

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

Школа Инженерная школа природных ресурсов (ИШПР)  
 Направление подготовки (специальность) 21.03.01 «Нефтегазовое дело»  
 Профиль «Эксплуатация и обслуживание объектов транспорта и хранения нефти, газа и продуктов переработки»  
 Отделение школы (НОЦ): Отделение нефтегазового дела

### БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
«Обеспечение надежности вычислительного гидродинамического анализа как метода обнаружения засоров в трубопроводах»

УДК: 621.646.978:532.5

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Б8Б	Мандлате Р.В.Ф.		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Бурков П.В.	д.т.н, профессор		

### КОНСУЛЬТАНТЫ

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Криницына З.В	к.т.н, доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
старший преподаватель	Гуляев М.В.	старший преподаватель		

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ОНД	Брусник О.В.	к.п.н, доцент		

Томск 2022 г

## ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ПРОГРАММЫ БАКАЛАВРИАТА

По направлению 21.03.01 Нефтегазовое дело

### ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП

<b>Код компетенции</b>	<b>Наименование компетенции</b>
<b>Универсальные компетенции</b>	
<b>УК(У)-1</b>	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
<b>УК(У)-2</b>	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
<b>УК(У)-3</b>	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
<b>УК(У)-4</b>	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(-ых) языке(-ах)
<b>УК(У)-5</b>	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально- историческом, этическом и философском контекстах
<b>УК(У)-6</b>	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
<b>УК(У)-7</b>	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
<b>УК(У)-8</b>	Способен создавать и поддерживать в повседневной жизни и в профессиональной деятельности безопасные условия жизнедеятельности для сохранения природной среды, обеспечения устойчивого развития общества, в том числе при угрозе и возникновении чрезвычайных ситуаций и военных конфликтов
<b>УК(У)-9</b>	Способен принимать обоснованные экономические решения в различных областях жизнедеятельности
<b>УК(У)-10</b>	Способен формировать нетерпимое отношение к коррупционному поведению
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>	
<b>ОПК(У)-1</b>	Способен решать задачи, относящиеся к профессиональной деятельности, применяя методы моделирования, математического анализа, естественнонаучные и общепрофессиональные знания
<b>ОПК(У)-2</b>	Способен участвовать в проектировании технических объектов, систем и технологических процессов с учетом экономических, экологических, социальных и других ограничений
<b>ОПК(У)-3</b>	Способен участвовать в управлении профессиональной деятельностью, используя знания в области проектного менеджмента
<b>ОПК(У)-4</b>	Способен проводить измерения и наблюдения, обрабатывать и представлять экспериментальные данные
<b>ОПК(У)-5</b>	Способен понимать принципы работы современных

	информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности
<b>ОПК(У)-6</b>	Способен принимать обоснованные технические решения в профессиональной деятельности, выбирать эффективные и безопасные технические средства и технологии
<b>ОПК(У)-7</b>	Способен анализировать, составлять и применять техническую документацию, связанную с профессиональной деятельностью, в соответствии с действующими нормативными правовыми актами
<b>Профессиональные компетенции</b>	
<b>ПК(У)-1</b>	Способен осуществлять и корректировать технологические процессы нефтегазового производства в соответствии с выбранной сферой профессиональной деятельности
<b>ПК(У)-2</b>	Способен проводить работы по диагностике, техническому обслуживанию, ремонту и эксплуатации технологического оборудования в соответствии с выбранной сферой профессиональной деятельности
<b>ПК(У)-3</b>	Способен выполнять работы по контролю безопасности работ при проведении технологических процессов нефтегазового производства в соответствии с выбранной сферой профессиональной деятельности
<b>ПК(У)-4</b>	Способен применять процессный подход в практической деятельности, сочетать теорию и практику в соответствии с выбранной сферой профессиональной деятельности
<b>ПК(У)-5</b>	Способен обеспечивать заданные режимы эксплуатации нефтегазотранспортного оборудования и контролировать выполнение производственных показателей процессов транспорта и хранения нефти, газа и продуктов переработки
<b>ПК(У)-6</b>	Способен проводить планово-предупредительные, локализационно-ликвидационные и аварийно-восстановительные работы линейной части магистральных газонефтепроводов и перекачивающих станций
<b>ПК(У)-7</b>	Способен выполнять работы по проектированию технологических процессов нефтегазового производства в соответствии с выбранной сферой профессиональной деятельности
<b>ПК(У)-8</b>	Способен использовать нормативно-технические основы и принципы производственного проектирования для подготовки предложений по повышению эффективности работы объектов трубопроводного транспорта углеводородов

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

Школа Инженерная школа природных ресурсов (ИШПР)  
 Направление подготовки (специальность) 21.03.01 «Нефтегазовое дело»  
 Профиль «Эксплуатация и обслуживание объектов транспорта и хранения нефти, газа и продуктов переработки»  
 Отделение школы (НОЦ): Отделение нефтегазового дела

УТВЕРЖДАЮ  
 Руководитель ООП

\_\_\_\_\_ Брусник О.В.  
 (Подпись)                      (Дата)                      (Ф.И.О.)

## ЗАДАНИЕ

### на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы
---------------------

Студенту:

Группа	ФИО
2Б8Б	Мандлате Реналда Ваукирия Филипе

Тема работы:

«Обеспечение надежности вычислительного гидродинамического анализа как метода обнаружения засоров в трубопроводах»
--

Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 45-46/с от 14.02.2022
---	-------------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p><b>Исходные данные к работе</b></p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p><b>Объект исследования:</b> участок межпромыслового газопровода с условным диаметром <math>D = 530</math> мм и протяженностью 75 км. Толщина стеки – 8 мм. Скорость потока – 2,1 м/с. Рабочее давление – 2,7 МПа.</p>
---	--

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Литературный обзор работ об условиях образования и методах обнаружения засоров.</li> <li>2. Проверка возможности использования вычислительного гидродинамики в газопроводах.</li> <li>3. Определение размер и местоположение засора, а также перепад давления в трубопроводе при возникновении засора.</li> </ol>
<p><b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	

<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент...	Креницына Зоя Васильевна, доцент отделения ОСГН
Социальная ответственность	Гуляев Милий Всеволодович, Старший преподаватель отделения ООД
<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p>	
Реферат	

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

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Бурков П.В.	д.т.н, профессор		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Б8Б	Мандлате Реналда Ваукирия Филипе		

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

Студенту:

Группа		ФИО	
2Б8Б		Мандлате Р.В.Ф.	
Школа	ИШПР	Отделение Школа	Нефтегазовое дело
Уровень образования	бакалавриат	Направление/специальность	Эксплуатация и обслуживание объектов транспорта и хранения нефти, газа и продуктов переработки

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Норма амортизационных отчислений на специальное оборудование
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Отчисления во внебюджетные фонды 30 %

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

1. <i>Анализ конкурентных технических решений (НИ)</i>	Расчет конкурентоспособности SWOT-анализ
2. <i>Формирование плана и графика разработки и внедрения (НИ)</i>	Структура работ. Определение трудоемкости. Разработка графика проведения исследования
3. <i>Составление бюджета инженерного проекта (НИ)</i>	Расчет бюджетной стоимости НИ
4. <i>Оценка ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности (НИ)</i>	Интегральный финансовый показатель. Интегральный показатель ресурсоэффективности.

**Перечень графического материала**

1. Оценка конкурентоспособности ИП
2. Матрица SWOT
3. Диаграмма Ганта
4. Бюджет НИ
5. Основные показатели эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Креницына Зоя Васильевна	к. т.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Б8Б	Мандлате Р.В.Ф.		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
2Б8Б	Мандлате Реналда Ваукирия Филипе

<b>Школа</b>	Инженерная школа природных ресурсов	<b>Отделение</b>	Нефтегазовое дело
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	Нефтегазовое дело (21.03.01)/ Эксплуатация и обслуживание объектов транспорта и хранения нефти, газа и продуктов переработки

Тема ВКР:

<b>Обеспечение надежности вычислительного гидродинамического анализа как метода обнаружения засоров в трубопроводах</b>	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<p><i>Объект исследования:</i> межпромышленный трубопровод для транспортировки природного газа</p> <p><i>Область применения:</i> нефтегазовый отрасль, магистральный трубопровод.</p> <p><i>Рабочая зона:</i> офис и производственное помещение.</p> <p><i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны:</i> 1 – персональный компьютер, стол, и стул.</p> <p><i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне:</i> моделирование, анализ жидкости.</p>
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
<p><b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>- организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования.</li> <li>- ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.</li> <li>- ГОСТ 22269-76. Система «человек-машина». Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования.</li> </ul>
<p><b>2. Производственная безопасность</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Анализ потенциально вредных и опасных производственных факторов;</li> <li>– Обоснование мероприятий по снижению воздействия вредных и опасных факторов.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего;</li> <li>- Отсутствие или недостаток необходимого естественного и искусственного освещения;</li> <li>- Повышенный уровень электромагнитных излучений;</li> <li>- Пожаровзрывоопасность;</li> <li>- Электробезопасность;</li> <li>- Повышенный уровень шума;</li> </ul>

<b>3. Экологическая безопасность:</b> — Защита атмосферы — Защита гидросферы — Защита литосферы	Воздействие на литосферу: разлив нефтепродуктов и различных химических реагентов. Воздействие на гидросферу: разлив нефтепродуктов и при транспортировке оборудования и людей. Воздействие на атмосферу: выброс загрязняющий веществ на атмосферу
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях ситуациях при разработке проектного решения/при эксплуатации:</b>	-Возможные ЧС: геологические явления, гидрологические явления, метеорологические, природные пожары, промышленные аварии, пожары и взрывы, разливы нефти и нефтепродуктов. -Наиболее типичная ЧС: взрыв из-за высокого давления
<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Гуляев Милий Всеволодович			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Б8Б	Мандлате Реналда Ваукирия Филипе		

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

Школа Инженерная школа природных ресурсов (ИШПР)  
 Направление подготовки (специальность) 21.03.01 «Нефтегазовое дело»  
 Профиль «Эксплуатация и обслуживание объектов транспорта и хранения нефти, газа и продуктов переработки»  
 Уровень образования бакалавриат  
 Отделение школы (НОЦ): Отделение нефтегазового дела  
 Период выполнения осенний / весенний семестр 2021 /2022 учебного года)

Форма представления работы:

Бакалаврская работа
---------------------

### КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
	<i>Введение</i>	5
	<i>Обзор литературы</i>	20
	<i>Характеристика объекта исследования</i>	5
	<i>Расчетная часть</i>	35
	<i>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</i>	10
	<i>Социальная ответственность</i>	10
	<i>Заключение</i>	5
	<i>Презентация</i>	10
	<i>Итого</i>	100

**СОСТАВИЛ:**

**Руководитель ВКР**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Бурков П.В.	д.т.н.		

**СОГЛАСОВАНО:**

**Руководитель ООП**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ОНД	Брусник О.В.	к.п.н.		

## **Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки**

**Трубопровод** – сооружение, состоящее из плотно соединённых между собой труб, деталей трубопровод запорную-регулирующей арматуры, контрольно-измерительный приборов, средств автоматики, опор и подвесок, крепёжных деталей, прокладок, материалов и деталей тепловой и противокоррозионной изоляции и предназначенное для транспортировки средств различного агрегатного состояния, состава и назначения.

**Надежность** – свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания.

**Засоры** – повреждения труб, а также трубопроводных сетей, которые приводят к уменьшению площади поперечного сечения трубы со значительной длиной, возникающей в результате скопления транспортируемой жидкости или частичной блокировки клапана.

**Газовые гидраты** – твердые кристаллические соединения, образованные в результате соединения с водой компонентов природного газа – молекул гидратообразователей, которые по структуре являются соединениями включения (клатратами), образующиеся путем внедрения молекул газа в пустоты кристаллических структур, составленных из молекул воды.

Обозначения и сокращения

ВГ – вычислительная гидродинамика;

МКО – метод конечных объемов;

МКЭ – метод конечных элементов;

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

ISO 13623:2017 «Petroleum and natural gas industries — Pipeline transportation systems».

ISO/TS 10303-1375:2014 «Industrial automation systems and integration — Product data representation and exchange».

ISO/TC 67/SC 2 «Pipeline transportation systems».

ISO 19345-2:2019 «Petroleum and natural gas industry — Pipeline transportation systems — Pipeline integrity management specification».

ISO 16708:2006 «Pipeline reliability-based limit state design».

