

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

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности
Направление подготовки 20.03.01 Техносферная безопасность
Отделение контроля и диагностики

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Математическое моделирование распространения разлива нефтепродуктов при повреждении нефтепровода в русле реки

УДК 502.51(282):504.5:665.6

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1E51	Керова Ольга Игоревна		

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	Подопригора И.В.	к.э.н		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Романцов И.И.	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП 20.03.01 Техносферная безопасность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Вторушина А.Н.	к.х.н.		

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

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности
 Направление подготовки 20.03.01 Техносферная безопасность
 Отделение контроля и диагностики

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 20.03.01 Техносферная безопасность
 _____ А.Н. Вторушина
 04.02.2019 г.

**ЗАДАНИЕ
 на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
1E51	Керовой Ольге Игоревне

Тема работы:

Математическое моделирование распространения разлива нефтепродуктов при повреждении нефтепровода в русле реки	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	07.06.2019 г.
--	---------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объектом исследования является процесс распространения нефтепродуктов в водной среде. Предметом исследования является математическая модель разлива нефтепродуктов в русле реки. Для численного решения данной задачи использовалось программное обеспечение PNOENICS.</p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи</i></p>	<p>1. Обзор существующих теоретических и экспериментальных методов моделирования распространения нефти в воде. 2. Разработка математической модели нефтяного загрязнения в водном потоке при разрыве подводных переходов нефтепроводов.</p>

исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).	3. Анализ характера распространения нефтяного загрязнения. 4. Проведение численного решения для определения полей скорости и концентрации.
---	---

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Подопригора Игнат Валерьевич
Социальная ответственность	Романцов Игорь Иванович

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	04.02.2019 г.
---	---------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Перминов Валерий Афанасьевич	д.ф.-м.н.		04.02.2019 г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1E51	Керова Ольга Игоревна		04.02.2019 г.

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

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности
 Направление подготовки 20.03.01 Техносферная безопасность
 Уровень образования бакалавриат
 Отделение контроля и диагностики
 Период выполнения весенний семестр 2018/2019 учебного года

Форма представления работы:

бакалаврская работа

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:	07.06.2019 г.
--	---------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
12.03.2019 г.	Введение 1. Литературный обзор 1.1 Химический состав и свойства нефти	20
26.03.2019 г.	1.2 Пересечения трубопроводами водных преград 1.3 Последствия разлива нефти 1.3.1 Воздействие нефтяных загрязнений на водоемы 1.3.2 Особенности ликвидации разливов нефти	10
09.04.2019 г.	1.4 Взаимодействие воды и нефти 1.5 Обзор зарубежных статей моделирования разливов нефти	15
23.04.2019 г.	2. Физико-математическая постановка задачи о загрязнении нефтепродуктами водной среды и ее решение 2.1 Физическая постановка задачи 2.2 Математическая постановка задачи	15
07.05.2019 г.	2.3 Метод решения задачи 2.4 Применение программного обеспечения PHOENICS для моделирования 2.5 Результаты	10
21.05.2019 г.	Разработка разделов «Социальная ответственность» и «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	10
04.06.2019 г.	Оформление и представление ВКР	20

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Перминов Валерий Афанасьевич	д.ф.-м.н.		04.02.2019

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП 20.03.01 Техносферная безопасность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Вторушина А.Н.	к.х.н.		04.02.2019

Результаты освоения образовательной программы по направлению 20.03.01 Техносферная безопасность

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР, и/или заинтересованных сторон
Общие по направлению подготовки		
P1	Способность понимать и анализировать социальные и экономические проблемы и процессы, применять базовые методы гуманитарных, социальных и экономических наук в различных видах профессиональной и социальной деятельности.	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-1, 2, ОПК-2). CDIO Syllabus (2.4, 4.1, 4.2.7, 4.7). Критерий 5 АИОР (п. 2.12)
P2	Демонстрировать понимание сущности и значения информационных технологий в развитии современного общества и для ведения практической инновационной инженерной деятельности в области техносферной безопасности	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (ОПК-1). CDIO Syllabus (3.2). Критерий 5 АИОР (п. 2.5)
P3	Способность эффективно работать самостоятельно, в качестве члена и руководителя интернационального коллектива при решении междисциплинарных инженерных задач с осознанием необходимости интеллектуального, культурного, нравственного, физического и профессионального саморазвития и самосовершенствования	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-3, 5, 6, 7, ОПК-1, ОПК-3, ОПК-5, ПК-8). CDIO Syllabus (2.4, 2.5, 3.1, 3.3, 4.2), Критерий 5 АИОР (п. 2.9, 2.12, 2.14)
P4	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе в целом, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности, в том числе на иностранном языке.	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-4, ОПК-4). CDIO Syllabus (3.2). Критерий 5 АИОР (п. 2.11)
P5	Способность применять основные законы естественнонаучных дисциплин, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования с целью выбора и оптимизации устройств, систем и методов защиты человека и природной среды от опасностей.	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-8, ОПК-1, ПК-5). CDIO Syllabus (1.1, 2.1). Критерий 5 АИОР (п. 2.1, 2.4, 2.6, 2.7, 2.8)
Профиль		
P6	Уметь выбирать, применять, оптимизировать и обслуживать современные системы обеспечения техносферной безопасности на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях, в том числе при реализации инновационных междисциплинарных проектов	Требования ФГОС ВО (ОПК-5, ПК-5, ПК-6, ПК-7). CDIO Syllabus (1.3, 2.1–2.5). Критерий 5 АИОР (п. 2.2, 2.4, 2.6, 2.7, 2.8), требованиями проф.стандарта 40.056 Профессиональный стандарт «Специалист по противопожарной профилактике»
P7	Уметь организовать деятельность по обеспечению техносферной безопасности на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателя, в том числе при реализации инновационных междисциплинарных проектов	Требования ФГОС ВО (ПК-9, ПК-10, ПК-11, ПК-12, ОПК-3, 4, 5). CDIO Syllabus (1.3, 2.1–2.5, 3.1) Критерий 5 АИОР (п. 2.6, 2.12), требованиями проф.стандарта 40.056 Профессиональный стандарт «Специалист по противопожарной профилактике»

P8	Уметь оценивать механизм, характер и риск воздействия техносферных опасностей на человека и природную среду	Требования ФГОС ВО (ПК-12, ПК-16, ПК-17). CDIO Syllabus (1.3, 2.1–2.5). Критерий 5 АИОР (п. 2.2–2.8), требованиями проф.стандартов 40.056 «Специалист по противопожарной профилактике», 40.054 «Специалист в области охраны труда»
P9	Применять методы и средства мониторинга техносферных опасностей с составлением прогноза возможного развития ситуации	Требования ФГОС ВО (ПК-12, ПК-14, ПК-15, ПК-17, ПК-18). CDIO Syllabus (1.3, 2.1–2.5). Критерий 5 АИОР (п. 2.2–2.8)

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

Студенту:

Группа	ФИО
1E51	Керовой Ольге Игоревне

Школа	ИШНКБ	Отделение школы(НОЦ)	ОКД
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	20.03.01 Техносферная безопасность

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

1. <i>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, нормативно-правовых документах; наблюдение. Человеческие ресурсы – 2 человека.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Определение потенциального потребителя результатов исследования, SWOT-анализ, определение возможных альтернатив проведения научных исследований
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Планирование этапов работы, определение календарного графика и трудоемкости работы, расчет бюджета
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	Оценка сравнительной эффективности проекта

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. *Оценка конкурентоспособности технических решений*
2. *Матрица SWOT*
3. *Морфологическая матрица*
4. *Временные показатели проведения научного исследования*
5. *График проведения и бюджет НИ*
6. *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	Подопригора Игнат Валерьевич	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1E51	Керова Ольга Игоревна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
1E51	Керовой Ольге Игоревне

Школа	ИШНКБ	Отделение школы(НОЦ)	ОКД
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	20.03.01 Техносферная безопасность

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект исследования: модель распространения нефтяного загрязнения в водоеме. Условия для работы: сидячее положение в офисном помещении. Область применения: научно-исследовательские институты; высшие учебные заведения; отрасли, транспортирующие нефть.
--	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.	ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы. ГОСТ 12.1.005-88. Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	Рассмотреть воздействие на оператора вредных факторов: неблагоприятный микроклимат, недостаточная освещенность рабочей зоны, повышенный уровень шума на рабочем месте, напряженность и монотонность трудового процесса. Рассмотреть воздействие на оператора опасных факторов: электробезопасность, пожаробезопасность. Рассмотреть коллективные и индивидуальные способы защиты от опасных и вредных факторов.
3. Экологическая безопасность:	Рассмотреть воздействие на окружающую среду выбросов в атмосферу загрязняющих веществ, загрязнение почвы при утилизации старого ПК.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Наиболее типичное ЧС – пожар вследствие короткого замыкания, ошибки оператора и нарушения целостности электрических проводов.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Романцов Игорь Иванович	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1E51	Керова Ольга Игоревна		

Реферат

Выпускная квалификационная работа 79 с., 8 рис., 15 табл., 26 источников, 1 прил.

Ключевые слова: математическое моделирование; разлив нефти; водная среда; чрезвычайная ситуация.

Объектом исследования является процесс распространения нефтепродуктов в водной среде. Предметом исследования является математическая модель разлива нефтепродуктов в русле реки.

Цель работы – разработка математической модели и получение распределения загрязняющих примесей нефти в различных точках водной среды.

В процессе исследования проводилось численное решение задачи для определения полей скорости и концентрации нефти с помощью программного обеспечения PHOENICS.

В результате исследования разработана математическая модель нефтяного загрязнения в русле реки при разрыве подводного перехода нефтепровода.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: рассматривая методика и результаты, полученные в данной работе, позволят более точно изучить процесс загрязнения нефтепродуктами водной среды при аварийных ситуациях.

Область применения: научно-исследовательские институты; высшие учебные заведения; отрасли, транспортирующие нефть.

Значимость работы имеет экологический характер, т.к. последствия ЧС влияют на жизнедеятельность экосистем и людей, в прилегающих территориях. Результаты математического моделирования разливов нефти могут быть использованы при разработке профилактических мероприятий по предотвращению распространения загрязнения, ускоряя работу средств быстрого реагирования и систем раннего мониторинга.

В будущем планируется изучить влияние на процесс загрязнения водной среды нефтепродуктами дополнительных факторов и если они оказывают существенное влияние, то учесть это в математической модели.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	14
1. Литературный обзор	16
1.1 Химический состав и свойства нефти.....	16
1.2 Пересечения трубопроводами водных преград	19
1.3 Последствия разлива нефти	20
1.3.1 Воздействие нефтяных загрязнений на водоемы	21
1.3.2 Особенности ликвидации разливов нефти	23
1.4 Взаимодействие воды и нефти	25
1.5 Обзор зарубежных статей моделирования разливов нефти	28
2. Физико-математическая постановка задачи о загрязнении нефтепродуктами водной среды и ее решение	30
2.1 Физическая постановка задачи	30
2.2 Математическая постановка задачи	31
2.3 Метод решения задачи	33
2.4 Применение программного обеспечения PHOENICS для моделирования	39
2.5 Результаты	40
3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	45
3.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	45
3.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	45
3.1.2 Анализ конкурентных технических решений.....	46
3.1.3 SWOT-анализ	47
3.2 Планирование научно-исследовательских работ	49
3.2.1 Структура работ в рамках научного исследования.....	49
3.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ.....	50
3.3 Разработка графика проведения научного исследования.....	51
3.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	52
3.4.1 Расчет материальных затрат НТИ.....	52
3.4.2 Расчет затрат на программное обеспечение для научных (экспериментальных) работ	53
3.4.3 Основная заработная плата исполнителей темы	54

3.4.4	Дополнительная заработная плата исполнителей темы	56
3.4.5	Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	57
3.4.6	Накладные расходы	57
3.4.7	Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта .	57
3.5	Определение эффективности исследования	58
4.	Социальная ответственность	60
4.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	61
4.2	Производственная безопасность	63
4.3	Экологическая безопасность.....	71
4.4	Безопасность в чрезвычайных ситуациях	72
	Заключение	75
	Список литературы	76
	Приложение А Календарный план-график проведения НИОКР по теме	79

ВВЕДЕНИЕ

Реки – это основной источник потребления воды. В настоящее время методы очистки водоемов совершенствуются, так как экологические проблемы становятся масштабнее. Методы описания распространения загрязняющих примесей в водоемах помогают оценить состояние водной среды. По результатам данных оценок разрабатываются меры по обеспечению экологической безопасности в водной местности. В данной работе представлена математическая модель процесса тепло- и массопереноса, расчета полей скорости, температуры и концентраций загрязняющих компонент в водоеме. В местах где нефтепровод пересекает водоемы могут происходить разрывы трубопровода. Сделать предположение о том, как будет развиваться ситуация при разливе нефти можно с помощью теоретических методов создания модели аварийной ситуации. После расчетов и установления тенденции распространения загрязнения, необходимо производить мониторинг ситуации под водой при помощи специальных датчиков, которые помогают заблаговременно узнавать об аварийной ситуации связанной с разливом нефти. Чтобы качественно установить датчики отслеживания загрязнений необходимо смоделировать ситуацию разлива и изучить движение нефти в водной среде.

В водоем загрязняющие вещества могут поступать с территории водосбора, со сточными водами, а также в результате аварийных залповых выбросов. Загрязняющие вещества могут либо растворяться в воде и затем распространяться вниз по течению, либо переносится в виде взвешенных частиц под действием течения реки. При этом последние, в некоторых случаях, могут оседать на дно реки, а затем подниматься со дна, например, при неблагоприятных метеоусловиях, когда изменяются характеристики течения. В последствии рассмотрения имеющихся моделей загрязнения водной среды, в рамках механики сплошных сред построена математическая модель, основанная на решении уравнений для турбулентной диффузии. При этом учитывается рельеф и глубина реки, ее скорость течения, температура окружающей среды, параметры источников выбросов (координаты, динамика и состав выбросов).

При данном подходе имеется возможность для включения дополнительных факторов, которые необходимо учитывать при расчете загрязнения окружающей среды.

Целью работы является получение распределения загрязняющих примесей нефти в различных точках водной среды.

Задачи работы:

- разработка математической модели нефтяного загрязнения в водном потоке при разрыве подводных переходов нефтепроводов;
- использование программного обеспечения PHOENICS [1] для численного решения поставленной задачи;
- анализ характера распространения нефтяного загрязнения;
- проведение численного решения для определения полей скорости и концентрации.

Методы решения. Для решения поставленных задач работы использовался метод контрольных объемов, а также математическое моделирование в программном обеспечении PHOENICS [1].

1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1 Химический состав и свойства нефти

Нефть – природная, коллоидная система жидких углеводородов, обладающая дисперсионной средой и дисперсной фазой, в которой растворены газообразные и твердые вещества. Как и в углеводородах, в нефти находятся гетероорганические гетероатомные соединения, которые содержат углерод, водород, азот, серу, кислород и другие элементы [2].

