

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

Инженерная школа природных ресурсов (ИШПР)
 Направление подготовки (специальность) 21.04.01 «Нефтегазовое дело»
 Профиль «Надежность и долговечность газонефтепроводов и хранилищ»
 Отделение нефтегазового дела

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
«Математическое моделирование гильотинного разрыва газопровода под водой»

УДК 622.691.4-044.968(204.1):519.876

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ6А	Ардт А.В.		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Цимбалюк А.Ф.	к.ф-м.н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОСГН	Макашева Ю.С.			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД ШБИП	Немцова О.А.			

Консультант-лингвист

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Щеголихина Ю.В.	к.ф.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ОНД ИШПР	Бурков П.В.	д.т.н, профессор		

Планируемые результаты обучения по ООП

Код Результата	Результат обучения
	Профессиональные компетенции
P1	Применять глубокие естественнонаучные, математические и инженерные знания для создания и обработки новых материалов.
P2	Применять глубокие знания в области современных технологий машиностроительного производства для решения междисциплинарных инженерных задач.
P3	Ставить и решать инновационные задачи инженерного анализа, связанные с созданием и обработкой материалов и изделий, с использованием системного анализа и моделирования объектов и процессов машиностроения.
P4	Разрабатывать технологические процессы, проектировать и использовать новое оборудование и инструменты для обработки материалов и изделий, конкурентоспособных на мировом рынке машиностроительного производства.
P5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования в области современных технологий обработки материалов, нанотехнологий, создания новых материалов в сложных и неопределенных условиях.
P6	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современные высокотехнологичные линии автоматизированного производства, обеспечивать их высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на машиностроительном производстве, выполнять требования по защите окружающей среды.

Код Результата	Результат обучения
	Универсальные компетенции
P7	Использовать глубокие знания по проектному менеджменту для ведения инновационной инженерной деятельности с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности.
P8	Активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности.
P9	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена и руководителя группы, состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.
P10	Демонстрировать глубокие знания социальных, этических и культурных аспектов инновационной инженерной деятельности, компетентность в вопросах устойчивого развития.
P11	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.

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

Инженерная школа природных ресурсов (ИШПР)
 Направление подготовки (специальность) 21.04.01 «Нефтегазовое дело»
 Профиль «Надежность газонефтепроводов и хранилищ»
 Отделение нефтегазового дела

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП ОНД ИШПР
 _____ Бурков П.В.
 (Ф.И.О.) (Подпись) (Дата)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
2БМБА	Ардту Александру Владимировичу

Тема работы:

«Математическое моделирование гильотинного разрыва газопровода под водой»	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	1. Различная фондовая и периодическая литература, тексты и материалы отчетов и научно-исследовательских работ, данные экспериментов и расчетов, нормативно-техническая документация.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1. Изучить главные аспекты проблем эксплуатации трубопроводом 2. Рассмотреть модели возможных сценарий разрушений газопроводов 3. Рассмотреть параметры ударных волн в жидкостях. 4. Рассмотреть опасности при технологических процессах сооружения морских трубопроводов. 5. Провести моделирование сверхзвуковой импульсной веерной струи. 6. Промышленная и экологическая безопасность при работах по ликвидации последствий аварий на газопроводе.

	7. Провести расчет затрат на ликвидацию аварии на морском трубопроводе
--	--

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Макашева Юлия Сергеевна
Социальная ответственность	Немцова Ольга Александровна
Консультант-лингвист	Щеголихина Юлия Викторовна

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

реферат (Zusammenfassung)

зарубежный опыт (Allgemeine Beschreibung der Rohrleitungen)

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Цимбалюк А.Ф.	к.ф-м.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ6А	Арндт А.В.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА

«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ6А	Ардту Александру Владимировичу

Инженерная школа	Природных ресурсов	Отделение	Нефтегазового дела
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	21.04.01 «Нефтегазовое дело» профиль <u>«Надежность газонефтепроводов и хранилищ»</u>