ISO 12489:2013 «Reliability modelling/safety systems».

ISO 14224: 2016 «Reliability and maintenance data».

ISO 6403:1988 «Hydraulic fluid power».

ISO 3740:2019 «Acoustics — Determination of sound power levels of noise sources — Guidelines for the use of basic standards».

## Реферат

В работе содержится 89 страниц, которые включают в себя 7 глав, 26 таблиц, 20 рисунков и 31 источника.

**Ключевые слова:** обнаружение засоров, метод конечных объемов, вычислительный гидродинамический анализ, моделирование трубопровода, распространение акустических волн.

Объектом исследования является межпромысловый газопровод.

**Цель работы:** представить неразрушающий метод обнаружения засоров в трубопроводных системах, основанный на методе конечных объёмов и вычислительном моделировании гидродинамического анализа.

Рассматриваются современные взгляды на состояние проблемы засорения нефтегазопроводов и возможные методы их обнаружения. В работе перечислены основные факторы, влияющие на образование засоров. Более подробно рассматриваются неразрушающие методы, направленные на раннее обнаружение. Оценивается наиболее эффективный метод обнаружения засоров.

Кроме того, исследуется анализ наблюдаемости и управляемости в сетях нефтегазопровода. А так же приводятся важные теоремы для проверки наблюдаемости, а также управляемости трубопроводной системы.

Полученные результаты будут использованы в магистерской диссертации по направлению 21.04.01 «Нефтегазовое дело».

## Abstract

The work contains 89 pages, which include 7 chapters, 26 tables, 20 figures and 31 source.

**Keywords:** blockage detention, finite volume method, computational fluid dynamic analysis, pipeline modelling, acoustic wave propagation.

The object of the study is an interfield gas pipeline.

**Purpose of work:** present a non-destructive method for detecting blockages in pipeline systems based on the finite volume method and computational fluid dynamic analysis.

Modern views on the state of the pipeline blockage problem in the oil and gas field and possible methods for its detection are considered. The paper lists the main factors that influence the formation of blockages. Non-destructive methods of early detection are considered in more detail. The most effective method of blockage detection is evaluated.

Furthermore, the analysis of observability and controllability in the pipe networks is investigated. Important theorems are given for testing the observability as well as controllability of the pipeline system.

The results obtained will be used in the master's thesis in the direction of 21.04.01 "Oil and gas Engineering".

## Содержание

Введение .....	17
1. Причины засорения трубопровода .....	19
1.1. Скопление песка и мусора или накипи .....	19
1.2. Характеристика жидкости.....	20
1.3. Условия эксплуатации.....	21
1.4. Механические неисправности .....	22
2. Методы раннего обнаружения засоров.....	24
2.1. Методы физического контроля.....	24
2.1.1. Метод денситометрии .....	24
2.1.2. Акустическая рефлектометрия .....	25
2.1.3. Радиологический метод.....	26
2.2. Компьютерные модели .....	27
2.2.1. Метод частотной характеристики .....	28
2.2.2. Технология противодействия.....	29
2.2.3. Метод переходного давления .....	30
3. Вычислительный гидродинамический анализ засорения трубопровода .....	31
3.1. Управляющие уравнения .....	31
3.2. Процедуры вычислительного гидродинамического анализа .....	32
3.3. Описание геометрии модели.....	33
3.4. Метод дискретизации .....	33
3.5. Вычислительный гидродинамический анализ неповрежденного трубопровода.....	35

4.	Характеристики распространения акустических волн в трубопроводе с засором .....	39
4.1.	Размеры засоров по формам сигналов давления .....	43
4.2.	Местоположение засоров по сигналам давления .....	45
4.3.	Изменение скорости потока.....	46
5.	Влияние характеристик засорения на распределение давления .....	49
5.1.	Влияние местоположения засора .....	49
5.2.	Влияние диаметра засорения .....	50
5.3.	Влияние длины засоры .....	51
6.	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение .....	53
6.1.	Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения .....	53
6.1.1.	Потенциальные потребители результатов исследования .....	53
6.1.2.	Анализ конкурентных технических решений.....	54
6.1.3.	SWOT-анализ.....	55
6.2.	Планирование научно-исследовательских работ .....	58
6.2.1.	Структура работ в рамках научного исследования .....	58
6.2.2.	Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения научного исследования .....	59
6.3.	Бюджет научно-технического исследования .....	64
6.3.1.	Расчет материальных затрат НИИ.....	64
6.3.2.	Расчет амортизации специального оборудования.....	64
6.3.3.	Основная заработная плата исполнителей НИИ .....	65
6.3.4.	Дополнительная заработная плата исполнителей темы .....	67
6.3.5.	Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)..	67

6.3.6.	Накладные расходы .....	68
6.3.7.	Формирование бюджета затрат НИР .....	69
6.4.	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования..	69
7.	Социальная Ответственность .....	73
7.1.	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	73
7.2.	Производственная безопасность .....	75
7.2.1.	Анализ вредных производственных факторов .....	75
7.3.	Экологическая безопасность .....	77
7.3.1.	Защита атмосферы .....	86
7.3.2.	Защита гидросфера .....	87
7.3.3.	Защита Литосфера .....	88
7.4.	Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	88
7.4.1.	Анализ возможных ЧС .....	89
7.4.2.	Наиболее вероятная ЧС .....	89
7.4.3.	Пожарная безопасность.....	89
	Заключение .....	91
	Список литературы .....	93

## Введение

В настоящее время транспортировка таких углеводородов как сырая нефть и природный газ осуществляется по трубопроводам, железным дорогам, морским контейнерам, грузовикам и баржам. Однако трубопроводы наиболее широко используются во всем мире, так как сеть трубопроводов считается одним из наиболее экономически выгодных и эффективных способов транспортировки углеводородов.

Для промышленности важно, чтобы трубопроводная сеть надлежащим образом учитывала увеличение потребности в эффективных, безопасных и надежных взаимосвязанных флюидных системах. Это трудная задача, поскольку необходимо одновременно обеспечить безопасную подачу жидкости и выполнение различных требований потребителей.

При транспортировке углеводородов непреднамеренное накопление жидкости, также характеризуемое как засорение, можно считать существенной неисправностью трубопровода. Его необходимо выявить как можно раньше для предотвращения перебоев в работе, высоких экономических потерь, а также социального и экологического опасностей.

Засорение трубопровода, иногда простирающаяся на большие расстояния, может повлиять на производственно-транспортную систему уменьшая пропускную способность системы, застрачивая энергию и ресурсы и, возможно, увеличивая вероятность возникновения проблем с окружающей средой и здоровьем человека. Таким образом, точное и эффективное определение его местоположения и размера чрезвычайно важно для сокращения количества аварий на трубопроводах.

Засоры могут быть вызваны различными факторами, такими как образование асфальтенов, парафинов или гидратов газа из-за неблагоприятных условий эксплуатации. Некоторые из них связаны с изменениями температуры, давления или состава транспортируемого вещества, коррозией или отсутствием технического обслуживания. Засоры также могут быть результатом

неорганического материала как отложения песка или накипи. Дополнительными факторами, вызывающими закупорку, являются механические причины (застрявшие скребки, разрушение трубы или неисправность клапанов). Из-за разнообразия причин и условий его образования закупорка трубопровода может произойти в любом месте трубопроводной системы.

Основная цель данной работы является представление неразрушающих методов обнаружения закупорки в трубопроводных системах, основанные на методе конечных объёмов и расчетном моделировании гидродинамического анализа.

Для достижения поставленной цели предлагается выполнение следующих задач:

- 1) проанализировать нормативно-техническую документацию и литературные источники в области методов обнаружения неисправностей трубопроводов;
- 2) изучить последствия засорения трубопровода;
- 3) спроектировать 3D модель трубопровода;
- 4) определить размер и местоположение засора, а также рассчитать перепад давления в трубопроводе.

## **1. Причины засорения трубопровода**

Как указывалось выше, любой вид засоры внутри сети трубопроводов может вызвать серьезные проблемы с безопасностью, если не будет точно обнаружен и быстро устранен. Поэтому, прежде чем выбрать подходящий метод обнаружения, необходимо провести соответствующую оценку характера и серьезности засорения трубопровода.

### **1.1. Скопление песка и мусора или накипи**

Трубопроводы, используемые в нефтегазовой промышленности, как правило, склонны к отложениям твердых частиц как песок и мусор. Если их вовремя не устранить, эти частицы могут накапливаться и приводить к закупорке трубопровода.

Закупорка трубопроводов, в том числе образование накипи, являются основной причиной непредсказуемых перебоев в работе наземных и морских объектов, связанных с трубопроводами. Отложения солей распространены в выкидных трубопроводах, подверженных изменениям давления или температуры.

Мусор обычно образуется в результате химической реакции между сплавом металла трубы и транспортируемой жидкостью. Солеобразование на трубопроводе обычно происходит, когда вода в транспортируемой жидкости содержит большое количество минералов (например, карбоната кальция), которые могут скапливаться на поверхности трубы. В худших случаях скопление мусора, песка или солей в трубопроводе может привести к остановке производственного процесса и полному отказу трубопровода.



Рисунок 1.1 – Образование засора при накипи

## 1.2. Характеристика жидкости

Изучение транспортируемой жидкости и её характеристик является важнейшей задачей при оценке потенциальных рисков и засорений в трубопроводной системе. Наиболее распространенными закупорками, связанными с жидкостью, являются парафиновые образования, асфальтены или гидраты газа.

Парафинообразование является сложной и дорогостоящей проблемой в нефтяной промышленности. В нефтепроводах парафин образуется при остывании потока жидкости. Кристаллы парафина транспортируются и откладываются на стенке трубы в холодное время года. Парафины обычно представляют собой длинные, линейные или разветвленные n-парафиновые цепи в добываемых углеводородах и в основном состоят из парафиновых ( $C_{18}-C_{36}$ ) и нафтеновых углеводородов ( $C_{30}-C_{60}$ ). Углеводородные компоненты парафина могут находиться в различных агрегатных состояниях (газообразном, жидком или твердом) в зависимости от их температуры и давления. Когда парафин застывает, он образует кристаллы, называемые макрокристаллическими. Парафины, образующиеся из нафтенов, известны как микрокристаллические. Твердые формы парафина, называемые асфальтосмолопарафиновым, состоят из самых тяжелых молекул от фитана ( $C_{20}H_{42}$ ) до лycopана ( $C_{40}H_{82}$ ).

Когда температура сырой нефти падает ниже критического уровня и/или низкомолекулярные углеводороды испаряются, растворенные парафины начинают образовывать нерастворимые кристаллы. Процесс осаждения включает в себя две отдельные стадии: зарождение и рост. Нуклеаризация – это образование кластеров парафина критического размера, устойчивых в углеводородном флюиде. Сам этот нерастворимый парафин имеет тенденцию диспергироваться в сырой нефти.

Образование асфальтенов в пластовом флюиде обычно зависит от изменений давления в системе с риском закупоривания перфорационных отверстий пласта.

Засорение газогидратами, обычно встречающиеся в газопроводах, возникают в присутствии воды, низкой температуры и высокого давления. В сверхглубоких водах трубопроводы для транспортировки природного газа с пористостью в стенке трубы могут обеспечить путь для попадания воды в трубопровод [2]. Поскольку глубинные воды имеют свойство быть холодными, проникающая вода может объединяться с газом с образованием гидратов. Эти гидраты могут закупоривать клапаны и трубы малого диаметра или компоненты трубопроводов технологической установки, что может привести к взрыву.

### **1.3. Условия эксплуатации**

Низкая температура и высокое давление являются одной из основных причин засора трубопровода асфальтенами, парафином и газовым гидратом. Они могут возникать как по отдельности, так и одновременно, в зависимости от условий эксплуатации трубопроводной системы и иногда требуют различных методов оценки и обнаружения. Также можно найти не только частичную или одиночную закупорку, но и многофазную или множественную.



Рисунок 1.2 – Асфальтен в морском трубопроводе

Изменения давления и температуры могут происходить на протяжении всего производственного процесса. Это приводит к дестабилизации существующих асфальтенов и их осаждению, образуя твердые темные отложения (асфальт) в трубопроводах. Эти твердые частицы могут быстро сократить производственный поток или привести к закупорке трубопровода, что влечет остановку производственного процесса. Содержание асфальтенов в нефти и содержание карбонатов в воде относительно низкое. Отложения этих соединений в скважине, НКТ, системе сбора, оборудовании очистных сооружений, резервуарах для хранения и трубопроводе, транспортирующем нефть на НПЗ, вызывает значительные проблемы. Например, снижение производительности скважин, частичная закупорка трубопроводов, загрязнение оборудования очистных сооружений. Это, в свою очередь, приводит к значительным экономическим затратам (существенное снижение скорости извлечения углеводородов, увеличение себестоимости продукции).