Для каждого отдельного вида нефти ее физические свойства, такие как плотность, пределы выкипания, температура застывания, вязкость, дают определенную характеристику. Так как нефть – это смесь переменного состава и смесь многих индивидуальных соединений, то и совокупность ее постоянных физических свойств определяется свойствами индивидуальных соединений [3].

Плотность нефти определяется как масса единицы объема при определенной температуре. Плотность уменьшается с увеличением температуры, так как при этом вещества расширяются. Для большинства нефтепродуктов относительный удельный вес и относительная плотность колеблются в диапазоне от 0,750 до 1,000. Однако, нефти с плотностью менее 0,750 и более 1,000 (густые асфальтообразные нефти) встречаются как исключение. Количественное соотношение углеводородов отдельных классов и соотношение количества легкокипящих и тяжелых фракций в нефти определяют ее общую плотность [3].

Вязкостью является сопротивление, которое возникает внутри жидкости, когда ее слои между собой перемешиваются. Величина вязкости важна при гидродинамических расчетах, связанных с движением нефти (например, в нефтепроводах и т.п.). Показатель вязкости уменьшается, когда температура повышается, а с понижением температуры – возрастает, а также если давление растет, то вязкость тоже увеличивается. Факторы химического характера (групповой углеродный состав нефти) также могут менять параметры вязкости нефти – вязкость повышается в изменении от низших нефтяных фракций до высших [3].

Переход нефти из одного *агрегатного состояния* в другое зависит также от содержащихся в ней индивидуальных химических веществ. Когда нефть испаряется, ее наиболее легкие компоненты нефти испаряются первыми, но при некоторых условиях вместе с ними могут превращаться в газообразные вещества и тяжелые фракции. Насколько быстро испаряются жидкости влияют такие факторы, как температура, площадь испарения, высота слоя жидкости, скорость потоков воздуха, которые сдувают пары [3].

Элементный состав нефти определяется пятью основными элементами – углерод (82–87%), водород (11–15%), сера (0,1–7%), кислород (1–2%), азот (<0,5–0,6). В очень небольших долях такие вещества, как Ca, Vg, Fe, Al, V, Ge, Ni, Na и др. были также обнаружены (всего в нефтях найдено 50 элементов). Когда определяется групповой состав нефти, необходимо упомянуть о таких классах углеводородов, как метановые или парафиновые (алканы), полиметиленовые или нафтеновые (циклоалканы), ароматические и гибридные – парафино-нафтено-ароматические [3].

Алканы (парафины) являются основной частью нефти. Алканы содержатся в нефти в диапазоне от 20% до 50%. В одних из многих видов нефти, в таких как слабо- или беспарафинистых таких углеводородов содержится 1-2%, однако парафинистые сорта нефти могут состоять на 80% из алканов [4].

Циклоалканы (нафтены, цикланы). Содержание моноциклических нафтенов определяется в нефтях в основном производными циклопентана и циклогексана. Помимо моноциклических нафтенов, бициклические, трициклические и полициклические углеводороды также присутствуют в составе смесей. Обычный количественный состав нафтенов занимает 30–50% от всего состава. Однако в некоторых нефтях, таких как слабопарафинистые и беспарафинистые, их содержание может достигать 80% [4].

Ароматические углеводороды (арены) содержатся в нефти в немногочисленном количестве – 15–20%, но в некоторых сортах их содержание может достигать 35%. Кроме ароматических углеводородов ряда бензола, в нефти содержатся производные полициклических аренов. Молекулы

углеводородов смешанного строения состоят из ароматических и нафтеновых колец и парафиновых цепей [4].

Кислородные соединения. Из всего кислорода, содержащегося в нефти, только 5–10% – это легкие фракции. Все соединения, содержащие кислород, разделяются на три класса: нафтеновые кислоты, жирные кислоты и фенолы. Нафтеновые кислоты образуют нерастворимые соли, когда их обрабатывают щелочами, карбонатами щелочных металлов или окислами металлов. В промышленности не приветствуются нафтеновые кислоты в нефти, так как они вызывают коррозию металлов, поэтому нефть от них очищают. В небольших количествах, не превышающих доли процента от кислородосодержащих соединений, в нефти находятся фенолы. Фенолы схожи с нафтенами, так как у них похожие свойства – при взаимодействии со щелочью образуются соли. [3].

Причина нахождения *азотистых соединений* в нефти заключается в содержании в ней смолистых компонентов, следовательно, плотность нефти зависит отчасти от азотистых соединений. Также они могут окисляться в нефти до смолистых соединений, а это плохо влияет на качество нефти в промышленности. [3].

Серосодержащие соединения также делают нефть некачественной для промышленности. Все классы сернистых соединений приводят в негодность катализаторы, которые применяются в нефтепереработке, а также с их помощью металлические предметы, нефтепроводы поражает коррозия, а сама нефтяная смесь приобретает неприятный запах [3].

Смолисто-асфальтеновые вещества – это наиболее представительная группа гетероатомных высокомолекулярных веществ в нефти. Смолы – конденсированные циклические соединения с длинными алифатическими боковыми цепями. Асфальтены в отличие от смол содержат большее количество углерода и меньшую долю водорода.

Минеральные вещества. Эти вещества представляют собой различные растворенные в воде минеральные соли. В нефти также содержатся соли различных металлов и органических кислот, металлы, входящие в состав

некоторых комплексных соединений, а также сера и сероводород. Кроме вышеупомянутых веществ, в нефти находили вещества животного и растительного происхождения. Эти вещества как доказано указывают на далекую связь нефти с живой природой, поэтому им дали названия «биологических меток» или «биомаркеров» [4].

Фракционный состав нефти. Нефть разделяют посредством перегонки на такие фракции:

- бензиновая фракция (от температуры начала кипения нефти до 150°C или 180 °C, или до 200°C);
- керосиновая фракция (от конца кипения бензиновой фракции до $\approx 250^\circ\text{C}$);
- керосино-газойлевая фракция или легкий газойль (от конца кипения бензиновой фракции до 350°C). Остаток перегонки $>350^\circ\text{C}$ называется мазутом. Мазут перегоняют в вакууме и получают вакуумный газойль (350–550°C) и остаток выше 550°C – гудрон.

Нефть, смешиваясь с водой, образует *эмульсию*. Дисперсные системы, в которых дисперсионная среда и дисперсная фаза находятся в жидком состоянии, причем обе жидкости взаимно нерастворимы, называются эмульсиями. Различают прямые эмульсии – масло в воде, и обратные – вода в масле (маслом может называться любая жидкость, несмешивающаяся с водой). [3].

1.2 Пересечения трубопроводами водных преград

Транспортировка газа, нефти и нефтепродуктов по трубопроводам в настоящее время является основным видом их перемещения от мест, где их добывают, перерабатывают или получают до мест потребления. Чтобы транспортировать нефть и газ в центр и на запад длина трубопроводов может достигать 5000 км. Такие трубопроводы встречают множество преград на своем пути, в том числе и реки, водохранилища, озера, болота и т.д. Для того чтобы трубопроводы могли пересекать такие препятствия, были сконструированы подводные переходы.

Подводный переход – особая часть конструкции линейного магистрального трубопровода, которая позволяет нефтепроводам, транспортирующим нефть пересекать преграды в виде воды [5].

Конструкция водного перехода в основном содержит [5]:

- участки ответвлений трубопровода с возможными узлами для подключения (нефтеперекачивающих и компрессорных) станций, для измерения параметров нефти, очистных устройств;
- сооружения, строящиеся на берегу, чтобы делать трубопроводы устойчивыми к размывам грунта, оползням и т.д.;
- сооружения, защищающие металлические элементы от коррозионных и электрохимических процессов;
- защитные сооружения на случай аварии;
- линии электропередач;
- плановые магистрали (чтобы производить наблюдения за размывом берегов);
- емкости для сбора конденсата;
- здания и сооружения служб, эксплуатирующих трубопроводы;
- противопожарные средства;
- предупреждающие знаки о границах охранной зоны трубопроводов, дороги, вертолетные площадки.

1.3 Последствия разлива нефти

Авария, возникающая на подводных переходах – это внезапное залповое или постепенное истечение нефти происходящее из-за разрушения или повреждения нефтепровода, его частей, соединенных конструкций и др. [5].

В зависимости от тяжести последствий аварии могут быть 1 и 2 категории или являться инцидентом.

При 1-ой категории аварии происходят события, связанные с травматизмом, смертельным исходом или с потерей трудоспособности пострадавших; воспламенением нефти или взрывом ее паров и газов;

загрязнением водотока, реки, озера; Об аварии 1-ой категории также можно говорить, если нефтепровод не эксплуатируется в течение более 24 ч, а объем вылившийся нефти составил свыше 100 м³.

Во 2-ой категории аварии происходят такие события, как, например, пожар, не повлекший вреда здоровью человека, но вызвавший загрязнение грунта и атмосферы. В данной категории нефтепроводы не эксплуатируются от 8 до 24 ч, а объем потерянной нефти составляет от 10 до 100 м³.

Событие, при котором происходит отказ оборудования или технических устройств на магистральных нефтепроводах, повлекших за собой потерянный объем нефти равный менее 10 м³ называют "инцидент" [5].

В зависимости от того на какой местности (ее характера и особенностей) находятся нефтепроводы число и частота аварий может варьироваться. При каждом виде местности появляются свои особенности аварий. Есть несколько типов местности: болото, кустарные территории, траншея, низина, грунт, берег водоема [6].

По статистике предприятий, транспортирующих нефть, 60 % и 27 % аварий – это аварии на непосредственно самих нефтепроводах, расположенных на болотах и болотистых местностях, так как в данных условиях коррозионная способность почв очень высока. Доля от всех аварий в количестве 6 % происходит на нефтепроводах, пересекающих водную среду (подводные переходы), поскольку под действием солей, растворенных в воде, возникает также усиленная коррозия металла труб [6].

1.3.1 Воздействие нефтяных загрязнений на водоемы

Нефть попадает в водоем разными способами, но в основном при ее добыче, транспортировке, сбросе, различных авариях, а также при стекании с загрязненных ею почв.

Каким будет воздействие загрязнения на водоем определяет множество факторов и при каждом конкретном случае влияет набор этих факторов.

Поверхностные пленки нефти создают нарушения баланса (кислородный, углекислотный и др. формы обмена) между границей воздуха и воды. Это

пагубно воздействует на речную, озерную, морскую фауну и флору, нарушая сложную биологическую цепь, которая существует в водных средах, вследствие этого водные растения и живые организмы постепенно вымирают. Более тяжелые фракции могут осаждаться на дне водоема, понижая содержание в воде кислорода. Также пленки нефти нарушают процессы прогревания и охлаждения поверхностных вод, тем самым изменяя их плотность, что заставляет верхние загрязненные слои воды перемешиваться с нижними. [5].

Токсичность нефти. Некоторые фракции, находящиеся в нефти, являются крайне токсичными и опасными для живых организмов элементами. Следует заметить, что чем больше концентрация находящихся в нефти поглотится или растворится в воде, то тем выше будет их токсичность и потенциальная опасность. При смешивании нефти и воды образуются токсичные эмульсии, вызывающие удушье у живых организмов [5].

От того, какую конкретно формулу из большого множества вариаций имеет данная нефть, напрямую зависит, как будут изменяться свойства нефти после разлива в воде и насколько она будет токсична для всех живых организмов, попавших в контакт с этой субстанцией. Помимо водорастворимых фенольных соединений, токсичными элементами в нефти также являются летучие ароматические углеводороды. Возникновению данных соединений в воде способствует окисление, которое катализируется солнечным светом и присутствующими в нефти рассеянными металлами [6].

Объем в тысячи кубометров может достигать количество нефти или иных продуктов, выброшенных в водоем в результате разрушения нефтепровода на переходе. [7].

Известно, объем воды равный тысячи литрам может быть легко загрязнен всего одним литром нефти. Причиной этого становится способность нефти при взаимодействии с водой образовывать эмульсию, а не растворяться в воде полностью. По некоторым данным установлено, что более 5 млн. т нефти и нефтепродуктов, а также около 55 млн. т минеральных солей, из которых 100 тыс. т нитратов и 70-90 тыс. т фенолов, поступают в водоемы мира [8].

Таким образом существует несколько воздействий нефтепродуктов на живые организмы, обитающие в водоемах, и на экосистему водоема [9]:

- отравляющее действие, приводящее к смерти;
- отравляющее действие, приводящее к серьезным нарушениям физиологической активности;
- действие окутывания живого организма нефтепродуктами, вызывающее удушье;
- действие заболеваний, вызванные внедрением углеводов в организм;
- изменение биологических особенностей среды обитания.

Любой водоем за период своего существования обретает определенную гармонию с окружающей средой, следовательно, изменения, которые происходят в той или иной экосистеме будут взаимосвязаны. Во время строительства водных переходов на водоем воздействуют строительной техникой, чтобы, например, выкопать яму или траншею. Длина траншей может варьироваться от 50 до 100 м от берега и в глубину достигать 15 м. Своевременное не устранение таких траншей может привести к изменениям в режиме водоема. Периодические подъемы воды в реке в совокупности с тальми и дождевыми водами могут привести к тому, что траншея может превратиться в глубокий овраг [10].

1.3.2 Особенности ликвидации разливов нефти

Ликвидация аварий происходит по индивидуально разработанному для каждого подводного перехода плану. От того насколько изучены особенности распространения пятна в водоеме и динамика самого водоема зависит эффективность разработанных способов локализации загрязнения [5].

Рассмотрим некоторые методы ликвидации аварии разлива нефти, используя при этом естественные процессы распространения загрязнения.

В реках с высокими скоростями течения поток воды характеризуется турбулентностью, вследствие чего увеличивается интенсивность большинства процессов, происходящих в нефтяном пятне (растворение нефти, естественная

дисперсия, эмульгирование, увеличение вязкости, эффект уноса нефти (за счет неровного дна и наличия точек сжатия потока, бурного перемешивания и увеличения контакта нефти с водой)) [11].

Тактика при ликвидации аварии выбирается с учетом гидродинамических условий (скорость течения, интенсивность турбулентности). Например, скорость течения выше в глубине реки, практически у самого дна, а ниже – практически у поверхности причем около берега, так как происходит трение со стороны грунта. Нефть будет двигаться по доминирующему вектору скорости в речном потоке. Затем при установлении турбулентности шлейф нефти будет затормаживаться в местах поверхности реки, где скорость течения ниже. Места нефтесбора и технология ликвидации разлива нефти меняется от этих факторов, а также от уровня реки на определенных участках и дополнительных технических сооружений (плотины, ГЭС и т.д.). Сборное оборудование обычно располагается на берегах рек или акваториях. На больших реках часто используют стационарное и самоходное нефтесборное оборудование вместе [11].

