and current. The input data is used: the configuration of the reservoir, the meteorological situation, the real or calculated currents, the place and dynamics of the oil spill. This complex allows simulating oil spills on a large scale and monitoring the trajectory of each individual particle.

There is an improved mathematical model, which takes into account such processes as evaporation, the deposition of oil products on the shoreline and deposition on the bottom surface. This model is the most approximate to the real conditions. It takes into account the influence of the features of the river bed, its coastal surface, as well as the processes of transformation of the oil slick in water /

The described mathematical models allow us to track the trajectory of the movement of oil pollution and change its spatial characteristics, for given parameters, to determine the place of contact of pollution with the coastline.

Physicomathematical statements of the problem

Rivers are the main source of water supply. At present, methods of water purification are still insufficiently effective, especially in cases of emergency salvo emissions of various substances. In connection with the assessment of the state of the aquatic environment, methods of describing the spread of contaminants in water bodies are of interest. In this paper, a mathematical model of the process of heat and mass transfer, calculation of velocity fields, temperature and concentrations of polluting components in a reservoir is presented. The developed methods for predicting the levels of distribution of contaminants falling into the aquatic environment can be used to control the quality of river water, incl. subject to accidental releases of various substances in the body of water.

In the reservoir, pollutants can come from the catchment area, with sewage, and also as a result of emergency volley emissions. Pollutants can either dissolve in water and then spread downstream, or transported as suspended particles under the action of the river. In this case, the latter, in some cases, can settle on the bottom of the river, and then rise from the bottom, for example, under unfavorable weather conditions, when the flow characteristics change.

As a result of the analysis of existing models of water pollution [1-5], a mathematical model based on the solution of equations for turbulent diffusion was constructed within the framework of continuum mechanics. This takes into account the configuration and depth of the river, its flow velocity, ambient temperature, parameters of emission sources (coordinates, dynamics and composition of emissions). With this approach, it is possible to include additional factors that must be taken into account when calculating environmental pollution. Using the laws of continuum mechanics, a boundary value problem is set for describing the heat and mass transfer of pollutants in a body of water.

#### Method of solution

To solve the problem, the control volume method is used. Geometric and temporal space is divided into a finite number of volumes, then for each of them the balance of the substance (energy, momentum, mass, etc.) is recorded. In the calculation area, it is necessary to specify the boundary conditions. The classical

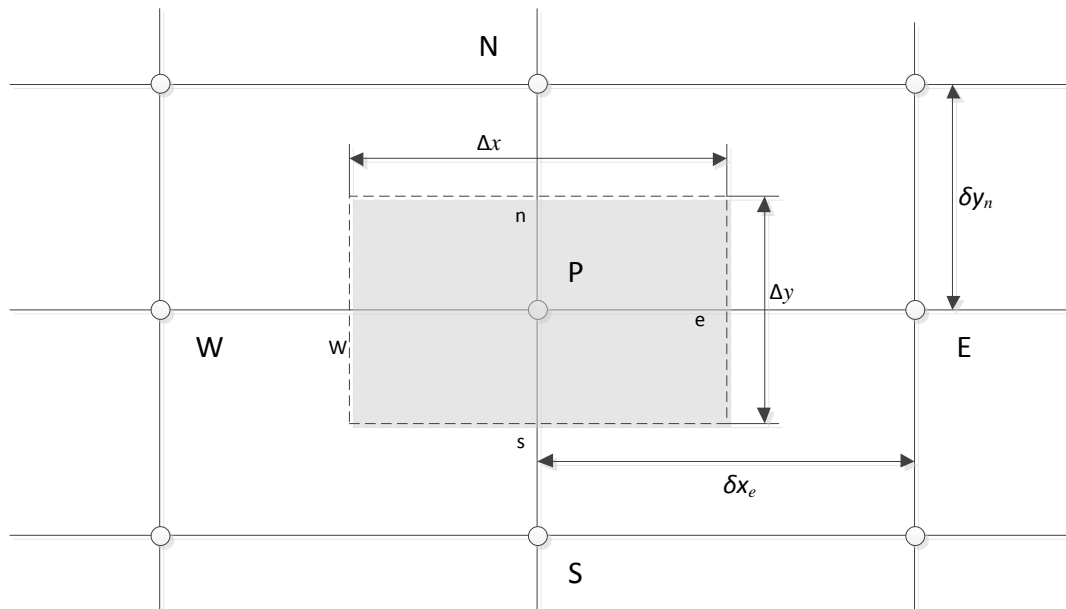
method of control volumes is based on integral conservation laws. In the first stage, the conservation law is formulated for any finite volume. Then the calculation area is covered by a grid, at the nodes of which the physical characteristics of the simulated process will be calculated. Then the control volumes are selected, most often with the centers at the nodes of the computational grid and the boundaries passing through the centers of the grid cells' edges. For each received control volume, a discrete analogue of the conservation law is recorded based on the balance of all flows across the boundaries of the volume in question. The method of finite volumes in most cases allows you to obtain conservative schemes, allows for the discretization of computational domains with complex geometry, and also allows you to build more accurate schemes near the boundaries of the region. These advantages of the method are due to the possibility of using irregular grids, as well as control volumes of arbitrary shape.

The choice of this method of sampling is explained by the fact that using it, in the process of solving, the integral laws of conservation of such quantities as mass, amount of motion, energy in each control volume and for any group of control volumes and, hence, in the entire design area are exactly fulfilled. Even if the problem is solved with the use of a small number of control volumes (here the limitations of the capabilities of computer technology), a solution will still be obtained, and it will satisfy exact integrated balances throughout the calculation area. Using the control volume method in a solution with properly defined boundary conditions, one can for certain say that a physically justified solution will be obtained that will satisfy the basic laws of conservation.

Differential equations describing the processes of heat and mass transfer and hydrodynamics obey the generalized conservation law.

Physically, the control volume method can be described as follows: the calculation area is divided into a certain number of non-intersecting reference volumes in such a way that each node point is contained in one control volume. In the two-dimensional case, we consider a rectangle. Further, the differential equations are integrated over each control volume. To calculate integrals, profiles are used that

describe the variation of the function  $\Phi$  between nodal points. The obtained discrete analog expresses the conservation law for the state parameter  $\Phi$  for each finite control volume. The most important property of the control volume method is that, when using it, the integral laws of conservation of such quantities as mass, momentum, energy, etc. are exactly fulfilled. in each control volume and for any group of control volumes and, therefore, throughout the calculation area. The solution using a small number of control volumes also satisfies the exact integral balances in the whole region, that is, the discrete analog (difference scheme) of Patankar-Spalding is conservative. The method for dividing the computational domain for the two-dimensional case into reference volumes and a typical reference volume is shown in Figure 4.



**Figure 4 - Typical reference volume for a two-dimensional case**