В некоторых случаях условия эксплуатации были нарушены, и впоследствии использовались неправильные методы обнаружения и предотвращения. Это значительно увеличивало риск серьезных аварий.

#### **1.4. Механические неисправности**

В трубопроводной системе механические неисправности также могут привести к закупорке трубопровода, поскольку они состоят из различных

компонентов. Точки скважины на изливе, застрявшие скребки, неисправные клапаны, соединения шлангокабеля или разрывы во внутренней системе трубопроводов являются типичными местами, где могут образоваться закупорки. При этом большая часть из них будет образовываться снова, даже несмотря на то, что они были устранены механически. Крайне важно изучить прошлые эксплуатационные данные как суточная производительность, условия эксплуатации и предыдущие интервалы закупорки, являющиеся переменными во время закупоривания.

## **2. Методы раннего обнаружения засоров**

Существует широкий спектр методов обнаружения засорения трубопровода, которые полезны для различных жидкостей в трубопроводе и бесчисленных схем компоновки в зависимости от различных условий эксплуатации. Эти методы могут обеспечить точную оценку засорения (диаметр, местоположение или длина) и обычно подразделяются на две основные группы: компьютерные модели и методы физического контроля.

### **2.1. Методы физического контроля**

Методы физического осмотра оценивают и обнаруживают засоры с помощью аппаратного оборудования. Они в основном включают в себя радиоизотопное отслеживание, акустическую рефлектометрию и радиографическое обнаружение. Другие методы физического осмотра, используемые для обнаружения засорения, основываются на сканировании гамма-лучами, томографических измерениях, методе денситометрии, методе термографии, анализе вибрации и измерении диаметра трубопровода. Физические методы считаются чрезвычайно точными, но обычно требуют длительных простоев, высокой стоимости и остановки производственного процесса.

#### **2.1.1. Метод денситометрии**

Основываясь на оценке характеристик засорения, образованной гидратом, парафином, асфальтеном или отложениями, ее плотность сильно различается. Метод денситометрии заключается в определении плотности жидкости на некоторых интервалах или сечениях трубопровода с помощью специального сканирующего устройства. Разность плотности вдоль направления потока указывают на возможное место засора.

Однако разность плотности между засором и транспортируемой жидкостью также влияет на точность этого метода обнаружения. Например, плотность засорения гидратом близка к плотности воды, что может вызвать затруднения в различии этих двух видов. Тем не менее, инженерный полевой

опыт совместно с информацией о свойствах жидкости и рабочих параметрах может помочь в оценке её наличия и местоположения.

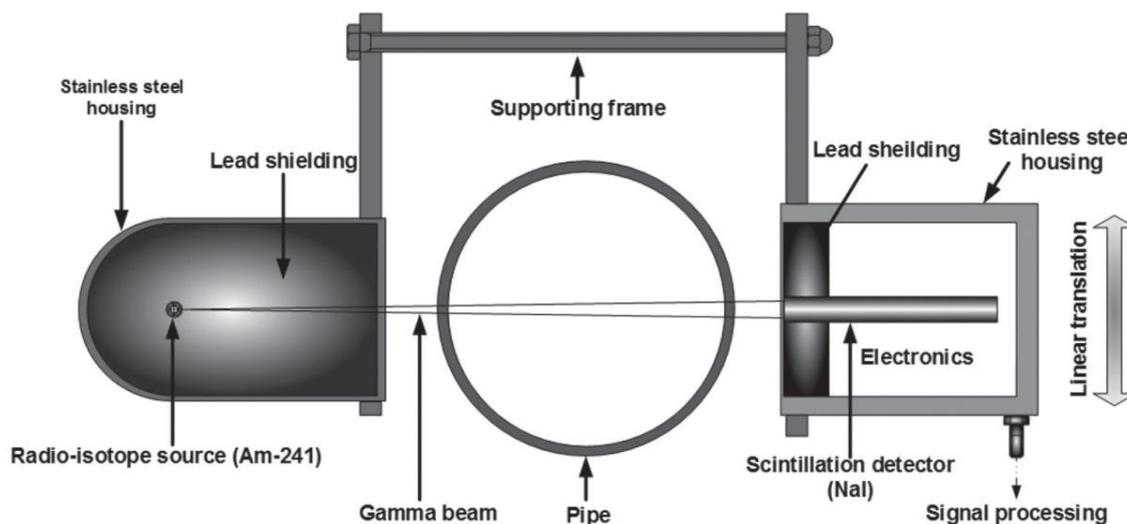


Рисунок 2.1 – Схематическое изображение однолучевого гамма-денситометра

Гамма-денситометр состоит из радиоактивного источника (45 мКи, Am241), детектора (NaI) и системы анализа сигналов, как показано на рисунок 2.1. Источник и детектор коллимированы таким образом, что будет обнаружено только проходящее излучение, а рассеянным излучением можно пренебречь. Источник расположен на одной стороне трубы и посылает гамма-луч в сторону детектора, расположенного на противоположной стороне трубы.

### 2.1.2. Акустическая рефлектометрия

Метод акустической импульсной рефлектометрии успешно используется для выявления повреждений трубопроводов в промежутке времени. Технология акустической волновой рефлектометрии заключается в подаче звукового импульса небольшого давления на вход заполненной жидкостью трубы через генератор акустических импульсов. В результате импульс давления вызывает колебания давления молекул жидкости в трубе, что в последующем приводит к распространению волны по трубе со скоростью, характерной для текучей среды. В случае разрывов площади поперечного сечения трубы, вызванных закупоркой,

утечкой или любым другим посторонним предметом, отражение будет только частичным.

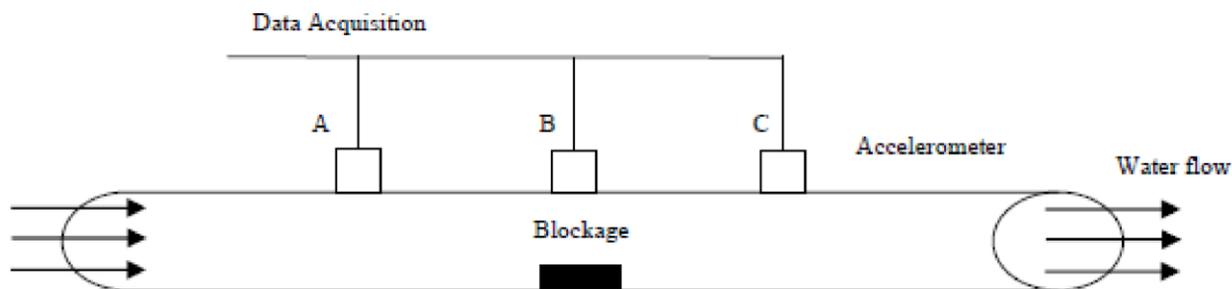


Рисунок 2.2 – Схематическое изображение акустической импульсной рефлектометрии

Отражение, создаваемое акустическим генератором, проходит через усилитель, громкоговоритель и распространяется по длине трубопровода. Тем временем микрофоны, установленные вдоль трубопровода, используются для измерения передачи и отражения импульсов по мере их распространения по трубопроводу. Одним из недостатков этого метода является то, что иногда метод загрязняется шумом измерения, что может вызвать ошибку в получаемых данных.

### 2.1.3. Радиологический метод

Радиографический метод обнаружения засорения трубопровода является неразрушающим, при котором используется радиоактивный источник и детектор для измерения плотности стенки трубопровода. Этот метод заключается в использовании рентгеновских или гамма-лучей в качестве источника энергии. Излучение проникает через стенку трубы, в результате чего изображение внутренней структуры фиксируется на пленке. Любые разрывы на поперечном сечении трубы будут показаны на получаемых данных с указанием точного местоположения, длины и диаметра засора.

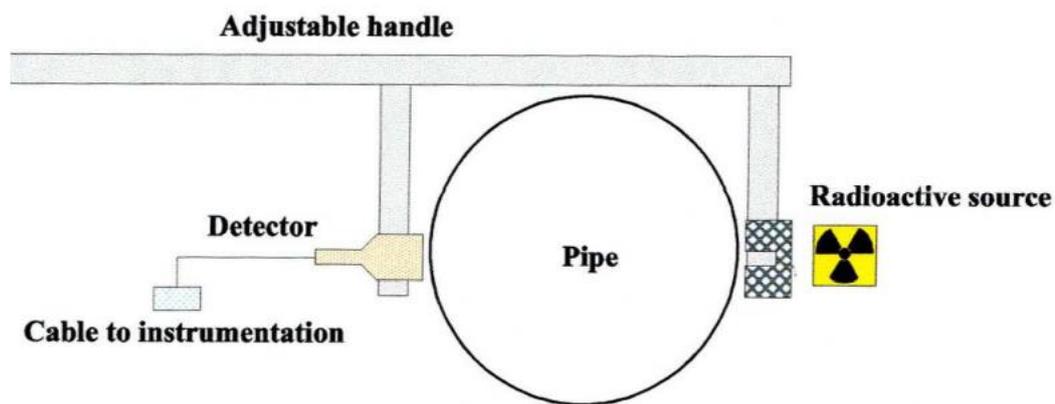


Рисунок 2.3 – Рентгенографические схемы трубопровода

Радиографический контроль выполняется быстро и значительно эффективно, сокращая время остановки работы, необходимое для устранения засора, за счет указания точного её местоположения. Однако, как известно человечеству, радиационные лучи создают серьезные проблемы для здоровья и безопасности, когда оператор подвергается ее воздействию.

## 2.2. Компьютерные модели

Компьютерные модели используют рабочие параметры, такие как расход, давление и температура, вместе с сохранением массы и количества движения, уравнениями энергетического баланса, затуханием импульса давления и фазовым сдвигом для оценки размера и местоположения засора. К ним, прежде всего, относятся метод частотной характеристики, технология переходных процессов давления и технология противодействия. Другие компьютерные методы, используемые для обнаружения засорения, включают в себя термодинамическую модель равновесия твердой и жидкой фаз, стохастическую последовательную линейную оценку, модель распространения акустических волн и другие. Большим преимуществом использования компьютерных моделей является их экономическая ценность и скорость получения результатов, а также возможность непрерывного наблюдения за трубопроводами.

## 2.2.1. Метод частотной характеристики

Метод частотной характеристики является простым и экономичным универсальным методом, который можно использовать для обнаружения засоров и утечек в трубопроводе. Этот метод основан на введении импульса давления, генерируемого периодическим манипулированием клапана, и он повторяется для различных частот.

Амплитуда колебаний давления в месте расположения колеблющегося клапана анализируется с использованием метода матрицы переноса. В методе матрицы переноса используется последовательность одиночных матриц, каждая из которых представляет элемент внутри конвейерной системы. Эти матрицы затем умножаются в соответствии с их расположением, начиная с нижнего конца, чтобы получить общую матрицу перехода трубопроводной системы. Контраст между частотными характеристиками максимального давления показывает величину и местоположение засора. Здесь с увеличением засора толщина частоты увеличивается.

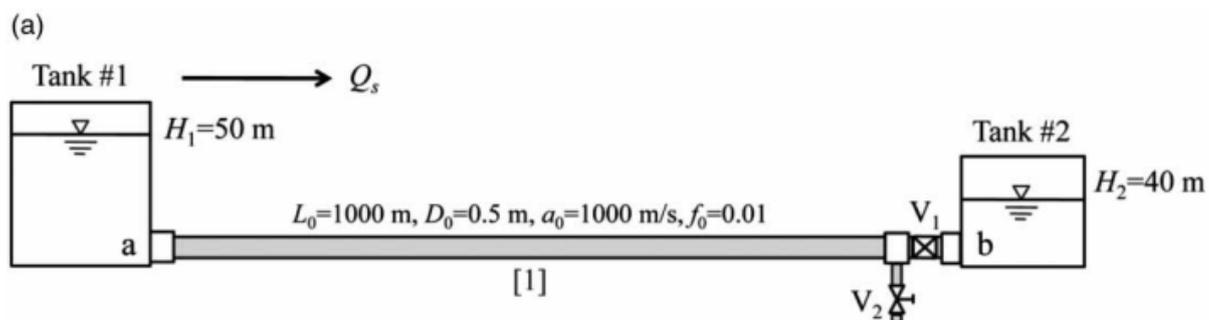


Рисунок 2.4 – Эскиз тестовой трубопроводной системы с использованием метода частотной характеристики

Для обнаружения засорения с использованием метода частотной характеристики, как показано на рисунке 2.4, клапан бокового сброса на выходе  $v_2$  используется для генерации переходных процессов, а встроенный клапан  $v_1$  используется для управления начальным установившимся разрядом  $Q_s$  в системе. Для простоты анализа и выделения переходных режимов (отделенных от установившегося состояния), первоначально оба клапана ( $v_1$  и  $v_2$ ) полностью

закрыты (т.е.  $Q_s = 0$ ). То есть переходные потоки генерируются на основе начального статического состояния потока.