Свойства рек, которые влияют на выбор стратегии и тактики ликвидации разлива нефти:

- основные точки сбора там, где течение меняет направление;
- на внешней стороне изгибов течение реки быстрое и часто внутренняя часть изгибов пологая – потоки нефти отплывают в зоны, где скорость течения небольшая (внутри изгиба реки);
- в местах, где притоки впадают в главную реку, образовывается перекрестное течение, увеличивая основное течение; обычно ниже и выше этого течения образуются водовороты, которые используются как точки сбора;
- острова вызывают сжатие течения реки в связи с чем повышая скорости течения вокруг острова (нефть собирается до или после таких мест); зачастую на нижней части острова формируются возвратные течения или водовороты;

- объекты, которые реке приходится обгибать (пирсы, пристани и т.д.) усложняют сбор нефти – она отклоняется от таких конструкций. Дамбы и шлюзы – это еще одни удобные точки для сбора нефти, но из-за высокой скорости поступления воды требуется чтобы они были открытыми во избежание затопления берегов [11].

Таким образом, сбор нефти необходимо производить в местах, где скорости турбулентного течения самые низкие: внутренний радиус изгиба речного русла, ответвление потока в другое русло, водовороты и т. д.

1.4 Взаимодействие воды и нефти

Подводные переходы, которые размещаются под судоходными трассами рек и каналов, имеют больше шансов быть механически повреждены из-за размыва дна, оползней, волочения якорей, углубления дна. Аварию, связанную с утечкой нефти и других продуктов, часто не обнаруживают вовремя. Только через много часов после того, как она произошла начинают ее локализовать. Наиболее опасный период времени это тот, в который мы еще не знаем о произошедшей утечке и не начинаем действовать и принимать меры по локализации, а в это время уже наносится ущерб экосистемам [5].

Нефть, как обзревалось в первом пункте, состоит из множества веществ, включающих щелочи, нафтены, ароматические вещества, смолы, асфальтены. Все эти вещества участвуют в процессах взаимодействия воды и нефти, но разными способами. Помимо этого, важными факторами, влияющими на то, какие процессы будут происходить является скорость и направление ветра и реки, температура воды и воздуха и т.д. Процессы, которые могут происходить с нефтью: растекание, испарение, растворение, эмульгирование, налипание на растения вдоль берега, воздействие на водную фауну (Рисунок 1.1) [5].

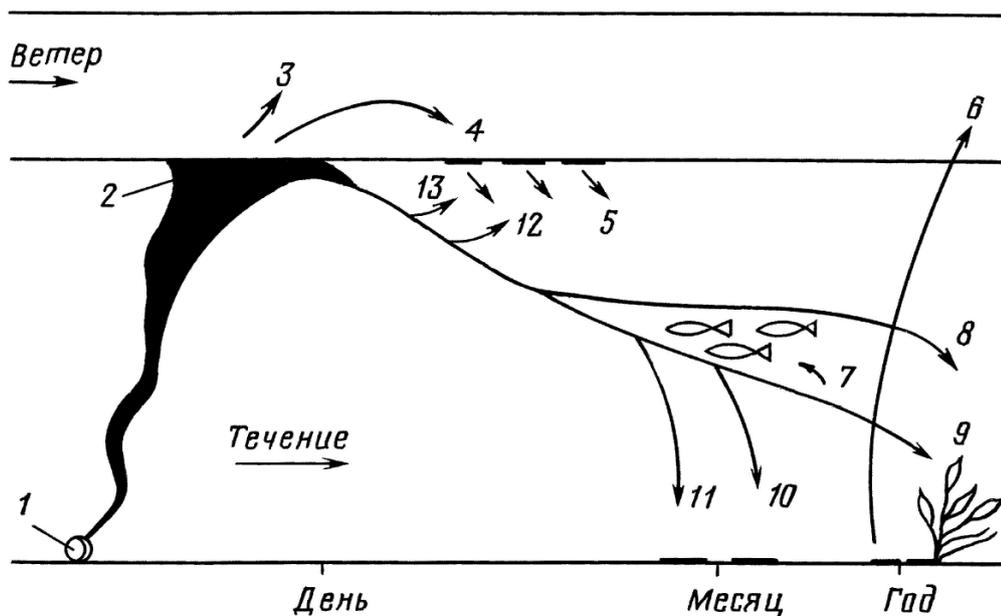


Рисунок 1.1 – Поведение нефтяного загрязнения в пространстве и во времени [5]

На данном рисунке обозначены основные процессы при взаимодействии воды и нефти при истечении из нефтепровода: 1 – обозначается нефтепровод; 2 – обозначаются нефтепродукты; 3 – испаряются легкие фракции; 4 – происходит эмульгирование с водой; 5 – абсорбируется; 6 – бродит и растекается; 7 – поглощается и перерабатывается живыми организмами; 8 – выпадают и распределяются тяжелые асфальтены по водоему; 9 – поглощается растительными организмами; 10 – выпадают тяжелые фракции; 11 – адсорбируется; 12 – разлагается; 13 – превращается в пену [5].

По мере увеличения температуры воды нефть легче с ней взаимодействует и смешивается. На холодных территориях, где температура воды измеряется около 0 °С, процесс смешивания воды и нефти может происходить 50 лет [5].

Как было представлено в физико-химических свойствах нефти, вязкость нефти является важным параметром нефти, по нему чаще всего определяют возможные методы ликвидации нефтяного загрязнения. Число вязкости нефти зависит от испарения, эмульгирования, температуры воды и воздуха. Нефть с вязкостью 8,0 Па·с по поверхности воды не растекается, она скапливается в углублениях грунта, а также воды выбрасывает ее на береговую линию. Когда

вода находится в спокойном состоянии, на пологом берегу на 1 км береговой полосы маловязкая нефть отлагается в количестве 1–2 т, нефть средней вязкости – 5–8 т и 20–30 т застывающей нефти [5].

Во время залпового выброса нефть приобретает форму полосы, имеющей большую ширину в середине, чем на концах. При достижении нефти поверхности, она начинает распространяться по ней, образуя пленку, имеющую характерную радужность. Это может означать, что его толщина равна $(1,5–10) \cdot 10^{-4}$ мм, что соответствует концентрации загрязнения в воде 150–1000 л/км². Пятна, содержащие большее количество нефти, темного цвета и не имеют радужный отсвет. По мере увеличения поверхности пятна на воде, все больше легких компонентов испаряется, а водорастворимых – выщелачивается. В конечном итоге вязкость пятна возрастет, и оно будет медленнее растекаться [5].

Из свищей в трубопроводе нефть вытекает группированными небольшими объемами и появляются на поверхности в виде небольших пятен. Рядом с береговой линией пятна превращаются в клиновидное размытие и выбрасываются на берег. Сильный ветер может перемещать пятна в другие места, отличные от направления течения реки, следовательно, чистые и загрязненные зоны могут чередоваться [5].

В зависимости от свойств нефти, меняется ее местонахождение в поверхностных и подземных водах. Нефтепродукты состоят из смеси углеводородов и отличаются разной растворимостью в воде: для нефти (варьируется от химического состава) растворимость составляет 10–50 мг/дм³; для бензинов – 9–505 мг/дм³; для керосинов – 2–5 мг/дм³; для дизельного топлива – 8–22 мг/дм³. Всего лишь 0,005 % от всей маслянистой нефти может растворяться в воде. Следует отметить, что растворяются в воде наиболее токсичные вещества. Нефть эмульгирует с водой, поэтому она может занимать до 15 % от своего объема в воде [9].

Смолы и асфальтены – это соединения с большим количеством молекул, которые способны создавать эмульсии «нефть в воде». Эта эмульсия состоит из 30–80 % органических остатков, планктона и бактериальной слизи, которая не

сможет быть переработана редуцентами вод. Однако эмульсии "вода в нефти" могут быть разрушены и переработаны бактериями [5].

1.5 Обзор зарубежных статей моделирования разливов нефти

В статье о численном трехмерном моделировании распространения нефти в море для различных сценариев аварий [12] авторы описывают разработку методики оценки динамики, связанной с распространением углеводородов в море и их воздействие на окружающую среду. В трехмерной численной модели разработаны гипотетические сценарии разливов в результате аварий на платформе и на судне. В данном исследовании авторам удалось смоделировать сложную морскую среду, влияющую на процесс рассеивания. В результате анализа сценария выброса нефти, ее распространение под водой происходило не интенсивно и в течение длительного времени. Однако при анализе сценария аварии рассеивание ускорилось за короткий промежуток времени. Исследование было направлено на то, как углеводороды нефти способны взаимодействовать с водой.

Как и в данной бакалаврской работе целью стоит изучить динамическое поведение пятна разлива нефти и его распространения в водной среде. Для этого в статье было использовано программное обеспечение Integrated Fluid Dynamic Simulation System (HyperSuite). Данное программное обеспечение рассчитывает значения методом контрольных объемов [12].

Для описания математической модели были использованы системы следующих уравнений: усредненные по Рейнольдсу уравнения Навье-Стокса для несжимаемых жидкостей; уравнение свободной поверхности; уравнение температурного поля, учитывающее также эффекты температурной стратификации; уравнение солености, учитывающее растворимость соли; уравнение массопереноса, учитывающее растворимость и испарение летучей фракции (без химических реакций) [12].

В данном исследовании учтено много факторов, таких как соленость воды, скорость и направление ветра и течения, изменение температуры с изменением глубины, а также характер утечки (постепенное истечение и

залповое). Однако, рассмотрев только конкретный случай нефтяного месторождения в Италии, авторы сузили круг применимости данного исследования к другим случаям. В данной бакалаврской работе сделана попытка в рассмотрении более общего случая разлива нефти для возможности дальнейших, более конкретных корректировок.

В статье [13] представлена трехмерная математическая модель истечения нефти из поврежденного подводного трубопровода. С помощью модели удалось оценить скорость истечения нефти и продемонстрировать распространение нефти в воде.

Для решения задачи использовался метод Эйлера-Эйлера для моделирования скорости истечения нефти и метод Эйлера-Лагранжа для отслеживания траектории движения нефтяных капель. Решалась задача в программном обеспечении FLUENT [13].

В этой модели было учтено влияние давления массы воды и размер отверстия на скорость истечения. В данной статье авторы также исследуют влияние на скорость истечения и направления движения нефти таких параметров, как плотность нефти, скорость течения, глубина воды и место истечения. Результаты исследования могут помочь обнаруживать места утечки и размещать в этих местах улавливающие боновые заграждения [13].

Отличием модели представленной в данной статье от представленной в этой бакалаврской работе является то, в статье вода рассматривается как непрерывная жидкая фаза, а нефть – как дискретная фаза, представленная каплями жидкости сферической формы со средним диаметром, которые моделируются с использованием подхода Эйлера-Лагранжа. Также морские условия эксперимента очень отличаются от речных. Появляются дополнительные параметры такие как глубина, соленость воды, которые потребуется учитывать в модели [13].

2. ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ О ЗАГРЯЗНЕНИИ НЕФТЕПРОДУКТАМИ ВОДНОЙ СРЕДЫ И ЕЕ РЕШЕНИЕ

2.1 Физическая постановка задачи

В данной задаче мы будем рассматривать участок реки с заданной скоростью течения, на дне которого располагается трубопровод в системе подводного перехода. В предполагаемой ситуации происходит повреждение трубопровода и смесь нефтепродуктов непрерывным истечением поступает в открытый водоем (Рисунок 2.1).

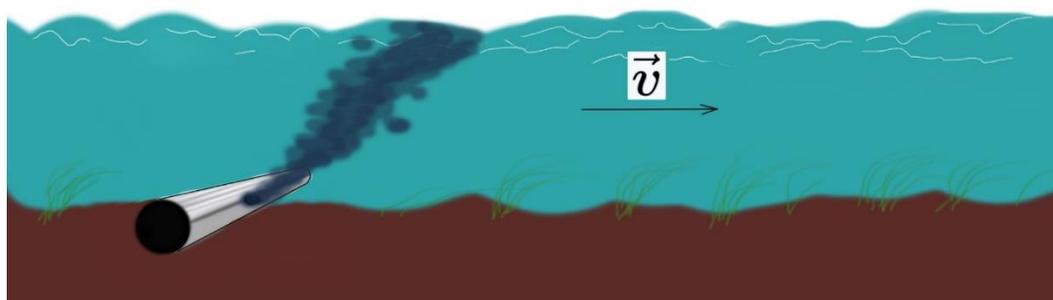


Рисунок 2.1 – Истечение нефти из трубопровода под водой

Влияние на процессы, происходящие в воде при попадании в нее нефтепродуктов зависит от многих параметров: скорость и направление ветра и течения, изменение температуры с изменением глубины, а также характер утечки (постепенное истечение или залповое). Нефть способна испаряться, растворяться, биологически, фото- и термохимически разлагаться, эмульгировать с водой, оседать на дне и всплывать на поверхность, адсорбироваться и абсорбироваться, обволакивать взвешенные частицы, а также потребляться биологическими организмами. Невозможно в одной модели учесть абсолютно все факторы, однако, чем больше факторов будет учтено, тем точнее будут результаты и более схожи с реальными.

В качестве области исследования выбираем часть реки и задаем границы конечной области в том месте, где проходит предполагаемый нефтепровод. На

дне задаем параметры не всего нефтепровода, а только интересующего нас свища, образовавшегося в результате какого-либо повреждения (Рисунок 2.2).



Рисунок 2.2 – Модель области реки с источником загрязнения

Зададим значения плотности, температуры для воды в рассматриваемой области реки. Течения реки совпадает с направлением оси x_1 , а скорость истечения из предполагаемого отверстия нефтепровода с направлением оси x_3 . В данной работе нашей целью является расчет полей концентрации нефтепродуктов, вытекающих из нефтепровода, полей скорости воды и нефти, а также анализ направлений распространения загрязняющих веществ в заданной области для того, чтобы такую ситуацию в дальнейшем можно было прогнозировать.

2.2 Математическая постановка задачи

Математически данная задача сводится к решению уравнений Рейнольдса для турбулентного течения, а также уравнений энергии и концентрации загрязняющей примеси.

Согласно [14] обобщенное дифференциальное уравнение для искомых зависимых переменных (компонент вектора скорости, компонент концентраций, энергии и т.д.) будет иметь следующий вид:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\Phi) + \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\rho u_i \Phi - \Gamma_\Phi \frac{\partial \Phi}{\partial x_i} \right) = S_\Phi \quad (2.1)$$

где t – время; x_i – пространственная координата ($i = 1, 2, 3$); ρ – плотность жидкости; u_i – компонент скорости в направлении x_i , Φ – обобщенная зависимая переменная, Γ_Φ – коэффициент массопереноса и S_Φ – источниковый член. Конкретные значения перечисленных величин приведены в Таблицы 2.1.

Плотность жидкости рассчитывается по уравнению состояния для смесей жидкости:

$$p = \rho RT \sum_{\alpha=1}^2 \frac{c_{\alpha}}{M_{\alpha}}, \quad (2.2)$$

$$\sum_{\alpha=1}^2 c_{\alpha} = 1, \quad (2.3)$$

где p – давление; T – абсолютная температура газа; R – универсальная газовая постоянная; c_{α} – массовая доля α ; α – компонента газовой смеси ($\alpha = 1, 2$, где 1 соответствует нефти, а 2 – остальным компонентам жидкости); M_{α} – молярная масса α -компоненты жидкой фазы.