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

Характеристика объекта исследования:	<p>В данной работе рассматривается разрыв магистрального газопровода. Рабочим местом являются полевые условия, работы проводятся в круглосуточном режиме.</p> <p>В разделе проведен анализ опасных и вредных факторов. Разработаны мероприятия по их устранению. Рассмотрены вопросы по электробезопасности, безопасности в чрезвычайных ситуациях и правовые и организационные вопросы</p>
<p>Производственная безопасность</p> <p>1.1. Анализ выявленных опасных факторов и мероприятия по их устранению</p>	<p>Опасные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Движущиеся машины и механизмы производственного оборудования – Электрическая дуга и металлические искры при сварке – Поражение электрическим током – Пожарная и взрывная безопасность – Недостаточная видимость рабочей зоны
<p>1.2. Анализ вредных факторов и мероприятия по их устранению</p>	<p>Вредные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Повышенный уровень шума; – Повышенная загазованность воздуха; – Повреждения, полученные в результате контакта с насекомыми – Избыточное давление
<p>2. Экологическая безопасность</p>	<p>Вредное воздействие на окружающую среду и природоохранные мероприятиях аварийно-восстановительного ремонта газопровода:</p>
<p>3. Безопасность при чрезвычайных ситуациях</p>	<p>Чрезвычайные ситуации на насосной станции могут возникнуть по различным причинам, например:</p> <ul style="list-style-type: none"> • паводковые наводнения; • лесные пожары; • террористические акты; • по причинам техногенного характера (аварии).
<p>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности</p>	<p>Правовые, нормативные акты, инструктивные акты в области охраны труда и отраслевые документы: – Закон об</p>

	<i>основах охраны труда в РФ №181-ФЗ от 17.07.1999 г (с изменениями от 20 мая 2002 г., 10 января 2003 г., 9 мая, 26 декабря 2005 г.).</i>
--	---

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	10.12.2017г
---	-------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<i>Ассистент кафедры ООД ШБИП</i>	Немцова О.А.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ6А	Ардт А.В.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ6А	Арндт Александр Владимирович

Инженерная школа	Природных ресурсов	Кафедра	Транспортировки и хранения нефти и газа
Уровень образования	Магистратура (магистр)	Направление/специальность	21.04.01 «Нефтегазовое дело» профиль <u>«Надежность газонефтепроводов и хранилищ»</u>

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

1. <i>Стоимость ресурсов для выполнения работ по восстановлению целостности магистрального газопровода.</i>	<i>Стоимость материалов для ликвидации последствий аварий, Затраты на потребность технических ресурсов, тарифно-зарплата сетка</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>СТО Газпром 3.0-2006 «Система норм и нормативов расхода ресурсов, использования оборудования»</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений.</i>	<i>Основная система налогообложения</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>Проведение оценки готовности проекта к коммерциализации, выявление степени готовности проекта и компетентности разработчика</i>
2. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<i>Расчет затрат на локализацию аварии на морском участке проложенного газопровода</i>

Перечень графического материала:

<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Оценка готовности проекта к коммерциализации</i> 2. <i>Матрица SWOT</i> 3. <i>График проведения НИ</i> 4. <i>Расчет затрат на проведение мероприятий по ликвидации и ремонта разрыва трубопровода на подводном переходе.</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	10.12.2017
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОСГН	Макашева Ю.С.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ6А	Арндт Александр Владимирович		

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

Инженерная школа природных ресурсов (ИШПР)
 Направление подготовки (специальность) 21.04.01 «Нефтегазовое дело»
 Профиль «Надежность газонефтепроводов и хранилищ»
 Уровень образования магистр
 Отделение нефтегазового дела
 Период выполнения _____ (осенний / весенний семестр 2017/2018 учебного года)

Форма представления работы:

магистерская диссертация

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
11.04.2018	Главные аспекты проблем безопасной эксплуатации газопроводов	15
18.04.2018	Моделирование гильотинного разрыва газопровода на подводном переходе	15
29.04.2018	Моделирование сверхзвуковой импульсной веерной струи	30
14.05.2018	Социальная ответственность	10
15.05.2018	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	14
16.06.2018	Заключение	10
17.06.2018	Презентация	10
	Итого:	100

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Цимбалюк А.Ф.	к.ф-м.н.,		

СОГЛАСОВАНО:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ОНД ИШПР	Бурков П.В.	Д.Т.Н, профессор		

Реферат

Выпускная квалификационная работа состоит из 147 с., 49 рис., 14 табл., 45 источников.

Ключевые слова: РАЗРЫВ ГАЗОПРОВОДА, МОРСКОЙ ТРУБОПРОВОД, СВЕХЗВУКОВАЯ ВЕЕРНАЯ СТРУЯ, УДАРНАЯ ВОЛНА.

Объектом исследования является (ются) магистральный газопровод.

Цель работы – Моделирование разрыва газопровода по сварному шву, приводящему к образованию ударной волны и веерной струи.

В процессе исследования были рассмотрены главные аспекты проблем эксплуатации газопроводов, проведен анализ аварийности и моделирование разрыва трубы на магистральном газопроводе. Изучены параметры ударных волн в морской среде.

Также было проведено моделирование по разрушению подводного газопровода, с целью определения скорости раскрытия трещины в металле трубы.