Чтобы обеспечить предпочтительно большую полосу пропускания подачи волны для анализа системы переходных процессов, переходные процессы во всех тестовых случаях генерируются клапаном с боковым выпуском с операциями быстрого закрытия-открытия-закрытия.

В этом методе для анализа используются численные результаты измерений переходного давления, собранные непосредственно перед встроенным клапаном.

### **2.2.2. Технология противодействия**

В трубопроводах этот метод обеспечивает эффективный способ контроля характеристик потока. Это достигается путем проведения экспериментов с несколькими расходами для установки базового профиля характеристик перепада давления в зависимости от расхода, к которому можно приравнять будущие данные по добыче. Сравнение входного и выходного давления и дебита в любой временной промежуток с базовым уровнем покажет отклонение от истинных характеристик. Отклонения от этого профиля указывают на возможное наличие и местоположение засора.

Применительно к газопроводам базовая линия устанавливается на основе принципа, согласно которому ожидается линейная зависимость между расходом и разностью квадратов давлений на входе и выходе из трубы в установившихся условиях [7].

В целом, этот метод можно использовать для получения важной информации при мониторинге программ химического ингибирования, планировании пуска скребков, оценки риска скребков и планировании других процедур вмешательства.

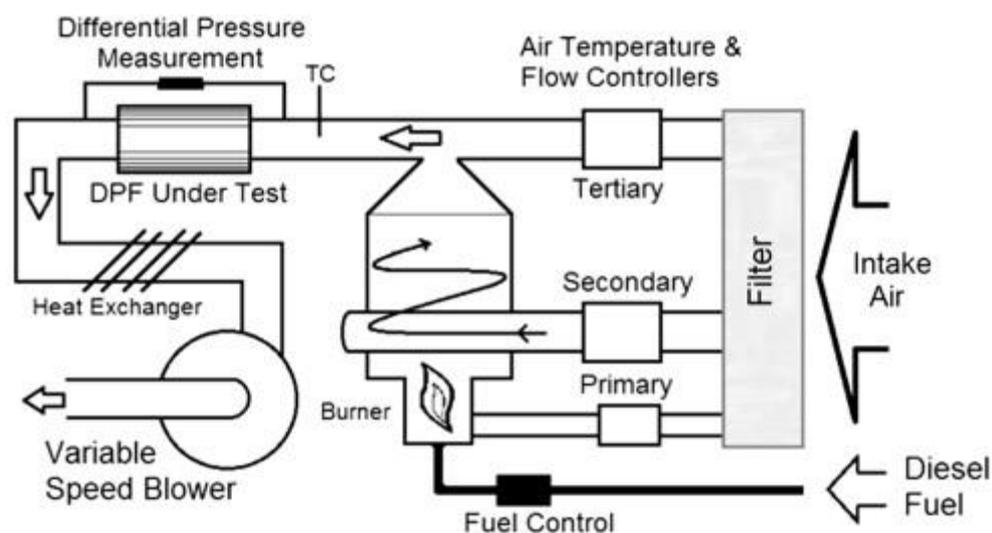


Рисунок 2.5 – Схематическое изображение испытания технология противодавления

### 2.2.3. Метод переходного давления

В течение многих лет моделирование переходных процессов использовалось для изучения ряда проблем в нефтегазовой отрасли. Это дистанционный, эффективный и неразрушающий метод обнаружения засоры, при котором требуется динамический манометр для определения местоположения, диаметра и длины засора в однофазном или многофазном трубопроводе.

В этом методе обнаружение засорения может осуществляться путем создания импульса давления в трубопроводе. Временная задержка между импульсом давления и эхо-сигналами, полученными верхним приемником, используется для определения положения засора с достаточной точностью [2]. Это кратковременное событие, которое можно наблюдать в течение конечного периода времени, прежде чем система вернется в устойчивое состояние. Решение математической модели задается нелинейным уравнением в частных производных с начальными и граничными условиями.

### **3. Вычислительный гидродинамический анализ засорения трубопровода**

В классической гидродинамике изучаются, как правило, упрощенные постановки задач, позволяющие получать решения в аналитическом виде. Здесь обычно рассматриваются двумерные задачи и активно используются методы конформных отображений и теория функций комплексного переменного. Анализ полученных формул и расчеты на их основе позволяют понять гидродинамические поля и решить поставленную задачу.

В вычислительной гидродинамике основная целью является построение численной модели изучаемого процесса для анализа проблем, связанных с течением жидкости, путем решения математических уравнений. Система дифференциальных уравнений течения решается численно путем дискретизации. Это требует аппроксимации дифференциальных уравнений механики жидкости набором алгебраических уравнений и узловых значений скорости, давления и других параметров жидкости, которые могут использоваться в анализе.

#### **3.1. Управляющие уравнения**

Как было сказано выше, вычислительная гидродинамика (ВГ) — это анализ, который включает моделирование потока жидкости. Кроме того, она также включает тепло- и массоперенос, химические реакции и связанные с ними явления, управляя математическими уравнениями [14].

Основные уравнения течения жидкости осуществляются через контрольный объем. Поток жидкости в системе определяется математическими формулировками закона сохранения массы, импульса и энергии. Дифференциальное уравнение сохранения массы записывается так:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla(\rho \vec{v}) = 0, \quad (3.1)$$

где:  $\rho$  – плотность жидкости;  $t$  – время;  $\vec{v}$  – скорость (реакции).

Сохранение импульса – это, внутренняя система отсчета, описываемая уравнением:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \vec{v}) + \nabla(\rho \vec{v} \vec{v}) = -\nabla P + \nabla(\bar{\tau}) + \rho \vec{g} + \vec{F}, \quad (3.2)$$

где:  $P$  – статическое давление,  $\rho \vec{g}$  и  $\vec{F}$  – объемная гравитационная сила и внешняя объемная сила соответственно,  $\bar{\tau}$  – тензор напряжений, который описывается формулой:

$$\bar{\tau} = \mu \left[ (\nabla \vec{v} + \overline{\nabla \vec{v}}^T) - \frac{2}{3} \nabla \vec{v} I \right], \quad (3.3)$$

где:  $\mu$  – молекулярная вязкость,  $I$  – единичный тензор,  $T$  – эффект расширения объема.

Стандартная модель  $k - \varepsilon$ , используемая в анализе, представляет собой математическую модель, основанную на уравнении переноса для кинетической энергии турбулентности ( $k$ ) и скорости ее диссипации ( $\varepsilon$ ). Их можно получить, решив следующее уравнение [17]:

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_i}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right] + \mu_i \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \rho \varepsilon - \frac{\partial(\rho k u_i)}{\partial x_i}, \quad (3.4)$$

$$\frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_i}{\sigma_s} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} \right] + \frac{c_1 \varepsilon}{k} \mu_t \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - c_1 \rho \frac{\varepsilon^2}{k} - \rho u_k \frac{\partial k}{\partial x_k}, \quad (3.5)$$

где:  $\mu_t$  – турбулентная вязкость, определяемая по формуле:

$$\mu_t = \frac{c_\mu \rho k^2}{\varepsilon}, \quad (3.6)$$

$c_1$ ,  $c_2$  и  $c_\mu$  – константы,  $\sigma_k$  и  $\sigma_\varepsilon$  – турбулентные числа Прандтля для  $k$  и  $\varepsilon$  соответственно. В стандартной модели  $k$ - $\varepsilon$  все эти константы имеют следующие значения по умолчанию [17]:

$$c_1 = 1.44, c_2 = 1.92, c_\mu = 0.09, \sigma_k = 1.0, \sigma_\varepsilon = 1.3$$

### 3.2. Процедуры вычислительного гидродинамического анализа

В вычислительной гидродинамике анализ состоит из трех основных этапов: предварительная обработка, обработка и постобработка. Этап

предварительной обработки — это первый этап процесса анализа, на котором формулируется задача о течении. Он включает в себя подготовку геометрии, создание сетки, определение свойств задействованных материалов, настройку пограничного слоя и условия. На втором этапе проводится анализ, а именно, задаются все числовые параметры и задачи, которые необходимо выполнить при расчете (схемы дискретизации, параметры решателя и т. д.), и решаются уравнения. Наконец, этап постобработки иллюстрирует смоделированные результаты и отображает их в графическом и анимированном формате.

## **6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

### **6.1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения**

#### **6.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования**

Целью исследования является представление неразрушающих методов обнаружения закупорки в трубопроводных системах, основанные на методе конечных объёмов и расчетном моделировании гидродинамического анализа. Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Целевой рынок – сегменты рынка, на котором будет продаваться в будущем разработка. В свою очередь, сегмент рынка – это особым образом выделенная часть рынка, группы потребителей, обладающих определенными общими признаками. Основным сегментом рынка для исследуемой технологии – это нефтяные и газовые компании, осуществляющие транспортировку углеводородов путем использования трубопроводов (такие компании как ПАО «Газпром» и ПАО «Транснефть»).

Помимо транспортировки нефти, природного и попутного газа трубопроводный транспорт России используется для нефтепродуктов, жидких и газообразных химикатов. Это перспективное направление в России, хоть и малоразвитое. Но тем не менее есть отдельные представители, для которых полученные результаты исследования могут быть интересны – например, аммиакопровод (Тольятти - Одесса), этиленопровод в Татарстане и Башкирии, продуктопроводы для перекачки готового топлива (например, Уфа – Новосибирск) и пр.

Таким образом, целевой рынок для последующей продажи разработки – компании, использующие в своей деятельности трубопроводный транспорт.

## 6.1.2. 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. Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты.

В таблице 6.1 приведена оценка конкурентов, где Бф – разрабатываемый проект, Бк1 – технология, используемая для обнаружения засоров в трубопроводных системах в производстве в настоящее время, Бк2 – аналогичная зарубежная технология с точки зрения технических и экономических критериев оценки эффективности.

Таблица 6.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
1. Повышение производительности труда	0,2	5	4	5	1	0,8	1
2. Надежность	0,15	5	3	5	0,75	0,45	0,75
3. Простота эксплуатации	0,15	5	3	4	0,75	0,45	0,6
4. Эффективность работы	0,05	5	4	4	0,25	0,2	0,2
5. Безопасность	0,15	5	3	5	0,75	0,45	0,75
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
1. Срок окупаемости	0,15	5	4	3	0,75	0,6	0,45
2. Цена реализации	0,1	4	5	2	0,4	0,5	0,2
3. Срок выхода на рынок	0,05	3	5	3	0,15	0,25	0,15
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>42</b>	<b>38</b>	<b>35</b>	<b>4,8</b>	<b>3,7</b>	<b>4,1</b>

Расчет конкурентоспособности определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i, \quad (6.1)$$

где К – конкурентоспособность проекта;

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

Б<sub>i</sub>– балл показателя.

Результаты анализа конкурентных технических решений показывают, что исследование является актуальное и перспективное, обладающее высоким уровнем конкурентоспособности. Сильные стороны проекта в его технических характеристиках, с экономической точки зрения у разработки есть слабые места, такие как цена реализации и сроки выхода на рынок.

### 6.1.3. SWOT-анализ

Для исследования внешней и внутренней среды проекта в работе проведен SWOT-анализ с детальной оценкой сильных и слабых сторон исследовательского проекта, а также его возможностей и угроз. 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 (таблица 6.2).