Таблица 2.1 – Зависимые переменные, эффективные коэффициенты обмена и исходные члены уравнений

Закон сохранения	Φ	Γ_{ϕ}	S_{ϕ}
Массы	1	0	\dot{m}
Импульса	u_i	$\mu + \mu_t$	$-\frac{\partial p}{\partial x_i} + \rho g_i$
Энтальпии	h	$\frac{\mu}{Pr} + \frac{\mu_t}{Pr_t}$	0
Массовой доли компонентов α	c_{α}	$\frac{\mu}{Sc} + \frac{\mu_t}{Sc_t}$	0
Турбулентной кинетической энергии	k	$\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k}$	$\rho(P_k + W_k - \varepsilon)$
Скорости рассеивания турбулентной кинетической энергии	ε	$\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_{\varepsilon}}$	$\rho \frac{\varepsilon}{k} (C_{\varepsilon 1} P_k - C_{\varepsilon 2} \varepsilon + C_{\varepsilon 3} W_k - R_{RNG})$

Здесь h – энтальпия; k – турбулентная кинетическая энергия; ε – скорость диссипации турбулентной кинетической энергии; μ и μ_t – динамические молекулярные и турбулентные вязкости, рассчитанные по уравнениям

$$\mu = \frac{1.479 \cdot 10^{-6} T^{1.5}}{(T + 116.275)} \quad \text{и} \quad \mu_t = \left(\frac{C_{\mu} \rho k^2}{\varepsilon} \right); \quad Pr, Sc, Pr_t \text{ и } Sc_t - \text{молекулярные и}$$

турбулентные числа Прандтля и Шмидта; $\sigma_k, \sigma_{\varepsilon}, C_{\mu}, C_{\varepsilon 1}, C_{\varepsilon 2}, C_{\varepsilon 3}$ – эмпирические

константы турбулентной модели; g_i – ускорение свободного падения; \vec{u} – вектор скорости жидкости, имеющий три составляющие скорости: u_1, u_2, u_3 .

Данная задача решалась с помощью программного обеспечения PHOENICS [1].

2.3 Метод решения задачи

Для записи законов сохранения, массы, энергии, импульса в математической модели мы используем дифференциальные уравнения. В разных дифференциальных уравнениях используются разные величины как зависимые переменные. Чтобы закон сохранения выполнялся должно быть равенство между значениями, влияющими на эту переменную. Зависимые переменные, которые используются в дифференциальных уравнениях математической модели, обычно приобретают свойства, отнесенные к единице массы. В пример можно привести массовую концентрацию компонентов газовой фазы, скорость (т.е., количество движения единицы массы) и удельная энтальпия. Мы используем несколько зависимых переменных в модели, поэтому для каждой из них должны записать обобщенный закон сохранения.

Возьмем символ ϕ , чтобы обозначить зависимую переменную. Тогда обобщенное дифференциальное уравнение будет выглядеть так [14]:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\phi) + \text{div}(\rho u\phi) = \text{div}(\Gamma \text{grad} \phi) + S, \quad (2.1)$$

где Γ – коэффициент диффузии, S – источниковый член. Величины Γ и S зависят от смысла переменной ϕ (они должны были обозначаться как символы Γ_ϕ и S_ϕ , но это затруднит последующие формулы нагромождением индексов). В обобщенное дифференциальное уравнение входят четыре слагаемых: нестационарное, конвективное, диффузионное и источник. Для обозначения различных зависимых переменных служит функция ϕ (концентрация химического компонента; энтальпия; температура; проекции на оси координат компонент вектора скорости; кинетическая энергия турбулентности, ее диссипация или масштаб длины турбулентности). Следовательно,

соответствующее значение для каждой из этих переменных должно быть приведено к коэффициенту диффузии Γ и источниковому члену S [14].

Функция плотности, которая входит в уравнение (2.1), обычно определяется из уравнения состояния и поэтому зависит от массовой концентрации компонентов газовой фазы (для многокомпонентной газовой среды) и температуры. Компоненты вектора скорости, как и остальные переменные, также подчиняются обобщенному дифференциальному уравнению (2.1). Кроме того, поле скорости должно удовлетворять закону сохранения массы или уравнению неразрывности и может быть записано в следующем виде:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \operatorname{div}(\rho u) = 0 \quad (2.2)$$

Уравнения (2.1) и (2.2) можно также записать в декартовой системе координат в дифференциальном виде, т.к. выше они записаны в векторном виде:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \phi) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j \phi) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma \frac{\partial \phi}{\partial x_j} \right) + S, \quad (2.3)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j) = 0, \quad (2.4)$$

здесь индекс j принимает значения: 1, 2 и 3, что соответствует трем пространственным координатам. Наличие двух одинаковых индексов в выражении означает суммирование, то есть наличие трех слагаемых с индексами 1, 2 и 3, например

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j) = \frac{\partial}{\partial x_1}(\rho u_1) + \frac{\partial}{\partial x_2}(\rho u_2) + \frac{\partial}{\partial x_3}(\rho u_3), \quad (2.5)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma \frac{\partial \phi}{\partial x_j} \right) = \frac{\partial}{\partial x_1} \left(\Gamma \frac{\partial \phi}{\partial x_1} \right) + \frac{\partial}{\partial x_2} \left(\Gamma \frac{\partial \phi}{\partial x_2} \right) + \frac{\partial}{\partial x_3} \left(\Gamma \frac{\partial \phi}{\partial x_3} \right). \quad (2.6)$$

Таким образом, используя дифференциальное уравнение (2.1) можно преобразовать этот обобщенный вид в конкретные уравнения с нестационарным, диффузионным и источниковым членами, таким образом, что уравнения

запишутся в стандартном виде для соответствующей зависимой переменной. В каждом из этих уравнений в качестве выражения для Γ записывается коэффициент в выражении $\text{grad}\phi$ в диффузионном слагаемом, а все оставшиеся слагаемые в правой части можно обозначить S (источниковый член). Все используемые нами в математических моделях дифференциальные уравнения, которые описывают процессы тепло- и массообмена, гидродинамику течения и его турбулентный характер, рассматриваются как частные случаи обобщенного дифференциального уравнения обобщенной переменной ϕ . То есть данный подход приводит к тому, что нам достаточно разработать численное решение уравнения (2.1). Следовательно, при создании компьютерной программы, достаточно, разработать общий алгоритм операций решения уравнения вида (2.1), который можно будет применять для различных функций заменяя значение ϕ , при этом необходимо использовать соответствующие выражения слагаемых Γ и S , учитывая в расчетах соответствующие начальные и граничные условия. Таким образом, использование концепции обобщенного уравнения позволяет привести к единообразию решение поставленной задачи и разработать концепцию использования обобщенного численного метода и создать многоцелевые компьютерные программы численного решения поставленных задач [14].

Дискретный аналог для заданного дифференциального уравнения будет представлять собой систему алгебраических уравнений, связывающих значения искомой функции ϕ в совокупности узловых точек. Такого вида уравнения могут быть получены из дифференциальных уравнений, описывающих поведение ϕ . Таким образом дискретный аналог описывает тот же физический процесс подобно соответствующему дифференциальному уравнению. Вхождение значений функции в дискретный аналог в различных узловых точках это следствие того, что выбранные профили носят кусочный характер. Значение ϕ в узловой точке оказывает влияние на распределение ϕ только в его непосредственной близости. По мере того как число точек сетки становится очень большим, решение дискретизации уравнений, как ожидается,

приблизиться к точному решению соответствующего дифференциального уравнения. Следовательно, так как точки сетки становятся все ближе друг к другу, изменение ϕ между соседними точками сетки становится малым, а затем фактические детали профиля становятся несущественны. Для данного дифференциального уравнения, возможно использовать уравнения дискретизации различного вида. Однако предполагается, что при наличии очень большого числа узловых точек дискретные аналоги различных типов, дают практически одно и то же решение. Различные виды решений возникают из-за отличий в допущениях для различных профилей и в методах, с помощью которых производится вывод [14].

Основная идея метода контрольного объема физически легко интерпретируется. Рассматриваемая область решения задачи разбивается на непересекающиеся контрольные объемы так, что в каждом контрольном объеме содержится одна узловая точка. Каждое дифференциальное уравнение интегрируется по всем контрольным объемам. Для вычисления полученных интегралов используются кусочные профили, которые выражают изменения искомой функции ϕ между узловыми точками. В результате интегрирования получим дискретный аналог для каждого дифференциального уравнения. Системы алгебраических уравнений связывают значения функций в узловых точках для каждой искомой переменной [14].

В результате получим дискретный аналог для каждой искомой переменной, которые выражают законы сохранения для каждой ϕ для конечного контрольного объема, так же, как дифференциальное уравнение выражает закон сохранения для бесконечно малого контрольного объема [14].

Важным свойством метода контрольного объема является то, что применение данного метода обеспечивает точное выполнение интегрального сохранения искомым величин: массы, количество движения и энергии на любой совокупности контрольных объемов и, соответственно, по всей расчетной области. Эта свойство выполняется для любого числа точек и не только в предельном случае, когда число точек сетки стремится к бесконечности. То есть,

даже при решении на грубой сетке (несколько контрольных объемов) удовлетворяются точные интегральные балансы [14].

Результаты решения систем алгебраических уравнений относительно неизвестных в узловых точках можно рассматривать с двух сторон. В методах конечных элементов и в большинстве взвешенных остаточных методах, предполагаемая вариация искомой функции, состоящая из значений в узловых точках и интерполяционных функций (или профилей) между узловыми точками считается в качестве приближенного решения. Наоборот, в конечно-разностных методах в качестве решения принимаются значения ϕ в узловых точках и не делается никаких явных правил о характере изменения искомой функции между этими точками. Это подобно ситуации в лабораторном эксперименте, когда распределения получаются в терминах измеренных значений в нескольких отдельных областях без заявления об изменении между данными точками. Данный подход используется в методе контрольного объема и решение ищется в виде значений функции в узловых точках. Использование интерполяционных формул или профилей используется только для оценки требуемых интегральных выражений. После получения дискретных уравнений предположения о использованных профилях не рассматривается. Данный подход позволяет использовать различные профили для интегрирования всех членов дифференциальных уравнений. Для иллюстрации сказанного получим дискретный аналог дифференциального уравнения для простой ситуации [14].

Рассмотрим получение дискретного аналога для трехмерных задач. Имея все компоненты, необходимые для получения уравнения дискретизации, соответствующего обобщенному дифференциальному уравнению, рассмотрим трехмерный случай. Для начала рассмотрим контрольный объем, представленный на рисунке 2.3 для двухмерного случая. Будем рассматривать задачу получения суммарного теплового потока J_e . Найденное выражение будет применимо ко всей грани контрольного объема площадью $\Delta u \times 1$, поэтому сразу записываем дискретный аналог для двухмерной задачи.

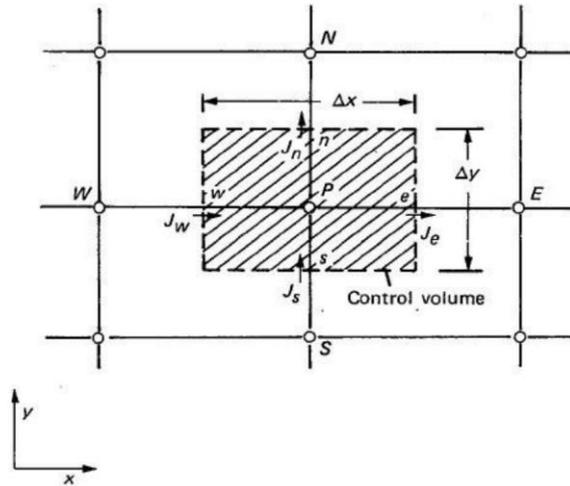


Рисунок 2.3 – Контрольный объем (заштрихованная область) для двухмерного случая

При рассмотрении одномерного случая можно записать, что a_P оказывается равным $a_E + a_W$ только тогда, когда удовлетворено уравнение неразрывности. Таким образом, основное правило о сумме соседних коэффициентов могут удовлетворяться только тогда, когда мы учитываем при выводе уравнение неразрывности. Это утверждение иллюстрируется в [14].

Запишем дискретный аналог, основываясь на общем дифференциальном уравнении (2.1). Таким образом, для трехмерной задачи (с T и B, представляющими верхнюю и нижнюю грани в направлении оси z)

$$a_P \phi_P = a_E \phi_E + a_W \phi_W + a_N \phi_N + a_S \phi_S + a_T \phi_T + a_B \phi_B + b, \quad (2.7)$$

где

$$\begin{aligned} a_E &= D_e A(|P_e|) + [|-F_e, 0|]; & a_W &= D_w A(|P_w|) + [|F_w, 0|]; \\ a_N &= D_n A(|P_n|) + [|F_n, 0|]; & a_S &= D_s A(|P_s|) + [|-F_s, 0|]; \\ a_T &= D_t A(|P_t|) + [|-F_t, 0|]; & a_B &= D_b A(|P_b|) + [|F_b, 0|]; \\ b &= S_C \Delta x \Delta y \Delta z + a_P^0 \phi_P^0; \end{aligned} \quad (2.8)$$

$$a_P = a_E + a_W + a_N + a_S + a_P - S_P \Delta x \Delta y \Delta z; \quad a_P^0 = \rho_P^0 \Delta x \Delta y \Delta z / \Delta t.$$

Расходы и проводимости определяются следующим образом:

$$\begin{aligned}
F_e &= (\rho u)_e \Delta y \Delta z; D_e = \frac{\Gamma_e \Delta y}{(\delta x)_e}; \\
F_w &= (\rho u)_w \Delta y \Delta z; D_w = \frac{\Gamma_w \Delta y}{(\delta x)_w}; \\
F_n &= (\rho v)_n \Delta z \Delta x; D_n = \frac{\Gamma_n \Delta x}{(\delta y)_n}; \\
F_s &= (\rho v)_s \Delta z \Delta x; D_s = \frac{\Gamma_s \Delta x}{(\delta y)_s}; \\
F_t &= (\rho w)_t \Delta x \Delta y; D_t = \frac{\Gamma_t \Delta x}{(\delta y)_t}; \\
F_b &= (\rho w)_b \Delta x \Delta y; D_b = \frac{\Gamma_b \Delta x}{(\delta y)_b}.
\end{aligned} \tag{2.9}$$

Число Пекле P определяется как отношение F и D , таким образом, $P_e = F_e/D_e$ и т. д. Для аппроксимации со степенным законом функция $A(|P|)$ имеет вид

$$A(|P|) = [0, (1 - 0,1|P|)^5]. \tag{2.10}$$

2.4 Применение программного обеспечения PHOENICS для моделирования

PHOENICS – это программное обеспечение для моделирования потоков жидкости, тепла или массопереноса, а также химических реакций и процесса сжигания материалов. Данное программное обеспечение может применяться для решения задач различных направленностей во многих сферах деятельности [1].

Создание модели распространения нефтепродуктов в водной среде в программе PHOENICS.

Первый этап. Выбираются геометрические и физические параметры области водоема: длина по x_1 – 6 м, ширина по x_2 – 4 м, глубина по x_3 – 2 м; плотность воды $\rho_1 = 1000 \text{ кг/м}^3$.

Второй этап. Задается источник загрязнения на дне водоема с определенными характеристиками. Центр площади свища находится по таким координатам: по x_1 – 2 м, по x_2 – 2 м, по x_3 – 0,05 м. Плотность нефти $\rho_2 = 800 \text{ кг/м}^3$. Концентрация нефти задается единицей, это означает, что во всем объеме

воды концентрация нефти будет распределяться от 0 до 1. Чтобы транспортировать нефть, ее обычно подогревают в специально предназначенных пунктах. В данном случае обозначим температуру нефти в момент ее вытекания из трубопровода: в первом случае – $t_{н1} = 5^{\circ}\text{C}$, во втором – $t_{н2} = 15^{\circ}\text{C}$. Зададим скорость истечения нефтепродуктов из трубопровода по x_3 $w = 0,6$ м/с.

Третий этап. Устанавливаются внешние факторы, влияющие на распространение веществ: температура воды $t_b = 10^{\circ}\text{C}$. Скорость течения реки в первом случае – $v_1 = 0,5$ м/с, а во втором $v_2 = 1$ м/с. Задается также гравитация, а испарение нефти с поверхности воды в этой модели не учитывается.

Четвертый этап. Настраивается плотность сетки и размер контрольных объемов и устанавливается время счета задачи $t = 20$ сек.

Пятый этап. Производятся расчеты распределения концентрации нефти и скоростей.

2.5 Результаты

Задача о загрязнении нефтепродуктами водной среды решалась численно. Достоверность задачи проверялось уменьшением размеров контрольных объемов. Результаты в работе будут представлены в двумерных изображениях по осям x_1x_3 или x_1x_2 .

На Рисунке 2.4 можно видеть полученные распределения концентрации загрязнения в реке. Наибольшие значения концентрации $C_1 = 0,969; 0,909; 0,848$ находятся непосредственно рядом с местом истечения нефти из трубы и изображены на рисунке красным цветом. По мере переноса загрязняющих веществ течением реки нефтяное пятно эмульгирует с водой и распространяется – концентрация уменьшается. Значения концентрации при этом будут равны $C_1 = 0,788-0,242$; это показано диапазоном цветов от желтого до голубого. В области, где концентрация $C_1 = 0$ находится только вода.

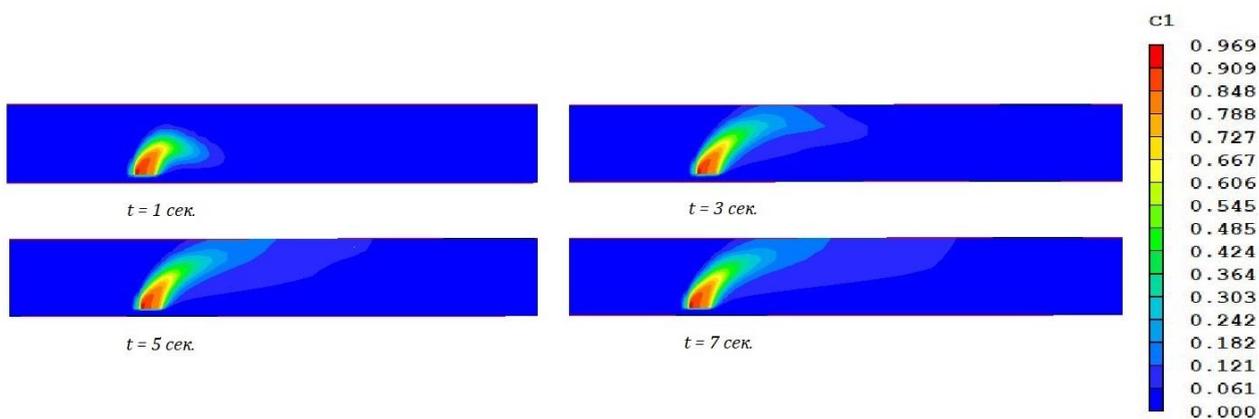


Рисунок 2.4 – Распределение концентрации C_1 в разные моменты времени (вид сбоку по оси x_1x_3)

Рассчитаем количество нефти, вытекшей за время эксперимента при данных параметрах по формуле:

$$m = C_1 \cdot w \cdot S \cdot t, \quad (2.11)$$

где m – количество нефти, кг; C_1 – концентрация нефти; w – скорость истечения нефти из трубопровода; S – площадь свища; t – время истечения.

Для концентрации нефти $C_1 = 1$, площади отверстия $S_1 = 0,0225 \text{ м}^2$, скорости истечения $w = 0,6 \text{ м/с}$, и времени проведения расчетов $t = 20 \text{ сек.}$ количество нефти $m_1 = 1 \cdot 0,6 \cdot 0,0225 \cdot 20 = 0,27 \text{ кг.}$

Вид сверху на поверхность воды представлен на Рисунке 2.5. По мере распространения пятна в воде нефтяное пятно на поверхности приобретает форму подковы, это происходит потому, что поток загрязняющего вещества в силу своей плотности тормозит течение реки. В созданной модели при глубине реки 2 м нефть касается поверхности на 5 секунде после начала истечения. При этом расстояние от места всплытия до нефтепровода составляет 3 м.

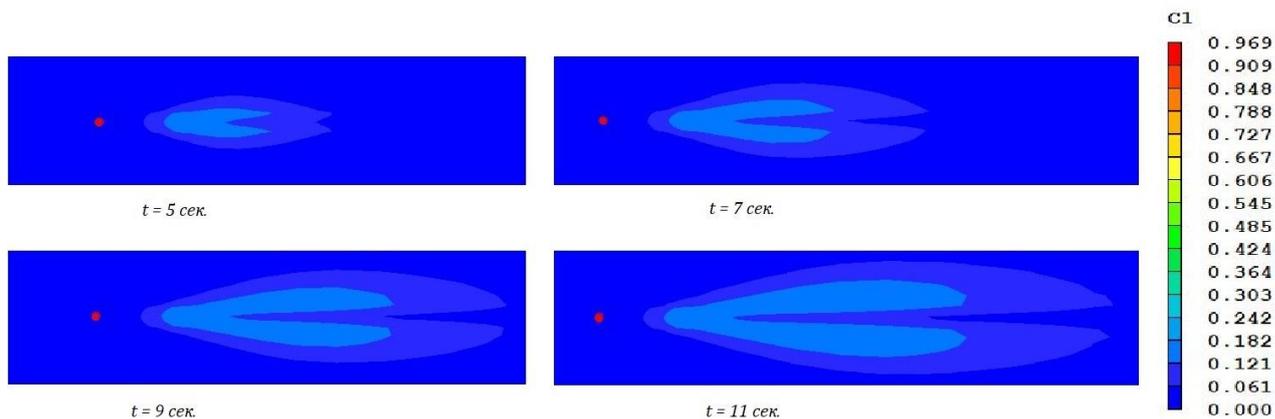


Рисунок 2.5 – Распределение концентрации C_1 нефтяного потока на поверхности воды в различные моменты времени (вид сверху по осям x_1x_2)

На рисунке 2.6 отчетливо видно замедление скорости течения реки перед истекающей нефтью, это обозначено синем и голубым цветами из цветового диапазона скоростей.

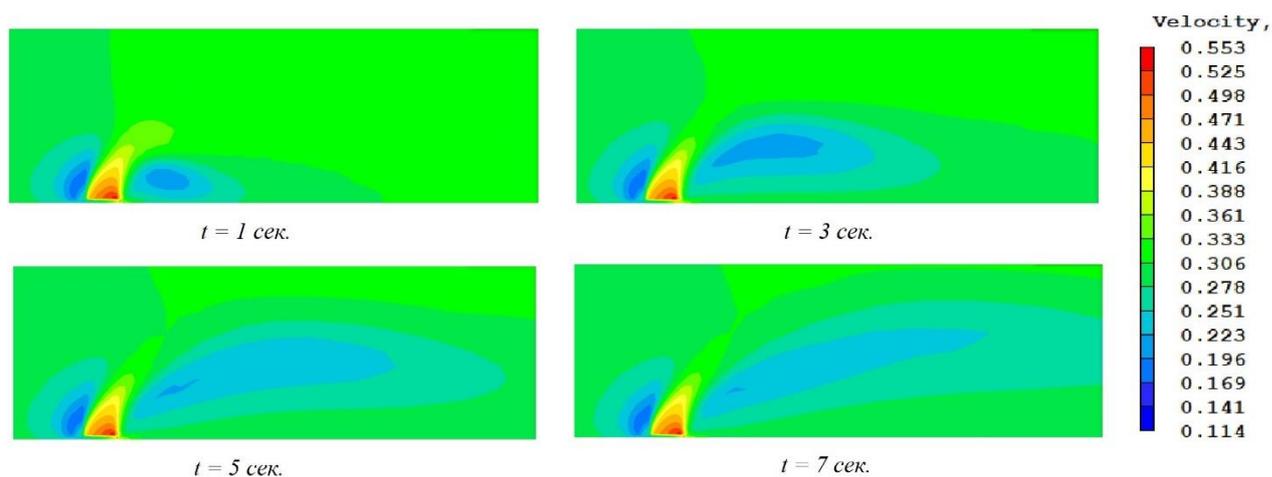


Рисунок 2.6 – Поля скоростей нефтяного потока в воде

На рисунке 2.7 скорость течения реки увеличена с 0,3 м/с до 1 м/с. Нефтяные эмульсии будут переноситься течением реки на более далекое расстояние и достигнут поверхности через большее количество времени. По приблизительным расчетам увидеть унесенные течением пятна на поверхности реки можно будет через 12 м от места, где располагается нефтепровод.

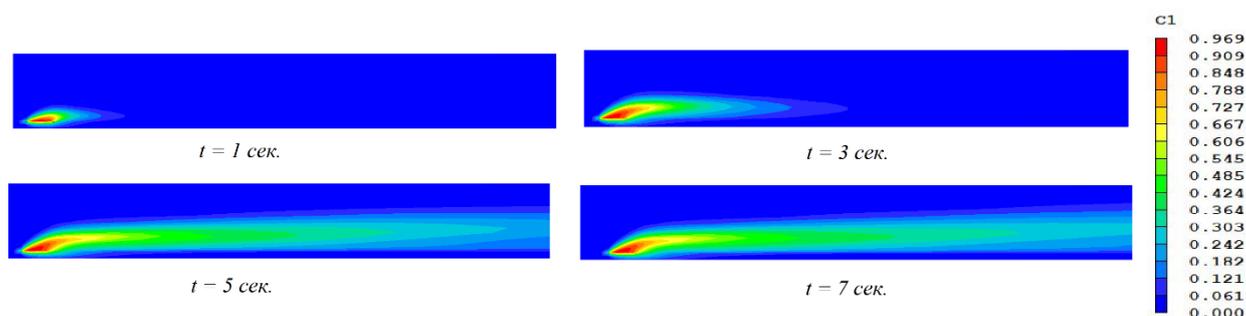


Рисунок 2.7 – Распределения концентрации C_1 при большей скорости течения реки

В данной ситуации целесообразно будет установить датчики, улавливающие углеводородные соединения, на расстоянии 3–4 м от трубопровода. Очевидно, что чем раньше оповещающие сигналы датчиков поступят на транспортирующие станции и авария будет обнаружена, тем быстрее будут приняты меры по ее ликвидации.

На рисунке 2.8 увеличена температура нефти (в условном месте подогрева, но фактически в месте источника истечения) с 10°C до 20°C : при прежней скорости течения и истечения из трубы она всплывает быстрее. Однако количество выплывшей нефти не изменится, т. к. теплые потоки нефти ускоряются в направлении к поверхности в более холодной водной среде только при непосредственном попадании в воду.

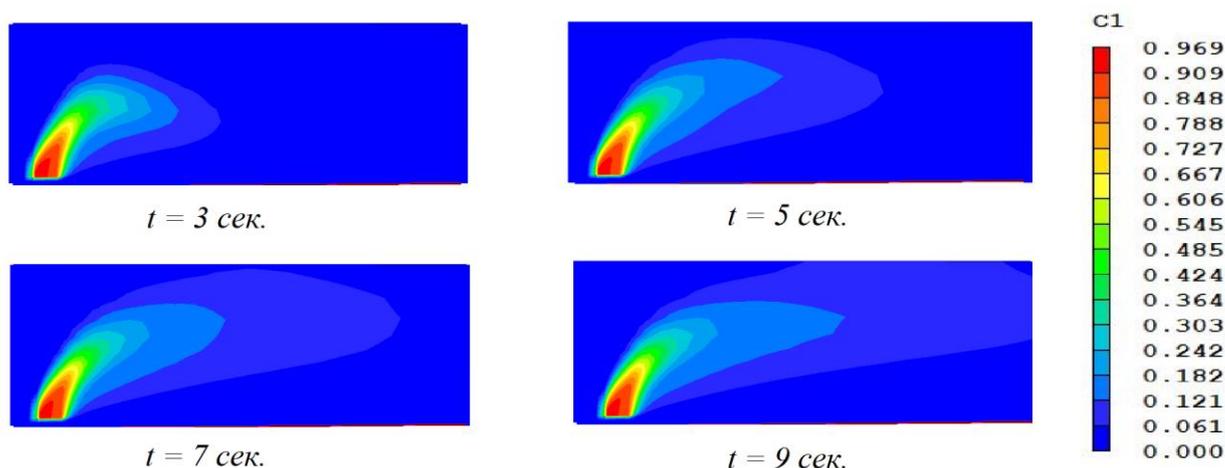


Рисунок 2.8 – Распределения концентрации C_1 при большей температуре нефти

В данной ситуации чем быстрее нефть выйдет на поверхность воды, тем быстрее ее легкие фракции начнут испаряться с поверхности и тем быстрее можно будет обнаружить утечку. Объем вытекшей нефти и ее пагубное воздействие на

окружающую среду может быть очень значительным даже при небольшом отверстии, если с момента образования свища прошло много времени.

Увеличим отверстие свища с $S_1 = 0,0225 \text{ м}^2$ до $S_2 = 0,09 \text{ м}^2$. Как видно на рисунке 2.9, уже в первые 3 секунды после начала отсчета рядом с источником истечения количество вытекающей нефти стало больше, что демонстрирует концентрация в оранжевом и красном диапазоне. Рассчитаем количество нефти, вытекшей из большей площади отверстия за время эксперимента. Для площади отверстия $S_2 = 0,09 \text{ м}^2$ количество нефти $m_2 = 1 \cdot 0,6 \cdot 0,09 \cdot 20 = 1,08 \text{ кг}$. Сравнивая с m_1 при $S_1 = 0,0225 \text{ м}^2$ можно сделать вывод, что количество уплывшей нефти увеличилось на 0,81 кг.