Таблица 6.2 – Матрица SWOT-анализа

<b>Сильные стороны</b> С1. Быстрая окупаемость С2. Высокая конкурентоспособность С3. Используются передовые разработки для технологического решения С4. Экологичность технологии С5. Сокращает время реагирования на проблему	<b>Слабые стороны</b> Сл1. Исследование не подготовлено для рынка в соответствии с регламентными требованиями Сл2. Необходимость обучения персонала Сл3. Необходимо доказать технические преимущества инвесторам Сл4. Высокие начальные вложения в технологическое решение
<b>Возможности</b> В1. Существующий спрос на актуальные разработки В2. Возможность выхода технологии на зарубежный рынок В3. Разработка может адаптироваться для других сегментов рынка	<b>Угрозы</b> У1. Снижение стоимости реализации разработок конкурентов. У2. Отсутствие спроса на результат исследования У3. Ужесточение контроля и регламентов

*Второй этап* состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Эти

соответствия или несоответствия должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

В рамках данного этапа необходимо построить интерактивные матрицы проекта. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильным сторонам возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить. Соотношения параметров представлены в таблицах 6.3–6.6.

Таблица 6.3 – Возможности проекта и сильные стороны

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

Таблица 6.4 – Возможности проекта и слабые стороны

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

Таблица 6.5 – Угрозы проекта и сильные стороны

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

Таблица 6.6 – Угрозы проекта и слабые стороны

Слабые стороны проекта					
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	У1	-	+	0	+
	У2	0	+	+	+
	У3	+	-	-	-

Анализ интерактивных таблиц представляется в форме записи сильно коррелирующих сильных сторон и возможностей, или слабых сторон и возможностей. Каждая из записей представляет собой направление реализации проекта:

1. Корреляции сильных сторон и возможностей: В1С2С3, В2С1С3С4, В3СС3С5;
2. Корреляции слабых сторон и возможностей: В1Сл1Сл2Сл3, В2Сл1, В3Сл2Сл3Сл4;
3. Корреляции сильных сторон и угроз: У1С1С5, У2С1С2С3С5, У3С2С4;
4. Корреляции слабых сторон и угроз: У1Сл2Сл4, У2Сл2Сл3Сл4, У3Сл1.

В рамках *третьего этапа* должна быть составлена итоговая матрица SWOT-анализа (таблица 6.7).

Таблица 6.7 – Итоговая матрица SWOT-анализа

	<b>Сильные стороны</b> С1. Быстрая окупаемость С2. Высокая конкурентоспособность С3. Используются передовые разработки для технологического решения С4. Экологичность технологии С5. Сокращает время реагирования на проблему	<b>Слабые стороны</b> Сл1. Исследование не подготовлено для рынка в соответствии с регламентными требованиями Сл2. Необходимость обучения персонала Сл3. Необходимо доказать технические преимущества инвесторам Сл4. Высокие начальные вложения в технологическое решение
<b>Возможности</b> В1. Существующий спрос на актуальные разработки В2. Возможность выхода технологии на зарубежный рынок В3. Разработка может адаптироваться для других сегментов рынка	Использование передовых исследований, высокая конкурентоспособность и технические преимущества поддерживает существующий спрос на актуальные разработки, также исследование имеет потенциал для выхода на международный рынок. Адаптированность проекта для других сегментов повышает конкурентоспособность.	Спрос на актуальные технологические решения позволит решить проблему с неподготовленностью проекта для презентации инвесторам, привести в соответствие с регламентами. Международный рынок заинтересован в технологичных исследованиях, несмотря на высокие первоначальные вложения и необходимость доп. обучения персонала.
<b>Угрозы</b> У1. Снижение стоимости реализации разработок конкурентов.	Снижение стоимости реализации разработок конкурентов потребует пересмотра актуальности технических решений,	Т.к. реализация разработки требует первоначальных вложений в капитал и персонал, снижение стоимости реализации конкурентов может

<p>У2. Отсутствие спроса на результат исследования</p> <p>У3. Ужесточение контроля и регламентов</p>	<p>составляющих основу исследуемого метода.</p> <p>Если инвесторы заинтересованы в краткосрочной экономии, то они не проявят спрос, несмотря на быструю окупаемость и экологичность проекта.</p>	<p>представлять угрозу. Также это в совокупности с необходимостью убедительно доказать преимущества проекта может послужить причиной отсутствия спроса.</p>
--	--	---

Таким образом, по итогам составления итоговой матрицы SWOT-анализа выявлены направления реализации проекта: например, такие слабые стороны как высокие первоначальные вложения нивелируются существующим спросом на современные разработки, а ее положительное влияние на производительность труда гарантирует быструю окупаемость. Но в то же время это угрожает реализации разработки, если перед потенциальными покупателями технологии на первом месте будет стоять финансовый вопрос.

## **6.2. Планирование научно-исследовательских работ**

### **6.2.1. Структура работ в рамках научного исследования**

Планирование комплекса научно-исследовательских работ осуществляется в порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение количества исполнителей для каждой из работ;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для выполнения научного исследования формируется рабочая группа, в состав которой входит инженер (магистрант) и научный руководитель, определен перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, проведено распределение исполнителей по видам работ. Результатом такого планирования является составление линейного графика выполнения всех работ. Порядок этапов работ и распределение исполнителей для данной научно-исследовательской работы приведен в таблице 6.8.

Таблица 6.8 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	Научный руководитель
	2	Календарное планирование выполнения работ	Инженер, научный руководитель
Выбор способа решения поставленной задачи	3	Обзор научной литературы	Инженер
	4	Выбор методов исследования	Инженер
Теоретические исследования	5	Проведение расчетов, построение моделей	Инженер
	6	Сравнение экспериментальных данных с теоретическими расчетами	Инженер
	7	Исправление ошибок	Инженер
Обобщение и оценка результатов	8	Обработка полученных данных исследования	Инженер
	9	Оценка правильности полученных результатов исследования	Инженер, научный руководитель
Оформление отчета по НИР	10	Составление пояснительной записки	Инженер

### 6.2.2. Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения научного исследования

При проведении научных исследований основную часть стоимости разработки составляют трудовые затраты, поэтому определение трудоемкости проводимых работ является важным этапом составления сметы.

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости использована следующая формула:

$$t_{ожи} = \frac{3t_{мин i} + 2t_{макс i}}{5}, (6.2)$$

где  $t_{ожи}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы, человеко-дни;

$t_{мин i}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы, человеко-дни;

$t_{maxi}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы, человеко-дни.

Зная величину ожидаемой трудоемкости, можно определить продолжительность каждой  $i$ -ой работы в рабочих днях  $T_{pi}$ , при этом учитывается параллельность выполнения работ разными исполнителями. Данный расчёт позволяет определить величину заработной платы.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (6.3)$$

где  $T_{pi}$  – продолжительность одной работы, рабочие дни;

$t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, человеко-дни;

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

Для перевода длительности каждого этапа из рабочих в календарные дни, необходимо воспользоваться формулой (6.4):

$$T_{ki.инж} = T_{pi} \cdot k_{кал}, \quad (6.4)$$

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

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

$k_{кал}$  – календарный коэффициент.

Календарный коэффициент определяется по формуле:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} = \frac{365}{365 - 52 - 14} = 1,22, \quad (6.5)$$

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

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

$T_{пр}$  – общее количество праздничных дней в году (2022 год).

Расчеты временных показателей проведения научного исследования обобщены в таблице 6.9.

Таблица 6.9 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$	Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$
	$t_{min}$ , чел-дни		$t_{max}$ , чел-дни		$t_{ожг}$ , чел-дни			
	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	2	-	6	-	3,6	-	3,6	4
2. Календарное планирование выполнения работ	1	4	3	6	1,8	4,8	3,3	4
3. Обзор научной литературы	-	14	-	21	-	16,8	16,8	20
4. Выбор методов исследования	-	3	-	7	-	4,6	4,6	6
5. Проведение расчетов, построение моделей	-	14	-	21	-	16,8	16,8	20
6. Сравнение экспериментальных данных с теоретическими расчетами	-	3	-	5	-	3,8	3,8	5
7. Исправление ошибок	-	3	-	7	-	4,6	4,6	6
8. Обработка полученных данных исследования	-	10	-	15	-	12	12	15
9. Оценка правильности полученных результатов исследования	2	3	4	5	2,8	3,8	3,3	4
10. Составление пояснительной записки	-	8	-	10	-	8,8	8,8	11
<b>Итого:</b>	5	62	13	97	8,2	76	77,6	95

Примечание: Исп. 1 – научный руководитель, Исп. 2 – инженер.

На основе таблицы составлен календарный план-график выполнения проекта в форме диаграммы Ганта (таблица 6.10). График строится для

максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта на основе табл. 6.9 с разбивкой по месяцам и декадам за период времени дипломирования.

Таблица 6.10 – Календарный план-график проведения работ

№	Вид работ	Исп	Тк, кал. дн.	Продолжительность работ													
				Февр.	Март.			Апр.			Май.						
				3	1	2	3	1	2	3	1	2	3				
1	Составление и утверждение тех. задания, утверждение плана-графика	Исп1	4														
2	Календарное планирование выполнения ВКР	Исп1 Исп2	4														
3	Обзор научной литературы	Исп2	20														
4	Выбор методов исследования	Исп2	6														
5	Проведение расчетов, построение моделей	Исп2	20														
6	Сравнение экспериментальных данных с теоретическими расчетами	Исп2	5														
7	Исправление ошибок	Исп2	6														
8	Обработка полученных данных исследования	Исп2	15														
9	Оценка правильности полученных результатов исследования	Исп1 Исп2	4														
10	Составление пояснительной записки	Исп2	11														

Примечание:  – Исп. 1 (научный руководитель),  – Исп. 2 (инженер)

### 6.3. Бюджет научно-технического исследования

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

- материальные затраты НТИ;
- затраты на специальное оборудование для экспериментальных работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

#### 6.3.1. Расчет материальных затрат НТИ

Данная статья включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта. Результаты расчета затрат представлены в таблице 6.11.

Таблица 6.11 – Материальные затраты

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Кол-во, ед.	Сумма, руб.
Комплект канцелярских принадлежностей	360	1	360
Бумага А4	400	1	400
USB-карта	1700	1	1700
Картридж для принтера	3500	1	3500
Итого:			5960

#### 6.3.2. Расчет амортизации специального оборудования

Расчет затрат на специальное оборудование учитываем в виде амортизационных отчислений, так как на момент начала проведения исследования оборудование и программное обеспечение уже было приобретено, а также использовалось в течение длительного периода времени. Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации рассчитывается по формуле:

$$H_A = \frac{1}{n}, \quad (6.6)$$

где  $n$  – срок полезного использования в количестве лет.

Амортизация оборудования рассчитывается по формуле:

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m, \quad (6.7)$$

где  $I$  – итоговая стоимость единицы, руб.;

$m$  – время использования, мес.

При выполнении научно-исследовательского проекта использовался ноутбук HP. Срок полезного использования данного ноутбука по паспорту составляет 3 года.

Таблица 6.12 – Затраты на оборудование

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во ед.	Срок полезного использования, лет	Время использования, мес.	$H_A$ , %	Цена оборудования, руб.	Амортизация
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Ноутбук HP + Microsoft Office	1	3	3.8	0.33	53000	5539
2	ПО Ansys	1	5	1.25	0.2	1921500	40031
<b>Итого:</b>							45570 руб.

### 6.3.3. Основная заработная плата исполнителей НИР

В настоящую статью включается основная заработная плата исполнителей, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 30 % от оклада.

Основная заработная плата  $Z_{осн}$  работника рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (6.8)$$

где  $Z_{дн}$  – среднедневная заработная плата, руб.;

$T_p$  – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дн. (таблица 6.9).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (6.9)$$

где  $Z_m$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дней;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

– при отпуске в 56 раб. дней –  $M=10,3$  месяца, 6-дневная рабочая неделя.

Должностной оклад работника за месяц:

$$Z_m = Z_{тс} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p, \quad (6.10)$$

где  $Z_{тс}$  – заработная плата, согласно тарифной ставке, руб.;

$k_{пр}$  – премиальный коэффициент, равен 0,3;

$k_d$  – коэффициент доплат и надбавок, равен 0,2;

$k_p$  – районный коэффициент, равен 1,3 (для г. Томска).

Таблица 6.13 – Баланс рабочего времени исполнителей

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней	52/14	52/14
- выходные дни		
- праздничные дни		
Потери рабочего времени	56/0	28/0
- отпуск		
- невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	243	271

Таблица 6.14 – Расчет основной заработной платы исполнителей

Исполнители НИ	$Z_{мс}$ , руб	$k_{пр}$	$k_d$	$k_p$	$Z_m$ , руб	$Z_{дн}$ , руб	$T_p$ , раб. дн.	$Z_{осн}$ , руб
Руководитель	37700	0,3	0,2	1,3	73515	3116,07	10,2	31783,91
Инженер	19200	0,3	0,2	1,3	37440	1423	74	105302
Итого:								137085,91

#### 6.3.4. Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} \quad (6.11)$$

где  $k_{доп}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимаем равным 0,15).

Таблица 6.15 – Расчет дополнительной заработной платы исполнителей

Исполнитель	Основная з.п., руб.	Дополнительная з.п., руб.
Научный руководитель	31783,91	4767,59
Инженер	105302	15795,3
Итого:	137085,91	20562,89

#### 6.3.5. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (6.12)$$

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

Общая ставка взносов составляет – 30% (ст. 425, 426 НК РФ):

- 22 % – на пенсионное страхование;
- 5,1 % – на медицинское страхование;
- 2,9 % – на социальное страхование.

Таким образом, социальные отчисления равны:  $0,3 * (137085,91 + 20562,89) = 47294,64$  руб.

### 6.3.6. Накладные расходы

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

Величина накладных расходов определяется по формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей} 1 \div 5) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (6.13)$$

где  $k_{\text{нр}}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величина коэффициента принимается равной 0,2.

Расчет величины накладных расходов представлен в таблице 6.16.

Таблица 6.16 – Группировка затрат по статьям

Статьи						
1	2	3	4	5	6	7
Материалы	Специальное оборудование	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Итого без накладных расходов	Накладные расходы
5960	45570	137085,91	20562,89	47294,64	256473,44	51294,69

### 6.3.7. Формирование бюджета затрат НИР

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости НИР по форме, приведенной в таблице 6.17. В таблице также представлено определение бюджета затрат двух конкурирующих научно-исследовательских проектов.

Таблица 6.17 – Группировка затрат по статьям

№	Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
		Текущий Проект	Исп.2	Исп.3	
1	Материальные затраты НИР	5960	4300	8700	Пункт 4.3.1
2	Затраты на специальное оборудование	45570			Пункт 4.3.2
3	Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	137085,91			Пункт 4.3.3
4	Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	20562,89			Пункт 4.3.4
5	Отчисления во внебюджетные фонды	47294,64			Пункт 4.3.5
6	Накладные расходы	51294,69	50962,69	51842,69	Пункт 4.3.6
Бюджет затрат НИР:		307768,13	305776,13	311056,13	Сумма ст. 1-6

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

Для определения эффективности исследования рассчитан интегральный показатель эффективности научного исследования путем определения интегральных показателей финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

*Интегральный показатель финансовой эффективности* научного исследования получен в процессе оценки бюджета затрат трех вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принят за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки рассчитывается как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (6.14)$$

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

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

$\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость исполнения.

Таблица 6.18 – Расчет интегрального финансового показателя

Показатель	Текущий проект	Исп.2	Исп.3
$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$	0,99	0,98	1

*Интегральный показатель ресурсоэффективности* вариантов выполнения НИР ( $I_{pi}$ ) определен путем сравнительной оценки их характеристик, распределенных с учетом весового коэффициента каждого параметра (таблица 6.19).

Таблица 6.19 – Сравнительная оценка характеристик вариантов НИР

Объект исследования / Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Исп.2	Исп.3
1. Способствует росту производительности труда	0,25	5	3	5
2. Удобство в эксплуатации	0,15	5	3	3
3. Надежность	0,3	5	3	5
4. Универсальность	0,15	5	4	4
5. Материалоёмкость	0,15	5	3	3
ИТОГО	1	5	3,15	4,25

Расчет интегрального показателя для разрабатываемого проекта:

$$I_{p-исп1} = 5*0,25 + 5*0,15 + 5*0,3 + 5*0,15 + 5*0,15 = 5$$

$$I_{p-исп2} = 3*0,25 + 3*0,15 + 3*0,3 + 4*0,15 + 3*0,15 = 3,15$$

$$I_{p-исп3} = 5*0,25 + 3*0,15 + 5*0,3 + 4*0,15 + 3*0,15 = 4,25$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки вычисляется на основании показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.i} = \frac{I_{p-исп.i}}{I_{финр.i}} \quad (6.15)$$

Далее интегральные показатели эффективности каждого варианта НИР сравнивались с интегральными показателями эффективности других вариантов с целью определения сравнительной эффективности проекта (таблица 6.19).

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

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}}$$

Таблица 6.19 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Текущий проект	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,99	0,98	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	5	3,15	4,25
3	Интегральный показатель эффективности	5,05	3,21	4,25
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,6	1	1,3

## Выводы

Проведенный анализ конкурентных технических решений показал актуальность и перспективность проекта, в ходе SWOT анализа определены

возможные направления развития, а также сдерживающие факторы и уязвимости. Был разработан график реализации этапов работ, который позволяет оценивать и планировать рабочее время исполнителей: длительность календарных дней для выполнения работ составляет 95 дней, при этом инженер будет занят проектом 91 день, а научный руководитель – 12 календарных дней.

Для оценки затрат на реализацию проекта разработан бюджет проекта, составляющий 307768,13 руб. Значение интегрального показателя эффективности НИР значительно превышает показатели конкурентных разработок, и показывает, что техническое решение, рассматриваемое в НИР, является наиболее эффективным и конкурентоспособным вариантом исполнения.

## **7. Социальная Ответственность**

### **Введение**

Выпускная квалификационная работа посвящена разработке неразрушающего метода обнаружения засоров в трубопроводных системах. В связи с этим в данном разделе ВКР проведен анализ возможных опасных и вредных факторов, которые могут возникнуть при эксплуатации трубопровода и даны рекомендации по обеспечению производственной безопасности. Также рассмотрен вариант чрезвычайной ситуации на объекте, который может возникнуть при несоблюдении инструкций.

В данном разделе рассматривается деятельность сменного инженера с точки зрения безопасности жизнедеятельности в соответствии с трудовым законодательством.

Важнейшей задачей при управлении потоками транспортируемой среды является соблюдение правил и требований производственной и экологической безопасности.

### **7.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

Согласно ТК РФ [22] время, в течении которого работник должен исполнять свои трудовые обязанности, не может превышать 40 часов в неделю. На исследуемом объекте применяется сокращение рабочего времени до 36 часов в неделю, в связи с вредными и опасными условиями труда. При такой рабочей неделе максимально допустимая продолжительность смены для работника не может превышать 8 часов.

При трудоустройстве работодателю предоставляются необходимые персональные данные работника. Их обработка, хранение и использование осуществляется исключительно в целях обеспечения соблюдения законов и иных нормативных правовых актов. Доступ к персональным данным работникам должен быть только у специально уполномоченных лиц. Передача данных третьей стороне возможна только с письменного согласия работника.

Доступ к полной информации о своих персональных данных, исключение, исправление неверных или неполных данных являются правомерными действиями работника. Заработная плата каждого работника устанавливается индивидуально, в зависимости от его квалификации, сложности выполняемых работ, затраченного времени и других факторов. Минимальная оплата труда не может быть ниже прожиточного минимума населения. Работники, занятые на работах с вредными или опасными условиями труда, а также в местностях с особыми климатическими условиями, получают оплату труда в повышенном размере. Минимальный размер повышения оплаты труда составляет 4 процента тарифной ставки (оклада), установленной для различных видов работ с нормальными условиями труда.

Государство (ст. 147 ТК РФ) устанавливает гарантии и компенсации за вредные условия труда. К ним относятся: уменьшение рабочего времени, дополнительный отпуск, доплаты и компенсационные выплаты, досрочный выход на пенсию, обязательное своевременное проведение медосмотров, выдача молока или лечебного питания.

Социальное страхование является обязательным способом защиты населения в Российской Федерации. К нему относятся страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний, страхование на случай временной нетрудоспособности, пенсионное страхование и другие. Цель данной системы защиты граждан компенсировать или минимизировать последствия изменения материального или социального положения граждан в случаях, предусмотренных законодательством РФ.

Согласно ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ [23] необходимо правильно организовать рабочее место работника. Рабочее место должно обеспечивать возможность удобного выполнения работ в положении сидя или стоя или в положениях и сидя, и стоя. При выборе положения работающего необходимо учитывать:

- физическую тяжесть работ;

- размеры рабочей зоны и необходимость передвижения в ней работающего в процессе выполнения работ;
- технологические особенности процесса выполнения работ (требуемая точность действий, характер чередования по времени пассивного наблюдения и физических действий, необходимость ведения записей и др.).

Рассматривая рабочую зону, оснащенную персональным компьютером (ПК), предъявляются следующие требования:

- Рабочие места с ПК в помещениях с источниками вредных производственных факторов должны размещаться в изолированных кабинах с организованным воздухообменом.
- Экран видеомонитора должен находиться от глаз пользователя на расстоянии 600 - 700 мм.
- Необходимое пространство для ног: высота от 600 мм, ширина – не менее 500 мм, глубина на уровне колен – не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног – не менее 650 мм.
- Конструкция рабочего стола должна обеспечивать оптимальное размещение на рабочей поверхности используемого оборудования с учетом его количества и конструктивных особенностей, характера выполняемой работы. При этом допускается использование рабочих столов различных конструкций, отвечающих современным требованиям эргономики.

## **7.2. Производственная безопасность**

В разделе «производственная безопасность» будут проанализированы потенциально опасные и вредные производственные факторы, при использовании вычислительного гидравлического анализа для обнаружения засоров в трубопроводных, при ее эксплуатации.

К вредным производственным факторам относят факторы, влияние которых на работников может повлечь их заболевание, снижение уровня

работоспособности или отрицательное воздействие на будущее потомство. Опасными производственными факторами называются факторы, способные при определенных условиях вызывать острое нарушение здоровья и гибели человека.

Таблица 7.1 — Возможные опасные и вредные производственные факторы на рабочих местах, использующих ПК

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ)	Нормативные документы
Отклонение показателей микроклимат в помещении	– Требования к отклонению показателей климата устанавливаются в СанПиН 2.2.4.548–96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений [24].
Повышенный уровень и другие неблагоприятные характеристиками шума	– Требования к защите от повышенного уровня шума устанавливаются ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности [32].
Повышенный уровень электромагнитных полей	– Требования к защите от повышенного уровня электромагнитных полей устанавливаются ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Общие требования безопасности [33].
Отсутствие или недостаток необходимого естественного и искусственного освещения	– требования к освещению устанавливаются СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*[25].
Пожаровзрывоопасность	– Требования к возникновению пожара или взрыва устанавливаются в ГОСТ 12.1.010-76 ССБТ. Взрывобезопасность. Общие требования
Опасные и вредные производственные факторы, связанные с электрическим током	

	[26]. - Требования к электробезопасности устанавливаются в ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты [27].
--	---

## 7.2.1. Анализ вредных производственных факторов

### а. Отклонение показателей микроклимата в помещении

При работе могут наблюдаться отклонения показателей микроклимата: повышенная или пониженная температура воздуха или поверхностей в рабочей зоне, отклонение показателей относительной влажности и скорости движения воздуха, интенсивности теплового облучения. Параметры микроклимата оказывают непосредственное влияние на самочувствие человека и его работоспособность. Рассмотрим оптимальные и допустимые нормы параметров микроклимата в рабочей зоне производственных помещений в холодное и теплое время года при работе средней тяжести:

Таблица 7.2 — Допустимые параметры микроклимата на рабочих местах, использующих ПК

Период года	Категория работ	Температура воздуха, °С		Температура поверхностей,	Относительная влажность воздуха, φ%	Скорость движения воздуха, м/с	
		Диапазон ниже оптимальных величин	Диапазон выше оптимальных величин			Если $t^{\circ} < t^{\circ}_{\text{опт}}$	Если $t^{\circ} > t^{\circ}_{\text{опт}}$
Холодный	Ia	20,0 - 21,9	24,1 - 25,0	19,0 - 26,0	15 - 75	0,1	0,1
	Iб	19,0 - 20,9	23,1 - 24,0	18,0 - 25,0	15 – 75	0,1	0,2

Теплый	Ia	21,0 – 22,9	25,1 - 28,0	20,0 - 29,0	15 - 75	0,1	0,2
	Iб	20,0 - 21,9	24,1 - 28,0	19,0 - 29,0	15 - 75	0,1	0,3

Категории Ia соответствует данной работе с интенсивностью энергозатрат 120 ккал/ч, производимые сидя и сопровождающиеся незначительным физическим напряжением.