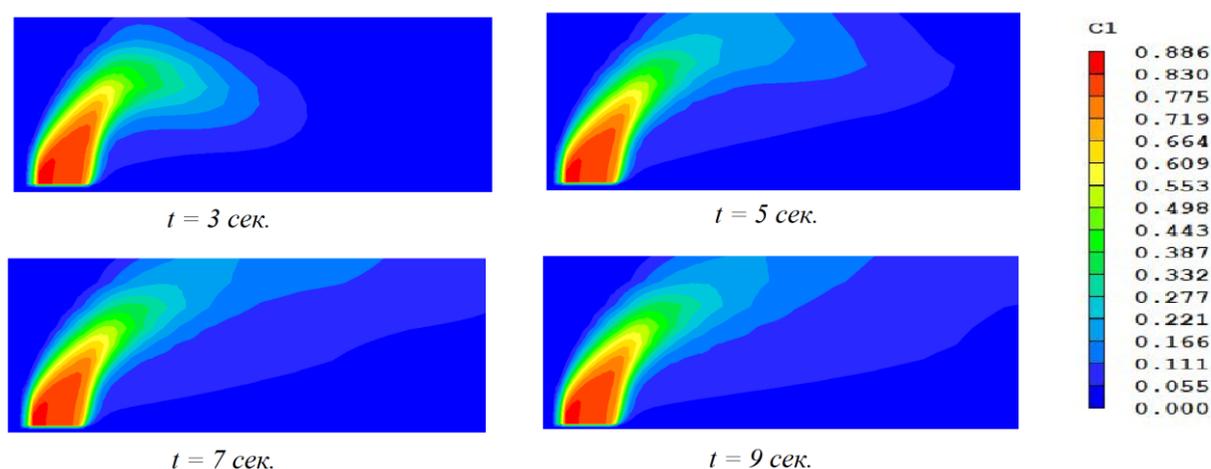


Рисунок 2.9 – Распределения концентрации C_1 при большем отверстии свища

Если сравнивать с реальной ситуацией, то в таком случае нефтепродукты из трубопровода должны вытекать порционно, небольшими сгустками. Между данной моделью и реальностью есть небольшие расхождения. То есть в дальнейшем, при наличии дополнительных экспериментальных данных, представляет интерес провести подобные расчеты.

3. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

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

3.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Суть выпускной квалификационной работы по теме «Математическое моделирование распространения нефтепродуктов в русле реки» заключается в моделировании ситуации аварии на трубопроводах с помощью программного обеспечения PHOENICS [1] и получении распределения концентрации загрязняющего вещества в местах переходов через водные объекты в различные моменты времени. В работе также проведена проверка на соответствие установленным требованиям промышленной безопасности и изучены некоторые рекомендации по устранению выявленных нарушений.

В ходе определения целей работы были определены следующие задачи [15]:

- выявить потенциальных потребителей результатов исследования;
- сделать анализ конкурентных технических решений;
- провести SWOT-анализ;
- распланировать структуру работы в рамках научного исследования;
- определить трудоемкость работ;
- разработать график проведения научного исследования;
- рассчитать бюджет научно-технического исследования (НТИ);
- оценить эффективность исследования.

Потенциальными потребителями результатов исследования могут быть специализированные нефтедобывающие предприятия, ГУ МЧС, прогнозирующие организации.

3.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения, а также помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы повысить конкурентоспособность исследования [15].

Таблица 3.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработки)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _{к1}	Б _{к2}	Б _{к3}	К _{к1}	К _{к2}	К _{к3}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
Удобство эксплуатации	0,07	3	2	4	0,21	0,14	0,28
Автоматический расчет уравнений программой	0,08	5	3	5	0,4	0,24	0,4
Простота эксплуатации	0,18	3	4	5	0,54	0,72	0,9
Качество интеллектуального интерфейса	0,1	4	4	5	0,4	0,4	0,5
Визуальное представление результатов	0,17	5	2	5	0,85	0,34	0,85
Экономические критерии оценки эффективности							
Конкурентоспособность продукта	0,09	4	3	3	0,36	0,27	0,27
Точность	0,14	5	5	5	0,7	0,7	0,7
Финансирование разработки	0,07	4	2	3	0,28	0,14	0,21
Цена лицензии	0,1	5	2	3	0,5	0,2	0,3
Итого	1	38	27	38	4,24	3,15	4,41

где К₁ – программное обеспечение HyperSuite (HYPER3D); К₂ – программа Matlab, К₃ – программное обеспечение PHOENICS.

Таким образом, конкурентоспособность разработки составила 4,41, в то время как двух других программ (HyperSuite и Matlab) 4,24 и 3,15 соответственно.

Результаты показывают, что данная научно-исследовательская разработка является конкурентоспособной и имеет преимущества по таким показателям, как простота эксплуатации, качество интеллектуального интерфейса.

3.1.3 SWOT-анализ

SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта. Он проводится в несколько этапов.

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

В рамках третьего этапа лежит составление итоговой матрицы SWOT-анализа. Результаты учитываются при разработке структуры работ, выполняемых в рамках исследования [15].

Таблица 3.2 – SWOT-анализ

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Более низкая стоимость, по сравнению с другими технологиями.</p> <p>С2. Использование современного оборудования</p> <p>С3. Наличие опытного руководителя.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Отсутствие квалифицированных кадров для работы с программой.</p> <p>Сл2. Время, затрачиваемое на расчет в программе и построение графиков (30-40 минут).</p>
--	---	--

Продолжение таблицы 3.2

	<p>С4. Представление полученных результатов наглядно (графики, формулы, таблицы).</p> <p>С5. Актуальность программы</p>	<p>Сл3. Отсутствие дополнительных функций в программе.</p> <p>Сл4. Ограниченная область применения.</p> <p>Сл5. Медленный процесс вывода на рынок новой технологии.</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Повышение стоимости конкурентных разработок</p> <p>В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт</p> <p>В3. Повышение уровня предотвращения загрязнения экосистем.</p> <p>В4. Повышение уровня оперативного реагирования спец. служб.</p> <p>В5. Повышение уровня локализации загрязнения.</p>	<p>- В результате низкой стоимости продукт могут позволить себе многие организации;</p> <p>- В результате использования современных технологий повысится скорость локализации экологического загрязнения;</p> <p>- При вышеперечисленных возможностях мы добьемся наглядного распространения загрязнения и его более быстрой локализации.</p>	<p>- При отсутствии навыков владения программой, результаты будут неточными или в корне неверны, вследствие чего модель распространения будет отличаться от действительной ситуации.</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Неумение персонала пользоваться программой.</p> <p>У2. Появление конкурентов.</p> <p>У3. Появление новых технологий.</p> <p>У4. Отсутствие спроса на разработку.</p> <p>У5. Введение дополнительных государственных требований и сертификации на разработку.</p>	<p>- Спрос программы не будет теряться из-за финансовой выгоды моделирования, в сравнении с экспериментальными методами прогнозирования, т.к. подобные методы опасны для экологии и несут колоссальные материальные затраты.</p> <p>- В силу малых затрат проекта представляется возможность вложения дополнительных денежных средств в развитие других услуг, таких как сертификация.</p>	<p>- Расширить области применения разработки;</p> <p>- Сократить время подсчета программой.</p>

Второй этап – выявление соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта [15].

Таблица 3.3 – Интерактивная матрица проекта

		Сильные стороны проекта					Слабые стороны проекта				
		C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	Сл ₁	Сл ₂	Сл ₃	Сл ₄	Сл ₅
Возможности проекта	B ₁	+	-	0	-	+	+	+	+	+	0
	B ₂	+	-	-	+	0	-	-	-	-	0
	B ₃	-	+	+	+	+	0	-	-	0	-
	B ₄	-	+	+	+	+	0	-	-	0	-
	B ₅	-	+	+	+	+	0	-	-	0	-
Угрозы проекта	У ₁	+	+	+	0	-	+	-	+	-	0
	У ₂	-	+	+	-	0	+	+	0	+	+
	У ₃	0	+	+	0	-	+	+	+	+	0
	У ₄	-	+	+	-	0	+	+	+	+	0

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие:

- сильных сторон и возможностей: B₁C₁C₅, B₂C₁C₄, B₃B₄B₅C₂C₃C₄C₅;
- слабых сторон и возможностей: B₁Сл₁Сл₂ Сл₃Сл₄;
- сильных сторон и угроз: У₁C₁C₂C₃, У₂C₂C₃, У₃У₄C₂C₃, У₅C₂C₅;
- слабых сторон и угроз: У₁Сл₁Сл₃, У₂Сл₁Сл₂Сл₄Сл₅, У₃У₄Сл₁Сл₂Сл₃Сл₄, У₅Сл₅.

3.2 Планирование научно-исследовательских работ

3.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

В данном пункте необходимо составить перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, провести распределение исполнителей по видам работ.

Таблица 3.4 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ работы	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение темы ВКР	Руководитель
	2	Календарное планирование ВКР	Студент
Выбор направления исследования	3	Подбор материала по теме ВКР	Студент

Продолжение таблицы 3.4

Теоретические исследования	4	Изучение литературы по теме ВКР	Студент
	5	Написание теоретической части ВКР	Руководитель, студент
	6	Подведение промежуточных итогов	Студент
	7	Изучение компьютерной программы для практической части ВКР	Студент
Экспериментальные исследования	8	Моделирование распространения нефти в воде в программном обеспечении «PHOENICS»	Руководитель, студент
	9	Проведение расчетов и обоснований по теме ВКР	Руководитель, студент
Оценка полученных результатов	10	Анализ полученных результатов	Руководитель, студент
	11	Подведение итогов	Студент
	12	Оформление итогового варианта ВКР	Студент

3.2.2 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 значения трудоемкости $t_{ожи}$ используется следующая формула [15]:

$$t_{ожи} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5}, \quad (3.1)$$

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

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

t_{maxi} – 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_{pi} , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, т.к. удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 % [15].

$$T_{pi} = \frac{t_{ожи}}{Ч_i}, \quad (3.2)$$

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

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

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел. [15].

3.3 Разработка графика проведения научного исследования

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 [15]:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал}, \quad (3.3)$$

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

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

$k_{кал}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле [15]:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}}, \quad (3.4)$$

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

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

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

Таблица 3.5 – 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_{mini} , чел-дни	t_{maxi} , чел-дни	$t_{ожи}$, чел-дни			
Составление и утверждение темы проекта	3	7	4,6	Руководитель	4,6	6,9
Анализ актуальности темы	2	5	3,2	Студент	3,2	4,7
Поиск и изучение материала по теме	15	30	21	Студент	21	31,0
Выбор направления исследований	2	5	3,2	Руководитель, студент	1,6	2,4
Изучение литературы по теме	20	30	24	Студент	24	35,5
Подбор нормативных документов	15	25	19	Студент	19	28,1
Изучение ПО «PHOENICS»	10	20	14	Руководитель, студент	9,3	13,8
Моделирование загрязнения нефтепродуктами водной среды	30	35	32	Руководитель, студент	21,3	31,5
Изучение результатов	10	12	10,8	Руководитель, студент	7,2	10,6
Анализ результатов	2	5	3,2	Студент	3,2	4,7
Вывод по цели	1	3	1,8	Студент	1,8	2,7

На основании таблицы 3.5 строим календарный план-график 3.6.

Календарный план-график приведен в Приложении А.

3.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением [15].

3.4.1 Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле [15]:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхi}, \quad (3.5)$$

где m – количество видов материальных ресурсов, используемых при выполнении научного исследования; $N_{расхi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.); C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.); k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Таблица 3.7 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (Зм), руб.
Бумага	лист	200	2,5	600
Краска для принтерных картриджей	шт.	1	1250	1500
Интернет	мес.	3	350	1260
Книги с дополнительной литературой	шт.	1	450	540
Ручки	шт.	1	80	96
Тетради	шт.	1	100	120
Итого				4116

3.4.2 Расчет затрат на программное обеспечение для научных (экспериментальных) работ

Стоимость программного обеспечения (ПО), используемого при выполнении данной научно-исследовательской работы, учитывается в калькуляции в виде амортизационных отчислений. Определить годовую величину амортизационных отчислений методом уменьшаемого остатка можно так:

$$K = \left(\frac{1}{n} \right) \cdot 100\%, \quad (3.6)$$

где K – годовая величина амортизационных отчислений; n – срок эксплуатации в годах.

Размер ежемесячных расходов будущих периодов в течение 3-х лет эксплуатации ПО:

$$A = \frac{C \cdot K}{12}, \quad (3.7)$$

где A – размер ежемесячных расходов будущих периодов; C – первичная стоимость имущества.

Таблица 3.8 – Расчет бюджета затрат на приобретение программного обеспечения для научных работ

№ п/п	Наименование ПО	Стоимость ПО, руб.	Размер ежемесячных расходов, руб.	Размер расходов за 3 месяца, руб.
1.	Программное обеспечение «PHOENICS»	4500	125	375
2.	MicrosoftOffice	3250	90	270
Итого				645

3.4.3 Основная заработная плата исполнителей темы

В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20–30 % от тарифа или оклада [15]. Расчет основной заработной платы сводится в таблице 3.9.

Таблица 3.9 – Расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудоемкость, чел.-дн.	Заработная плата на один чел.-дн., тыс. руб	Всего заработная плата по тарифу (окладам), тыс. руб.
1.	Составление и утверждение темы проекта	Научный руководитель	4,6	1,207	5,6
2.	Анализ актуальности темы	Студент	3,2	0,167	0,5
3.	Поиск и изучение материала по теме	Студент	21	0,167	3,5

Продолжение таблицы 3.9

4.	Выбор направления исследований	Руководитель, студент	3,2	1,374	4,4
5.	Изучение литературы по теме	Студент	24	0,167	4,0
6.	Подбор нормативных документов	Студент	19	0,167	3,2
7.	Изучение ПО «PHOENICS»	Руководитель, студент	14	1,374	19,2
8.	Моделирование загрязнения нефтепродуктами водной среды	Руководитель, студент	32	1,374	44,0
9.	Изучение результатов	Руководитель, студент	10,8	1,374	14,8
10.	Анализ результатов	Студент	3,2	0,167	0,5
11.	Вывод по цели	Студент	1,8	0,167	0,3
Итого					100

Проведем расчет заработной платы относительно того времени, в течение которого работал руководитель и студент.

$$Z_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}, \quad (3.8)$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата;

$Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата (12-20 % от $Z_{\text{осн}}$) [15].

Основная заработная плата $Z_{\text{осн}}$ руководителя (студента) рассчитывается по следующей формуле [15]:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p, \quad (3.9)$$

где T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дн.;

$Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле [15]:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (3.10)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года ($M=10,4$ месяца, 6-дневная неделя); F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Таблица 3.10 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Бакалавр
Календарные дни	365	365
Количество нерабочих дней (выходные и праздничные дни)	118	118
Потери рабочего времени (отпуск, невыходы по болезни)	92	92
Действительный годовой фонд рабочего времени	155	155

Месячный должностной оклад работника [15]:

$$Z_m = Z_{tc} \cdot k_p, \quad (3.11)$$

где Z_{tc} – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

k_p – районный коэффициент ($k_p=1,3$).

Месячный оклад руководителя составляет 18000 рублей, а студента – 2500 рублей.

Таблица 3.11 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	Z_{tc} , руб.	k_p	Z_m , руб.	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	13850	1,3	18000	1207	155	78000
Студент	1923	1,3	2500	167	155	22000

3.4.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле [15]:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{доп}, \quad (3.12)$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15). Таким образом, заработная плата руководителя равна 88140 рублей, студента – 24860 рублей.