Нормализация метеорологических условий производственной среды является способом коллективной защиты работников. В данный процесс входит установка вентиляции, отопления и кондиционирования в рабочей зоне. От теплового излучения необходима защита расстоянием, путем перевода управления в дистанционный вид с помощью механизации и автоматизации производственных процессов. Также способом защиты является обеспечение оптимального режима работы. К средствам индивидуальной защиты относятся специальная одежда, обувь, средства защиты рук, головы, лица и глаз.

***б. Отсутствие или недостаток необходимого естественного и искусственного освещения***

В темное время суток, а также в закрытых помещениях, света может быть недостаточно. В связи с этим, применяется искусственное освещение. От уровня освещенности зависит зрение работника, его сопротивляемость усталости и нагрузкам. Средняя горизонтальная освещенность в кабинетах и офисных помещениях должна быть не менее 300 лк. В различных цехах и технических помещениях освещенность варьируется от 100 до 300 лк. При проведении земляных работ не менее 10 лк. Освещенность должна быть равномерной, без слепящего действия.

**Требования к освещению на рабочих местах, оборудованных ПЭВМ:**

Рабочие столы следует размещать таким образом, чтобы видеодисплейные терминалы были ориентированы боковой стороной к

световым проемам, чтобы естественный свет падал преимущественно слева. Искусственное освещение в помещениях для эксплуатации ПЭВМ должно осуществляться системой общего равномерного освещения. В производственных и административно-общественных помещениях, в случаях преимущественной работы с документами, следует применять системы комбинированного освещения (к общему освещению дополнительно устанавливаются светильники местного освещения, предназначенные для освещения зоны расположения документов).

Освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 300 - 500 лк. Освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана. Освещенность поверхности экрана не должна быть более 300 лк.

В качестве источников света при искусственном освещении следует применять преимущественно люминесцентные лампы типа ЛБ и компактные люминесцентные лампы (КЛЛ). При устройстве отраженного освещения в производственных и административно-общественных помещениях допускается применение металлогалогенных ламп. В светильниках местного освещения допускается применение ламп накаливания, в том числе галогенны.

Таблица 7.3. Нормируемые показатели естественного, искусственного и совмещенного освещения для рабочих мест, использующих оборудования ПК [34].

Помещение	Плоскость (Г - горизонтальная, В -	Естественное освещение	Совмещенное освещение	Искусственное освещение

	вертикальная) нормирования освещенности и КЕО, высота плоскости над полом, м	КЕО, е <sub>н</sub> %		КЕО, е <sub>н</sub> %		Освещенность рабочих поверхностей, лк		Объем интенсивный показатель диском- форты UGR, не более	Коэффициент пульсации освещенности, %, не более
		при верхнем или комбинированном освещении и	при боковом освещении и	при верхнем или комбинированном освещении и	при боковом освещении и	при комбинированном освещении и	при общем освещении и		
Кабины	Г-0,0	3,0	1,0	1,8	0,6	300		-	-

### *с. Пожаровзрывоопасность*

Опасные факторы пожара — пламя и искры, тепловой поток, повышенная температура окружающей среды, повышенная концентрация продуктов горения, пониженная концентрация кислорода. После пожара может произойти взрыв, который также является опасным производственным фактором.

Воздействие пламени на человека может привести к термическому ожогу. Повышенная температура вызывает ожоговые поражения дыхательных

путей и кожи человека. Токсичные продукты горения отравляют человека оксидами углерода и другими соединениями, вызывая кислородное голодание — головную боль, слабость, головокружение, и в при длительном воздействии приводит к гибели человека.

Опасные факторы взрыва: ударная волна, пламя, обрушивающиеся конструкции, выделяющиеся вредные вещества. Противодействие пожарам осуществляется в процессе обеспечения пожарной безопасности.

Помещение по степени пожароопасности относится к классу В-4, так как в нем отсутствует выделение пыли и волокон во взвешенном состоянии. Возникновение пожара при работе с ПК может быть по причинам как электрического, так и неэлектрического характера. Причины возникновения пожара неэлектрического характера может быть халатное неосторожное обращение с огнем (курение, оставленные без присмотра нагревательные приборы, использование открытого огня),

Для локализации или ликвидации загорания на начальной стадии используются первичные средства пожаротушения. Первичные средства пожаротушения обычно применяют до прибытия пожарной команды. К первичным средствам пожаротушения относятся все виды переносных и передвижных огнетушителей, оборудование пожарных кранов, ящики с порошковыми составами (песок, перлит и т.п.), а также огнестойкие ткани (асбестовое полотно, кошма, войлок и т.п.). Причины возникновения пожара электрического характера: короткое замыкание, перегрузки по току, искрение и электрические дуги, статическое электричество и т. п.

#### Требования к персоналу на рабочих местах в нефтегазовой отрасли:

- Работники допускаются к работе на объекте только после прохождения обучения мерам пожарной безопасности. Обучение работников мерам пожарной безопасности осуществляется путем проведения противопожарного инструктажа и прохождения пожарно-технического минимума.

- Вся территория производственных объектов постоянно содержится в чистоте и порядке. Мусор и другие отходы должны убираться, места разлива горючих жидкостей должны засыпаться сухим песком;

- Запрещается курение на территории вахтового поселка, в общежитиях, столовой, бане, на территории и в помещениях взрывопожароопасных объектов. Курить только в отведенных местах для курения;

- Въезд на территорию объектов нефтедобычи техники допускается только по разрешению инженерно-технического работника, ответственного за этот объект. При этом автотранспорт, тракторы и другие агрегаты оборудованы глушителями с искрогасителями;

- Запрещается применять для освещения факелы, свечи, керосиновые фонари и другие источники открытого огня;

- Отогрев замерзшей аппаратуры, арматур, трубопроводов, задвижек разрешается горячей водой или паром;

- Нагревательные приборы, не оснащенные автоматикой, оставлять без присмотра запрещено;

- По окончании работы ответственные за пожарную безопасность осматривают помещения, территорию

#### ***d. Электробезопасность***

Источником электрического травма являются электрические установки, токоведущие проводники, и прочее оборудование, которое находится под напряжением в результате повреждения изоляции.

Согласно ПУЭ (7-е изд.) [35], рабочее место относится к категории помещения – без повышенной опасности. Так как в ней учтены все необходимые правила по электробезопасности, это сухое помещение без повышенного напыления, температура воздуха нормальная, пол покрыт

изоляционным материалом. Влажность воздуха не превышает 75%, отсутствует токопроводящая пыль, температура не превышает 35°C.

Для предотвращения электрических травм работника, в первую очередь, необходимо регулярно обслуживать действующие электроустановки, проводить своевременный ремонт, монтаж и профилактические работы. Меры по обеспечению электробезопасности зависят от категории производственного помещения.

Общетехническими средствами защиты являются изоляционное покрытие, кожухи, корпуса, защитные блокировки оборудования, пониженное напряжение в сети, предупредительные маркировки.

К специальным методам относят заземление, зануление и защитное отключение электроустановок. Изолирующие защитные средства, диэлектрические перчатки, галоши, коврик используются как средство индивидуальной защиты.

Для предотвращения электрического поражения необходимо по возможности исключить причины поражения, к которым относятся:

- случайные прикосновения к токоведущим частям, находящимся под напряжением;
- появление напряжения на механических частях электрооборудования (корпусах, кожухах и т.д.) в результате повреждения изоляции или других причин;
- появление напряжения на отключённых токоведущих частях, на которых работают люди в результате ошибочного включения;
- возникновение напряжения на поверхности земли или на опорной поверхности.

***е. Повышенный уровень шум***

Повышенный шум на рабочем месте оказывает вредное влияние на организм работника в целом, вызывая неблагоприятные изменения в его

органах и системах. Длительное воздействие такого шума способно привести к развитию у работника потери слуха, увеличению риска артериальной гипертензии, болезней сердечно-сосудистой, нервной системы и др. При этом специфическим клиническим проявлением вредного действия шума является стойкое нарушение слуха (тугоухость), рассматриваемое как профессиональное заболевание.

Основными источниками шума на объектах магистральной трубопроводной транспортировки газа являются: газотурбинные установки, электродвигатели для привода нагнетателей, редукторы, нагнетатели природного газа, газомотокомпрессоры, технологическая обвязка надземных трубопроводов, регулирующая арматура, системы технологического сброса газа, аппараты воздушного охлаждения газа.

Для защиты от шума на объектах магистральной трубопроводной транспортировки газа следует принимать средства индивидуальной защиты, такие как: наушники и ушные вкладыши.

#### Требования к уровню шума

Характеристикой постоянного шума на рабочих местах являются уровни звукового давления в дБ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000; 8000 Гц.

Предельно допустимые уровни звукового давления в октавных полосах частот, уровни звука и эквивалентные уровни звука для основных наиболее типичных видов трудовой деятельности и рабочих мест, разработанные с учетом категорий тяжести и напряженности труда, представлены в таблице:

Таблица 7.4 - Предельно допустимые уровни звукового давления, уровни звука и эквивалентные уровни звука для основных наиболее типичных видов трудовой деятельности и рабочих мест

Вид трудовой деятельности, рабочее место	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука (дБА)
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Творческая деятельность, руководящая работа с повышенными требованиями, научная деятельность, конструирование и проектирование, программирование, преподавание и обучение, врачебная деятельность. Рабочие места в помещениях дирекции, проектно-конструкторских бюро, расчетчиков, программистов вычислительных машин, в лабораториях для теоретических работ и обработки данных, приема больных в здравпунктах	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

#### *f. Повышенный уровень электромагнитного излучения*

При использовании вычислительного гидравлического анализа на трубопроводе, где содержится большое количество высоковольтного оборудования, являющегося источником электромагнитных полей, необходимо контролировать уровень электромагнитного излучения.

Высокий уровень электромагнитного излучения негативно воздействует на организм человека, повышая вероятность возникновения заболеваний нервной и сердечно-сосудистой систем.

Максимально допустимые параметры электромагнитного поля в зависимости от диапазона частоты согласно ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ представлены в таблице 7.5 [33].

К общим и индивидуальным средствам защиты от электромагнитных полей относятся экраны, выполненные из металлических материалов, одежда (халаты, фартуки, комбинезоны, костюмы и пр.), изготовленная из отражающей металлизированной х/б ткани); защитные очки, щитки и др., покрытые тонкой токопроводящей пленкой.

Таблица 7.5 – Допустимые значения электромагнитного излучения [33]

Параметр	Предельные значения в диапазонах частот, МГц		
	от 0,06 до 3	от 0,06 до 3	св. 30 до 300
$E_{пд}$ , В/м	500	300	80
$H_{пд}$ , А/м	50	-	-
$\text{Э}N_{E_{пд}}$ , (В/м) <sup>2</sup> ·ч	20000	7000	800
$\text{Э}N_{H_{пд}}$ , (А/м) <sup>2</sup> ·ч	200	-	-

### 7.3. Экологическая безопасность

#### 7.3.1. Защита атмосферы

Загрязнение атмосферы происходит через организованные и неорганизованные источники выбросов. Предотвращение или снижение выбросов в атмосферу при эксплуатации магистральных газопроводов приводит к улучшению состояния окружающей среды и уменьшению затрат при транспортировке газа.

Основным источником загрязнения атмосферы при транспортировке газа по магистральным трубопроводам является оборудование, предназначенное для сбора, подготовки и транспортировки газа. Пары углеводородов, углеводороды в газообразном состоянии попадают в атмосферу вследствие утечек, испарения через уплотнения, в местах соединений трубопроводов, запорно-регулирующей аппаратуры. При работе дизельных, газотурбинных установок, котельных агрегатов, подогревателей углеводородные выбросы в атмосферу поступают с продуктами сгорания.

Оксид углерода относится к 4 классу опасности. Предельно допустимая максимальная разовая концентрация — 5 мг/м<sup>3</sup>, среднесуточная — 3 мг/м<sup>3</sup>. Диоксид азота относится ко 2 классу опасности, ПДК<sub>мр</sub>=0,085 мг/м<sup>3</sup>, ПДК<sub>сс</sub>=0,04 мг/м<sup>3</sup>. Углеводороды алифатические предельные относятся к 4 классу опасности. ПДК<sub>мр</sub>=300 мг/м<sup>3</sup>.

Для уменьшения вредных выбросов в атмосферу применяются современные герметичные типы арматуры, материалы фланцевых соединений, соблюдение требований норм при установке заглушек, мембран. Применяются насосы с уплотнениями. Выбросы от рабочих предохранительных клапанов проводятся в системе, оснащенной сепаратором или дренажной емкостью.

### **7.3.2. Защита гидросфера**

Загрязнение гидросферы связано с разливами нефтепродуктов и различных химических реагентов, используемых на нефтяных и нефтегазовых промыслах. Загрязнение химическими реагентами чаще всего возникает при их разливе в трубопровод с целью предотвращения коррозии или гидратообразования.

Мероприятия для уменьшения воздействия на гидросферу:

- При авариях и повреждениях, которые могут вызвать загрязнение подземных вод, необходимо оградить место аварии и обеспечить его охрану, покрыть адсорбционными материалами разлитые или рассыпанные вещества, прекратить отбор подземных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения в зоне аварии, собрать, нейтрализовать или уничтожить разлитые или рассыпанные вещества и ликвидировать последствия аварии и повреждения.
- При загрязнении или опасности загрязнения подземных вод объем и способ наблюдений за их режимом или качеством определяется в зависимости от значения и вида их использования, а также с учетом возможных последствий их загрязнения.
- В соответствии с требованиями охраны поверхностных вод от загрязнения запрещается сбрасывать в водные объекты сточные воды.
- На территории водоохранной зоны вдоль берегов рек и их притоков следует выделить прибрежные водоохранные зоны.

### **7.3.3. Защита Литосфера**

Источниками загрязнения почвы и почвенных вод являются компоненты нефти, являются площадки строительства или монтажа линейной части, а также при транспортировке оборудования и людей. В результате воздействие этих факторов снижается биологическая продуктивность почвы, нарушается водный и температурный режим грунтов, возникает эрозия. Другим источником загрязнения являются разливы нефти при повреждении трубопровода или несанкционированных врезках. Разлив нефти на почву уничтожает её растительный покров, нарушает целостность плодородного слоя, изменяет естественный рельеф и природный ландшафт.

Чтобы минимизировать риск загрязнения почвы нефтью и нефтепродуктами внедряются новые технологии и проводится постоянный контроль надежности оборудования. Главный принцип состоит в использовании превентивных мер, позволяющих своевременно выявлять дефекты и потенциальные очаги разрушения в трубопроводах, таким образом, не допуская возникновения аварийных ситуаций. Проводится неразрушающий контроль трубопроводов, который включает в себя диагностику, мониторинг коррозии, реконструкцию трубопроводов. Мониторинг проводится дистанционно с использованием рентгенографической аппаратуры, приборов ультразвуковой дефектоскопии и толщинометрии.

### **7.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

Чрезвычайная ситуация (ЧС) – это обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, распространения заболевания, представляющего опасность для окружающих, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

#### **7.4.1. Анализ возможных ЧС**

При эксплуатации магистрального газонефтепровода возможны следующие чрезвычайные ситуации:

Природные ЧС: геологические явления (землетрясения, обвалы и оползни), гидрологические явления (наводнение, сели, лавины), метеорологические (сильный ветер или снегопад, ураган, смерч, заморозок, засуха), природные пожары.

Техногенные ЧС: промышленные аварии (химическая, биологическая, гидродинамическая), пожары и взрывы, разливы нефти и нефтепродуктов.

#### **7.4.2. Наиболее вероятная ЧС**

Самая вероятная чрезвычайная ситуация на магистральном трубопроводе при эксплуатации вычислительного гидравлического анализа по обнаружению засорений обусловлена взрывами из-за высокого давления.

Причинами чаще всего являются разгерметизация трубопроводов, скопление жидкости, внутренняя коррозия, механические повреждения при работах в охранной зоне трубопровода, разрушение под воздействием температурных деформаций, ошибки при эксплуатации объекта, гидравлические удары, воздействие третьих лиц на трубопровод и другие факторы.

#### **7.4.3. Пожарная безопасность**

Причиной возгорания или взрыва может послужить высокое давление в газопроводе или же утечка газа. При наличии электрооборудования, искры или открытого огня есть вероятность образования взрывоопасной среды.

Для предупреждения взрыва необходимо исключить: смеси веществ с воздухом и другими окислителями; вещества, склонные к взрывному превращению.

Предотвращение воздействия на работников опасных и вредных производственных факторов, возникающих в результате взрыва, и сохранение материальных ценностей обеспечиваются:

- Установлением минимальных количеств взрывоопасных веществ, применяемых в данных производственных процессах;
- Применением огнепреградителей, гидрозатворов, водяных и пылевых заслонов, инертных газовых или паровых завес;
- Применением оборудования, рассчитанного на давление взрыва;
- Защитой оборудования от разрушения при взрыве при помощи устройств аварийного сброса давления;
- Применением быстродействующих отсечных и обратных клапанов;
- Применением система активного подавления взрыва;
- Применением средств предупредительной сигнализации.

## **Вывод**

Полученные результаты раздела «Социальная ответственность» позволяют оценить уровень безопасности и эксплуатационной надежности на производстве, необходимость снижать риски возникновения аварий и инцидентов, проводить анализ объекта на удовлетворение санитарным нормам, реализовывать охрану окружающей среды, обеспечить безопасность по правовым и организационным вопросам, определить план действий по предупреждению и локализации чрезвычайных ситуаций.

## Заключение

Засорение трубопровода может произойти на любом участке трубопроводной сети и является результатом изменений давления, температуры, воздействия коррозии, состава или отсутствия технического обслуживания. Прежде чем внедрять какие-либо методы обнаружения, важно оценить, что способствует ее образованию.

Что касается методов обнаружения, математический метод позволяет сузить возможный интервал закупоривания, особенно для магистральных трубопроводов, затем применяется физический метод для точного определения места и достоверной оценки серьезности. На этом этапе необходимо уделить внимание тому, чтобы сам метод обнаружения не ухудшил засор и не затруднил ее устранение в будущей работе.

В данной работе выполняется моделирование вычислительной гидродинамики для изучения влияния местоположения и размера засора на систему газопровода, а также анализируется метод обнаружения, основанный на распространении акустических волн в частично закупоренном трубопроводе, заполненном жидкостью.

Объектом исследования являлся межпромысловый газопровод с многофазным потоком. Для решения использовалось время переходного процесса, решатель на основе давления в сочетании с сигналом распространения акустической волны. На основании анализа делаются следующие выводы:

- Засорение по своим характеристикам по-разному влияет на распределение давления в трубопроводе и является основным фактором, влияющим на падение давления во всем трубопроводе. Чем меньше диаметр закупорки и ее длина или чем дальше от входа в трубу, тем больше перепад давления в трубопроводе.

➤ Вычислительную гидродинамику можно использовать для моделирования распространения и рефлектометрии акустических волн в газонаполненной трубе с частичной закупоркой.

➤ Использование распространения акустической волны на двумерной модели трубы для прогнозирования местоположения дефекта закупорки в трубе может быть успешно оценено с использованием соответствующих данных времени прохождения в форме волны.

➤ Измерение значения акустической скорости в многофазных флюидах может иметь большую погрешность и иногда может быть безуспешным.

➤ ВГ анализ с акустической рефлектометрией для обнаружения засоров показал эффективным с погрешностью 2%, который находится в пределах нормы в соответствии со стандартами.

➤ С экономической точки зрения ВГ анализа оказывается более чем в 50 раз дешевле, чем методы физического контроля.

После первичной проверки допустимости моделирования для условий многофазного потока было определено, что подход к моделированию может выиграть от корректировок или уточнений, сделанных из практических соображений.

## Список литературы

1. Verde C, Torres L. Modelling and monitoring of pipelines and networks. springer; 2017.
2. Hatton G.J, Pulici M, Curti G and Mansueto M, Deepwater Natural Gas Pipeline Hydrate Blockage caused by a Seawater Leak, *Offshore Technology Conference*, ISBN 978-1-55563-249-6, 2002.
3. Salimi, F., Salimi, J. & Abdollahifar, M. Investigation of asphaltene deposition under dynamic flow conditions. *Pet. Sci.* 13, 340–346 (2016).
4. Datta, S., Sarkar, S. Methodological approach for ranking of different blockage detection techniques for pipeline. *Environ Earth Sci* 75, 1294 (2016).
5. Datta, Shantanu, and Shibayan Sarkar. "A review on different pipeline fault detection methods." *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 41 (2016): 97-106.
6. Esab Knowledge Center, Radiographic and Ultrasonic Testing of Welds, Welding Inspection. 2014
7. Wilson, Adam. "A New Method To Detect Blockage in Gas Pipelines." *Journal of Petroleum Technology* 68.04 (2016): 67-68.
8. Lee, P., Vitkovsky, J., Lambert, M., Simpson, A., & Liggett, J. (2005). Leak location using the pattern of the frequency response diagram in pipelines: A numerical study. *Journal of Sound and Vibration*, 284, 1051–1075
9. Lee, Pedro & Vítkovský, John & Lambert, Martin & Simpson, Angus & Liggett, James. (2008). Discrete Blockage Detection in Pipelines Using the Frequency Response Diagram: Numerical Study. *Journal of Hydraulic Engineering-asce - J HYDRAUL ENG-ASCE*. 134. 10.1061/(ASCE)0733-9429(2008)134:5(658).

10. Scott, S. L., & Satterwhite, L. A. (1998). Evaluation of the backpressure technique for blockage detection in gas flowlines. *Journal of energy resources technology*, 120(1), 27- 31.
11. Naseer, M. and Brandstatter, W., 2011. Hydrate formation in natural gas pipelines. *WIT Transactions on Engineering Sciences*, 70, pp.261-270.
12. Jesús Peralta, Cristina Verde, Fermín Delgado, Wave propagation patterns in gas pipelines for fault location, IFAC-PapersOnLine, Volume 53, Issue 2, 2020, Pages 188-193, ISSN 2405-8963.
13. Ming Zhao, Mohamed S. Ghidaoui, Moez Louati & Huan-Feng Duan (2018) Numerical study of the blockage length effect on the transient wave in pipe flows, *Journal of Hydraulic Research*, 56:2, 245-255.
14. Abdullahi, M. and Oyadiji, S.O., 2020. Simulation and detection of blockage in a pipe under mean fluid flow using acoustic wave propagation technique. *Structural Control and Health Monitoring*, 27(4), p.e2449.
15. Ansys Incorporated. Ansys Fluent theory guide. 2013.
16. Launder BE, Jones WP. The prediction of laminarization with a two-equation model of turbulence. *Int J Heat Mass Transf.* 1972;15: 301-314.
17. Launder BE, Spalding DB. Lectures in mathematical models of turbulence. London. 1972.
18. Mohamad I. A, Othman, Mahamed Galal Sayed Ali and Roushid Mohamed Farouk, Analytical solution for acoustic waves propagation in fluids, *World Journal of Mechanics*, 1 (2011), 243-246.
19. Ahmad Z., The Two Dimensional Numerical Modelling of Acoustic Wave Propagation in Shallow Water, Joondalup, Australia, 2000.
20. Ferziger, J.H., Perić, M.: Computational Methods for Fluid Dynamics, 3rd edn. Springer, Berlin (2002).
21. Ямкин А. В. Опытные испытания стационарной системы инфразвукового мониторинга на участке магистрального газопровода: бакалаврская работа / А. В. Ямкин ; Национальный исследовательский

- Томский политехнический университет (ТПУ), Инженерная школа природных ресурсов (ИШПР), Отделение нефтегазового дела (ОНД) ; науч. рук. Н. В. Чухарева. — Томск, 2019.
22. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ (ред. от 25.02.2022 г).
23. ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования.
24. СанПиН 2.2.4.548–96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
25. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95\*.
26. ГОСТ 12.1.010-76 ССБТ. Взрывобезопасность. Общие требования.
27. ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
28. ГОСТ 17.1.3.13-86. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране поверхностных вод от загрязнений.
29. ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.
30. ГОСТ Р 22.0.01-2016. Безопасность в ЧС. Основные положения.
31. Федеральный закон от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. от 30.04.2021) "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности".
32. ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
33. ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Общие требования безопасности.
34. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95\* (с Изменениями N 1, 2).
35. Правила устройства электроустановок. 7-е изд. – СПб.: ДЕАН, 2013.704с.