3.4.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы [15]:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (3.13)$$

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

На 2019 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании п. 6 ч. 1 ст. 58 закона №212-ФЗ для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2019 году водится пониженная ставка – 28 % [15].

Таблица 3.12 – Отчисления во внебюджетные фонды

	Исполнители	
	Руководитель проекта	Студент
Основная заработная плата, руб	78000	22000
Дополнительная заработная плата, руб	88140	24860
Коэффициент отчислений	0,28	
Итого	46519,2	13120,8

3.4.6 Накладные расходы

Величина накладных расходов определяется по формуле [15]:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 7) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (3.14)$$

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

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%. Таким образом, накладные расходы будут составлять: $Z_{\text{накл}} = 4116 \cdot 0,16 = 659$ руб.

3.4.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Таблица 3.13 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	Примечание
1. Материальные затраты НТИ	4116	Пункт 1.4.1

Продолжение таблицы 3.13

2. Затраты на программное обеспечение для научных (экспериментальных) работ	645	Пункт 3.4.2
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	100000	Пункт 3.4.3
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	113000	Пункт 3.4.4
5. Отчисления во внебюджетные фонды	59639	Пункт 3.4.5
6. Накладные расходы	659	Пункт 3.4.6
7. Бюджет затрат НТИ	58781	Сумма ст. 1-6

3.5 Определение эффективности исследования

В ходе исследования была выполнена цель – проектирование и создание конкурентоспособной разработки, представляющей собой модель загрязнения водной среды нефтью.

Потенциальными потребителями результата исследования могут быть специализированные нефтедобывающие предприятия, ГУ МЧС, прогнозирующие организации и др.

Был проведен анализ конкурентных технических решений, где получен коэффициент исследования конкурентных показателей. Коэффициент является более высоким по сравнению с конкурирующими программами (HyperSuite и Matlab), с чего можно сделать вывод о том, что исследование, осуществляющееся в ПО PHOENICS [1], является наиболее эффективным.

В процессе исследования проведен SWOT-анализ и выявлены сильные и слабые стороны разработки, а также возможности и угрозы. Результаты SWOT-анализа учитываются при разработке структуры работ, выполняемых в рамках научно-исследовательского проекта.

Выявленная эффективность исследования, которая имеет больше экологический характер, т.к. последствия ЧС влияют на жизнедеятельность экосистем и людей, в прилегающих территориях. И если оперативно определить масштабы проблемы, то выполнение работ по ликвидации и локализации ЧС затратят в разы меньшее количество времени и материальных ресурсов, уменьшая экологические последствия на окружающую среду и уменьшая время пребывания ликвидаторов на опасной территории.

Результаты математического моделирования разливов нефти могут быть использованы при разработке профилактических мероприятий по предотвращению распространения загрязнения, ускоряя работу средств быстрого реагирования и систем раннего мониторинга.

4. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Одной из важнейших ролей в вопросе обеспечения безопасности жизнедеятельности является социальная ответственность. Охрана труда является системой, которая включает в себя следующие мероприятия: правовые, социально-экономические, санитарно-гигиенические, организационно-технические и другие.

К нормативным актам, регулирующих вопросы охраны труда, в первую очередь относится Трудовой кодекс Российской Федерации. Трудовой кодекс, охватывает вопросы от правового возникновения трудовых отношения, до детального рассмотрения трудового договора, времени отдыха и профессиональной подготовки работника, охраны труда, разрешения трудовых споров и т.д.

В данной работе создана математическая модель нефтяного загрязнения в водном потоке с разрывом подводного перехода нефтепровода. Модель позволяет сделать предположение о том, как будет развиваться ситуация при разливе нефти под водой. После расчетов и установления тенденции распространения загрязнения, возможно проведение мониторинга загрязнения под водой при помощи специальных датчиков, которые помогут заблаговременно узнавать об аварийной ситуации связанной с разливом нефти.

Работа предполагает использование персональной электронновычислительной машины – персонального компьютера (ПК). Работа представляет собой сбор информации, её обработка, проведение расчётов. А также составление рекомендаций, на основе полученных данных. Выполняется в закрытом помещении на ПК, с помощью которого обрабатывается вся информация.

В данном разделе будут рассмотрены и выявлены вредные и опасные производственные факторы при работе с ПЭВМ; определены способы снижения действия вредных факторов до безопасных пределов или, по возможности, полного их исключения; рассмотрены вопросы техники пожарной безопасности и охраны окружающей среды.

4.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

1. Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства.

Право работников на труд в безопасных условиях, то есть отвечающим требованиям охраны труда, закреплено в статье 219 Трудового кодекса РФ [16].

Каждый работник имеет право [16]:

- на рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда;
- быть застрахованным в системе обязательного социального страхования от несчастных случаев;
- отказаться от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда, за исключением случаев, предусмотренных федеральными законами, до устранения такой опасности;
- получить средства индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя;
- направить запрос о проведении проверки условий и охраны труда на его рабочем месте;
- лично или через своих представителей участвовать в рассмотрении вопросов, связанных с обеспечением безопасных условий труда на его рабочем месте, и в расследовании происшедшего с ним несчастного случая на производстве или профессионального заболевания;
- на внеочередной медицинский осмотр за счет работодателя в соответствии с медицинскими рекомендациями с сохранением за ним места работы (должности) и среднего заработка во время прохождения указанного медицинского осмотра (обследования).

2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.

Рациональная планировка рабочего места предусматривает четкий порядок и постоянство размещения предметов, средств труда и документации.

То, что требуется для выполнения работ чаще должно располагаться в зоне легкой досягаемости рабочего пространства.

Оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах досягаемости рук [17]:

- дисплей размещается в зоне максимальной досягаемости рук (в центре);
- клавиатура – в зоне оптимального пространства для грубой ручной работы; – системный блок размещается в зоне в зоне зона досягаемости пальцев при вытянутой руке;
- принтер находится в зоне максимальной досягаемости рук (сбоку);
- документация размещается в зоне легкой досягаемости ладони (литература и документация, необходимая при работе); в выдвижных ящиках стола – литература, не используемая постоянно.

Высота рабочей поверхности стола рекомендуется в пределах 680-800 мм. Высота рабочей поверхности, на которую устанавливается клавиатура, должна быть 650 мм. Рабочий стол должен быть шириной не менее 700 мм и длиной не менее 1400 мм. Должно иметься пространство для ног высотой не менее 600 мм, шириной – не менее 500 мм, глубиной на уровне колен – не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног – не менее 650 мм.

Рабочее кресло должно быть подъемно-поворотным и регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а также расстоянию спинки до переднего края сиденья. Рекомендуется высота сиденья над уровнем пола 420-550 мм. Конструкция рабочего кресла должна обеспечивать: ширину и глубину поверхности сиденья не менее 400 мм; поверхность сиденья с заглубленным передним краем.

Монитор должен быть расположен на уровне глаз оператора на расстоянии 500-600 мм. Согласно нормам, угол наблюдения в горизонтальной плоскости должен быть не более 45° к нормали экрана. Лучше если угол обзора будет составлять 30°. Кроме того должна быть возможность выбирать уровень контрастности и яркости изображения на экране.

При однообразной умственной работе, требующей значительного нервного напряжения и большого сосредоточения, рекомендуется выбирать неяркие, малоконтрастные цветочные оттенки, которые не рассеивают внимание (малонасыщенные оттенки холодного зеленого или голубого цветов). При работе, требующей интенсивной умственной или физической напряженности, рекомендуются оттенки теплых тонов, которые возбуждают активность человека [17].

4.2 Производственная безопасность

ПЭВМ, безусловно, увеличивает производительность человека при выполнении работ, но может оказывать вредное воздействие на организм работающего за ПК. Опасные и вредные факторы, которые постоянно или периодически действуют на человека за работой на ПК, представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Опасные и вредные факторы при работе на ПК

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-74)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Работа за ПЭВМ: 1. рабочее место; 2. кондиционеры и различные печатающие устройства; 3. искусственное освещение; 4. системный блок, монитор; 5. выполнение должностных обязанностей.	1. отклонение показателей микроклимата; 2. повышенный уровень шума; 3. недостаточная освещенность рабочей зоны; 4. напряженность, монотонность трудового процесса	1. электрический ток; 2. возникновение пожара	Параметры микроклимата устанавливаются СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [18]. Параметры шума устанавливаются СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [18]. Параметры освещенности рабочей зоны устанавливаются СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 [19].

Обоснование допустимых норм вредных и опасных факторов на работающего на ПЭВМ и рекомендации по уменьшению воздействия вредных и опасных факторов.

1. Микроклимат

Микроклимат производственных помещений – это климат внутренней среды помещений, который определяется действующими на организм сочетаниями температуры, влажности и скорости движения воздуха, а также температуры окружающих поверхностей. Показатели микроклимата должны обеспечивать сохранение теплового баланса человека с окружающей средой и поддержание оптимального или допустимого теплового состояния организма человека [20].

Оптимальные микроклиматические при воздействии на человека в течение рабочей смены обеспечивают сохранение теплового состояния организма и не вызывают отклонений в состоянии здоровья. Допустимые микроклиматические условия могут приводить к незначительным дискомфортным тепловым ощущениям. Возможно временное (в течение рабочей смены) снижение работоспособности, без нарушения здоровья. Нормы оптимальных и допустимых метеорологических условий устанавливает СанПиН 2.2.4.548–96 [20]. Эти нормы устанавливаются в зависимости от времени года, характера трудового процесса и характера производственного помещения. Все категории работ разграничиваются на основе интенсивности энергозатрат организма в ккал/ч (Вт). Работа, производимая сидя и сопровождающаяся незначительным физическим напряжением, относится к категории Ia – работа с интенсивностью энергозатрат до 120 ккал/ч (до 139 Вт). Допустимые нормы микроклимата помещения представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Допустимые значения микроклимата в рабочей зоне [20]

Период года	Категория работ	Температура, °С				Относительная влажность, %	Скорость движения, м/с
		верхняя граница		нижняя граница			
		на рабочих местах					
		постоянных	непостоянных	постоянных	непостоянных		
Холодный	Легкая Ia	25	26	21	18	75	не более 0,1
	Легкая Ib	24	25	20	17	75	не более 0,2
Теплый	Легкая Ia	28	30	22	20	55 (при 28°С)	0,1-0,2
Теплый	Легкая Ib	28	30	21	19	60 (при 27°С)	0,1-0,3

Анализируя данные таблицы 4.2 и состояние рабочей комнаты, можно сделать вывод о том, что микроклимат поддерживается на оптимальном уровне системой центрального отопления и естественной вентиляцией, параметры микроклимата производственного помещения соответствуют нормам.

2. Шум и вибрация

Шум и вибрация ухудшают условия труда, оказывают вредное воздействие на организм человека, а именно, на органы слуха и на весь организм через центральную нервную систему. В результате этого ослабляется внимание, ухудшается память, снижается реакция, увеличивается число ошибок при работе. Шум может создаваться работающим оборудованием, установками кондиционирования воздуха, осветительными приборами дневного света, а также проникать извне. При выполнении работы на ПЭВМ уровень шума на рабочем месте не должен превышать 50 дБ. [20].

Длительное воздействие шума, уровень которого превышает допустимые значения, может привести к заболеванию человека шумовой болезнью – нейросенсорная тугоухость. На основании всего выше сказанного шум следует считать причиной потери слуха, некоторых нервных заболеваний, снижения продуктивности в работе и некоторых случаях потери жизни.

Меры защиты от шума:

- подбор рабочего оборудования, обладающего меньшими шумовыми характеристиками;
- информирование и обучение работающего таким режимам работы с оборудованием, которое обеспечивает минимальные уровни генерируемого шума;
- ограничение продолжительности и интенсивности воздействия до уровней приемлемого риска;
- проведение производственного контроля виброакустических факторов;
- ежегодное проведение медицинских осмотров для лиц, подвергающихся шуму выше 80 дБ [21].

3. Освещение

Создание оптимальной световой среды занимает важное место в комплексе мероприятий по охране труда и оздоровлению условий труда при работе с ЭВМ и компьютерной техникой. Помещения, оснащенные ЭВМ и компьютерной техникой должны иметь как естественное, так и искусственное освещение. В таких помещениях используется естественное боковое одностороннее освещение в дневное время, в вечернее время используется искусственное общее равномерное освещение. Нормированный уровень освещенности для работы с компьютерами составляет 400 Лк, а КЕО=4% [22].

Недостаточное освещение влияет на функционирование зрительного аппарата, то есть определяет зрительную работоспособность, на психику человека, его эмоциональное состояние, вызывает усталость центральной нервной системы, возникающей в результате прилагаемых усилий для опознания четких или сомнительных сигналов.

В рабочих помещениях должны предусматриваться меры для ограничения слепящего воздействия световых проемов, имеющих высокую яркость, а также прямых солнечных лучей. В случае, когда экран компьютера обращен к оконному проему, предусматриваются специальные экранирующие устройства, окна рекомендуется снабжать светорассеивающими шторами,

жалюзи или солнцезащитной пленкой с металлическим покрытием. В случаях, когда одного вида освещения недостаточно, устраивают совместное освещение.

Дополнительное искусственное освещение создает хорошую видимость информации на экране монитора, текста на бумаге и других материалов для работы. При этом в поле зрения работающих обеспечиваются оптимальные яркости окружающих поверхностей, исключена или предельно ограничена отраженная блеклость от экрана в результате отражения светового потока от источников света и светильников. При периметральном расположении компьютеров светильники располагаются локализовано над рабочим местом ближе к переднему краю, обращенному к пользователю. В качестве источников искусственного освещения используются люминесцентные лампы дневного света мощностью 65-80 Вт, коэффициент пульсации не должен превышать 5%. Существуют специальные люминесцентные лампы, имитирующие полный спектр естественного солнечного света. Нельзя применять светильники без рассеивателей и экранирующих решеток [22].

4. Электробезопасность

В зависимости от условий в помещении может существовать опасность поражения человека электрическим током. Не следует работать с ПЭВМ в условиях повышенной влажности (относительная влажность воздуха длительно превышает 75%), высокой температуры (более 35°C), наличии токопроводящей пыли, токопроводящих полов и возможности одновременного прикосновения к имеющим соединение с землей металлическим элементам и металлическим корпусом электрооборудования. Оператор ПЭВМ работает с электроприборами: компьютером (дисплей, системный блок и т.д.) и периферийными устройствами. Существует опасность поражения электрическим током в следующих случаях:

- при непосредственном прикосновении к токоведущим частям во время ремонта ПЭВМ;
- при прикосновении к нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением (в случае нарушения изоляции токоведущих частей ПЭВМ);
- при прикосновении с полом, стенами, оказавшимися под напряжением;

- при коротком замыкании в высоковольтных блоках: блоке питания и блоке дисплейной развертки.

Мероприятия по обеспечению электробезопасности электроустановок:

- отключение напряжения с токоведущих частей, на которых или вблизи которых будет проводиться работа, и принятие мер по обеспечению невозможности подачи напряжения к месту работы;
- вывешивание плакатов, указывающих место работы;
- заземление корпусов всех установок через нулевой провод;
- покрытие металлических поверхностей инструментов надежной изоляцией;
- недоступность токоведущих частей аппаратуры (заключение в корпуса электропоражающих элементов, заключение в корпус токоведущих частей) [23].

5. Пожарная безопасность

Согласно [24], в зависимости от характеристики используемых в производстве веществ и их количества, по пожарной и взрывной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В, Г, Д. Так как помещение по степени пожаровзрывоопасности относится к категории В, т.е. к помещениям с твердыми сгорающими веществами, необходимо предусмотреть ряд профилактических мероприятий.

Возможные причины загорания:

- неисправность токоведущих частей установок;
- работа с открытой электроаппаратурой;
- короткие замыкания в блоке питания;
- несоблюдение правил пожарной безопасности;
- наличие горючих компонентов: документы, двери, столы, изоляция кабелей и т.п.

Мероприятия по пожарной профилактике подразделяются на: организационные, технические, эксплуатационные и режимные.

Организационные мероприятия предусматривают правильную эксплуатацию оборудования, правильное содержание зданий и территорий, противопожарный инструктаж рабочих и служащих, обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности, издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации.

К техническим мероприятиям относятся: соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения, правильное размещение оборудования.

К режимным мероприятиям относятся, установление правил организации работ, и соблюдение противопожарных мер. Для предупреждения возникновения пожара от коротких замыканий, перегрузок и т. д. необходимо соблюдение следующих правил пожарной безопасности:

- исключение образования горючей среды (герметизация оборудования, контроль воздушной среды, рабочая и аварийная вентиляция);
- применение при строительстве и отделке зданий негорючих или трудно сгораемых материалов;
- правильная эксплуатация оборудования (правильное включение оборудования в сеть электрического питания, контроль нагрева оборудования);
- правильное содержание зданий и территорий (исключение образования источника воспламенения – предупреждение самовозгорания веществ, ограничение огневых работ);
- обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности;
- издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации;
- соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения;

- правильное размещение оборудования;
- своевременный профилактический осмотр, ремонт и испытание оборудования.

При возникновении аварийной ситуации необходимо:

- сообщить руководству (дежурному);
- позвонить в аварийную службу или МЧС - тел. 112;
- принять меры по ликвидации аварии в соответствии с инструкцией.

б. Условия безопасной работы с ПК

Особенностью работы на ПК является постоянное и значительное напряжение функций зрительного анализатора, обусловленное необходимостью различения объектов в условиях: строчной структуры экрана, мелькания изображений, недостаточной освещенности поля экрана, недостаточной контрастности объектов различения и необходимости постоянной переадаптации зрительного аппарата к различным уровням освещенности экрана, оригинала, клавиатуры. Повышенные статические и динамические нагрузки у пользователей ПК приводят к жалобам на боли в спине, шейном отделе позвоночника и руках. А также обуславливается монотонностью, т.к. мы выполняем однообразные рабочие действия и их многократное повторение.

Для обеспечения оптимальной работоспособности и сохранения здоровья профессиональных пользователей на протяжении рабочей смены должны устанавливаться регламентированные перерывы. СанПиН рекомендует руководителям организаций, трудовая деятельность которых связана с использованием персональных компьютеров, производить чередование трудовой деятельности сотрудников с работой за компьютером и без него.

Если все же специфика трудовой деятельности не допускает таких чередований, ответственным лицам по охране труда следует проводить перерывы через каждый час работы продолжительностью от 10 до 15 минут.

Данные перерывы в работе должны включаться в общее время трудовой деятельности, а также увеличиваться на 30 %, если сотрудник работает за компьютером в ночное время суток. Совокупная продолжительность перерывов:

при рабочем дне продолжительностью 8 часов – от 50 минут до 1,5 часа; при 12- часовом – от 80 до 140 минут [22].

Санитарные правила рекомендуют устраивать для сотрудников «физкультурные» минутки с целью снижения их психофизического напряжения и недопущения гиподинамии и гипокинезии.

4.3 Экологическая безопасность

В компьютерах, как и в другом электронном оборудовании, содержатся компоненты, которые в природных условиях превращаются в токсичные вещества, опасные не только для человека. Это органические составляющие – такие, как пластик различных видов, материалы на основе поливинилхлорида, фенолформальдегида, как и почти полный набор металлов, среди которых свинец, сурьма, ртуть, кадмий, мышьяк.

Пользователь ПК, выбрасывает отслужившие детали компьютера на помойку. Компоненты компьютера после попадания в почву начинают гнить, при этом выделяют ядовитые газы, которые усугубляют общий объем загрязнения окружающей среды, поэтому компьютеры надо утилизировать. Для этого потребуется помощь специализированных компаний, которые все сделают правильно, поэтапно, согласно требований законодательства.

Утилизация ПЭВМ проходит в несколько этапов: Первый этап удаления всех опасных компонентов всегда производится вручную. В современных настольных ПК и принтерах таких компонентов практически нет. Но переработке подвергаются, как правило, компьютеры и техника, выпущенные в конце 90-х и в самом начале 2000-х годов, когда плоских жидкокристаллических мониторов не существовало. А в кинескопных мониторах содержится немало соединений свинца. Другая категория продукции, содержащая опасные элементы, – ноутбуки. В аккумуляторах и экранах устаревших моделей имеется определенное количество ртути, которая также очень опасна для организма. Важно отметить, что в современные модели ноутбуков не включены такие вредоносные компоненты.

Затем удаляются все крупные пластиковые части. В большинстве случаев эта операция также осуществляется вручную. Пластик сортируется в зависимости от типа и измельчается для того, чтобы в дальнейшем его можно было использовать повторно. Оставшиеся после разборки части отправляют в большой измельчитель-шредер, и все дальнейшие операции автоматизированы. Во многом технологии переработки позаимствованы из горного дела – примерно таким же способом извлекают ценные металлы из породы.

Измельченные в гранулы остатки компьютеров подвергаются сортировке. Сначала с помощью магнитов извлекаются все железные части. Затем приступают к выделению цветных металлов, которых в ПК значительно больше. Алюминий добывают из лома посредством электролиза. В сухом остатке получается смесь пластика и меди. Медь выделяют способом флотации – гранулы помещают в специальную жидкость, пластик всплывает, а медь остается на дне. Сама эта жидкость не ядовита, однако, рабочие на заводе используют защиту органов дыхания – чтобы не вдыхать пыль. Одним словом, только специализированные компании могут на качественном уровне соблюсти все выше обозначенные условия [25].

4.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Наиболее распространенными источниками возникновения чрезвычайных ситуаций техногенного характера являются пожары. Пожарная безопасность — состояние объекта, при котором исключается возможность пожара, а в случае его возникновения предотвращается воздействие на людей опасных его факторов и обеспечивается защита материальных ценностей.

Противопожарная защита — это комплекс организационных и технических мероприятий, направленных на обеспечение безопасности людей, предотвращение пожара, ограничение его распространения, а также на создание условий для успешного тушения пожара.

Пожарная безопасность обеспечивается системой пожарной защиты и системой предотвращения пожара. Во всех служебных зданиях обязательно должен быть «План эвакуации людей при пожаре», регламентирующий действия

персонала в случае возникновения пожара и указывающий места расположения пожарной техники.

Пожары в офисных помещениях с ПК представляют особую опасность, так как сопряжены с большими материальными потерями. Характерная особенность кабинета с ПК — небольшие площади помещений. Как известно, пожар может возникнуть при взаимодействии источника зажигания, окислителя и горючих веществ. В зданиях с компьютерами присутствуют все три основных фактора, необходимых для возникновения пожара.

Горючими компонентами в компьютерном классе являются: строительные материалы для эстетической и акустической отделки зданий, изоляция кабелей, двери, перегородки, полы, перфоленты и перфокарты и др.

Источниками зажигания в компьютерном классе могут быть приборы, применяемые для технического обслуживания, электрические схемы от ЭВМ, устройства кондиционирования воздуха и электропитания, где в результате разных нарушений создаются перегретые элементы, дуги и электрические искры, которые могут вызвать загорания горючих материалов.

В современных ПК достаточно высокая плотность размещения элементов электронных схем. Близко друг к другу располагаются соединительные кабели и провода. При протекании по ним электрического тока выделяется достаточное количество теплоты. При этом возможно оплавление изоляции. Для отвода избыточной теплоты от ПК служат системы кондиционирования воздуха и вентиляции. Эти системы представляют собой дополнительную пожарную опасность при постоянном действии.

Для большинства зданий с компьютерным классом установлена категория пожарной опасности В (трудногорючие вещества и материалы (в том числе пыли и волокна)) в соответствии с НПБ 105-2003.

Во всех служебных зданиях обязательно должен быть «План эвакуации людей при пожаре», регламентирующий действия персонала в случае возникновения пожара и указывающий месторасположения пожарной техники,

а также должны находиться углекислотный огнетушитель для тушения пожара и аптечка первой медицинской помощи.

При обнаружении возгорания действовать необходимо быстро, используя все доступные способы для тушения огня. Если потушить огонь в кратчайшее время невозможно, вызовите пожарную охрану. 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 [26].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной бакалаврской работе была создана математическая модель загрязнения нефтепродуктами водной среды. В ходе работы были осуществлены следующие задачи:

1. Разработана математическая модель нефтяного загрязнения в водном потоке при разрыве подводных переходов нефтепроводов;
2. Численно решена поставленная задача с помощью программного обеспечения PHOENICS [1];
3. Проанализирован характер распространения нефтяного загрязнения;
4. Определены поля скорости и концентрации нефтепродуктов.

Также были проанализированы некоторые научные зарубежные исследования и сделаны выводы о характере работ и основных аспектах, входящих в исследования.

При анализе характера распространения нефтяного загрязнения в модели было выявлено, что концентрация нефтяного пятна достаточно быстро рассеивается в воде. Следовательно, пока не учитываются такие процессы как испарение, диспергирование, биологическое, фото- и термохимическое разложение, эмульгирование воды в нефти, слияние, гравитационное оседание и всплывание частичек нефти, адсорбция и десорбция на взвешенных частицах и на дне, потребление биологическими организмами. В дальнейшем планируется корректировка модели с учетом вышеуказанных процессов, протекающих в воде при загрязнении нефтью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Official website of Phoenix software [Электронный ресурс] URL: <http://www.cham.co.uk/phoenics.php>
2. Вержичинская С.В., Дигуров Н.Г., Синицин С.А. Химия и технология нефти и газа: учебное пособие. – 2-е изд. – М.: ФОРУМ, 2009. – 400с.
3. Калинина Т.А. Химия нефти и газа: учебно-методический комплекс. – Москва: Проспект, 2017. – 200с.
4. Рябов В.Д. Химия нефти и газа. – М.: Издательство «Техника», 2004. – 288с.
5. Кармазинов Ф. В., Дикарев В. И., Заренков Д. В. Вода, нефть, газ и трубы в нашей жизни / под ред. Ф. В. Кармазинова. - СПб.: Наука и техника, 2005. – 296 с.
6. Разливы нефти: причины, масштабы, последствия [Электронный ресурс] URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razlivy-nefti-prichiny-masshtaby-posledstviya>
7. Сироткина Е. Е., Новоселова Л. Ю. Материалы для адсорбционной очистки воды от нефти и нефтепродуктов. – 2005. – №3. – С. 359-377.
8. Войкова И.В., Конев Ю.Е. Микробиологическая очистка воды и почвы от нефти и нефтепродуктов // Интродукция микроорганизмов в окружающую среду: тезисы докл. Конференции. – 1994. – С. 12-13.
9. Сухинов А.И. и др. Комплекс моделей, явных регуляризованных схем повышенного порядка точности и программ для предсказательного моделирования последствий аварийного разлива нефтепродуктов // Параллельные вычислительные технологии. – 2016. – С. 308-319.
10. Морозов Н.В., Жукова О.В. Биотехнологии очистки нефти и нефтепродуктов при снятии локальных нефтяных загрязнений и в очистке производственных сточных вод, основанные на применении бактериальных препаратов [Электронный ресурс] URL: <http://www.moip.msu.ru/?p=3004>
11. Липатов И.В., Пластинин А.Е. Оценка гидродинамических условий при ликвидации разливов нефти // Вестник государственного университета

морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2014. – №5. – С. 127-134.

12. Guandalini R., Agate G., Moia F. Numerical 3D modelling of oil dispersion in the sea due to different accident scenarios // *Energy Procedia*. – 2017. – Vol. 125. – P. 161-169

13. Li X., Chen G., Zhu H. Modelling and assessment of accidental oil release from damaged subsea pipelines // *Marine Pollution Bulletin*. – 2007. – Vol. 123. – P. 133-141.

14. Патанкар С.В. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 152 с.

15. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / Н.А. Гаврикова, И.Г.Видяев, Г.Н. Серикова; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета. – 2014. – 73

16. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ // Собрание законодательства РФ. – 2002. – № 1 (ч. 1). – ст. 219.

17. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы. – М.: Минздрав России, 2003. – 32 с.

18. ГОСТ 12.0.003-2015. Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. – М.: Росстандарт, 2017. – 18 с.

19. ГОСТ 12.1.005-88. Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. – М.: Госстандарт СССР, 1989. – 78 с.

20. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий. – М.: Минздрав России, 2003. – 37 с.

21. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений: Санитарные правила и нормы. – М.: Информационно-издательский центр Минздрава России, 1997. – 20 с.
22. СанПиН 2.2.4.3359-16. Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах. – М.: Минздрав России, 2016. – 103 с.
23. ГОСТ 12.1.038–82. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов. – М.: Стандартиформ, 2001. – 5 с.
24. ГОСТ 12.1.004-91. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования. – М.: Минздрав России, 1991. – 126 с.
25. Приказ Министерства природных ресурсов РФ. Об утверждении Порядка введения государственного кадастра отходов от 30 сентября 2011 г. № 792. – М.: Минприрода России, 2011. – 10 с.
26. ГОСТ Р 22.0.01-2016. Безопасность в ЧС. Основные положения. – М.: Технический комитет по стандартизации, 2017. – 6 с.

Таблица 1.6 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№ п/п	Вид работ	Исполнители	T _{кi} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ									
				Март			Апрель			Май			
				1	2	3	1	2	3	1	2		
1	Составление и утверждение темы проекта	Научный руководитель	6,9										
2	Анализ актуальности темы	Студент	4,7										
3	Поиск и изучение материала по теме	Студент	31,0										
4	Выбор направления исследований	Руководитель, студент	2,4		 								
5	Изучение литературы по теме	Студент	35,5										
6	Подбор нормативных документов	Студент	28,1										
7	Изучение ПО «PHOENICS»	Руководитель, студент	13,8			 							
8	Моделирование загрязнения нефтепродуктами водной среды	Руководитель, студент	31,5			 							
9	Изучение результатов	Руководитель, студент	10,6							 			
10	Анализ результатов	Студент	4,7										
11	Вывод по цели	Студент	2,7										

 – научный руководитель  – студент