В результате исследования изучен процесс пульсации газового пузыря при подводном взрыве, взрыве у поверхности и взрыве вблизи жесткой границы. Рассмотрен процесс радиального разрыва по сварочному шву тела трубы газопровода, приводящий к образованию ударной волны и веерной нестационарной струи. Построена математическая модель нестационарной газовой динамики. Разработан программный комплекс **VEER 2D 02** написанный в FORTRAN с дружественным к пользователю интерфейсом.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: описан процесс гильотинного разрыва газопровода под водой

					Математическое моделирование гильотинного разрыва газопровода под водой			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Ардт А.В.			Реферат	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Цимбалюк А.Ф.					11	144
Консульт.								
Рук-ль ООП		Бурков П.В.						
						НИ ТПУ гр. 2БМ6А		

Область применения: применение полученных результатов исследования в профессиональной деятельности .

Экономическая эффективность/значимость работы: расчет экономических затрат на ликвидацию последствия аварии на морском газопроводе

					Реферат	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		12

Zusammenfassung

Abschlussqualifikation Arbeit besteht aus 147 S., 49 Bild, 14 Tabletten, 45 Quellen.

Schlüsselwörter: Gaspipeline-Bruch, Hochseepipeline, Überschallgebläsestrahl, Schockwelle.

Die Hauptgasleitung ist Gegenstand der Studie.

Der Zweck dieser Arbeit ist es, den Gasrohrbruch entlang der Schweißnaht zu simulieren, der zur Bildung einer Stoßwelle und eines Fächerstrahls führt.

Im Verlauf der Studie wurden die Hauptaspekte der Betriebsprobleme der Gasleitung untersucht, eine Unfallanalyse und eine Rohrbruchsimulation wurden an der Hauptgasleitung durchgeführt. Die Parameter von Stoßwellen in der Meeresumwelt werden untersucht.

Außerdem wurde eine Simulation durchgeführt, um die Unterwassergasleitung zu zerstören, um die Rate der Rissöffnung im Rohrmetall zu bestimmen.

Als Ergebnis der Studie wurde der Pulsationsprozess einer Gasblase bei einer Unterwasserexplosion, einer Explosion in der Nähe einer Oberfläche und einer Explosion in der Nähe einer starren Grenze untersucht. Der Prozess der radialen Diskontinuität in der Schweißnaht des Körpers der Rohrleitung der Gasrohrleitung wird betrachtet, was zur Bildung einer Stoßwelle und eines nicht-stationären Strahls des Gebläses führt. Ein mathematisches Modell der instationären Gasdynamik wird konstruiert. Ein in FORTRAN geschriebenes Softwarepaket VEER_2D_02 mit einer benutzerfreundlichen Oberfläche wurde entwickelt.

					<i>Математическое моделирование гильотинного разрыва газопровода под водой</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Ардт А.В.</i>			<i>Zusammenfassung</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		<i>Цимбалюк А.Ф.</i>					13	144
<i>Консульт.</i>						НИ ТПУ гр. 2БМ6А		
<i>Рук-ль ООП</i>		<i>Бурков П.В.</i>						

Grundlegende strukturelle, technologische und technisch-betriebliche Eigenschaften: Der Prozess des Guillotinebruchs der Gasleitung unter Wasser wird beschrieben

Geltungsbereich: Anwendung der in der beruflichen Tätigkeit gewonnenen Forschungsergebnisse.

Wirtschaftlichkeit / Bedeutung der Arbeit: Berechnung der volkswirtschaftlichen Kosten für die Beseitigung der Folgen eines Unfalls auf einer Seegas-Pipeline.

					<i>Zusammenfassung</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		14

Оглавление

Реферат.....	11
Zusammenfassung.....	13
Сокращения	17
ВВЕДЕНИЕ.....	18
1. Обзор литературы	20
1.1 Главные аспекты проблем безопасной эксплуатации газопроводов.....	20
1.2 Классификация дефектов на магистральных трубопроводах	22
1.3 Определение характера дефекта сварных соединений методами неразрушающего контроля .	24
1.4 Технология ремонта дефектов на подводном переходе МГ, сварка в кессоне с последующим усилением гидромуфтой	30
2. Анализ аварийности на магистральных газопроводах	33
2.1. Обзор моделей аварийного разрыва газопровода на подводном переходе	38
2.1.1 Ударные волны от подводных взрывов	48
2.1.2. Ударная волна в жидкости	53
2.1.3. Изменение параметров ударной волны с расстоянием.....	54
2.1.4 Влияние физических характеристик моря на распространение взрывных волн.....	57
2.1.5 Параметры ударной волны подводного взрыва	60
2.1.6 Газовый пузырь при подводном взрыве.....	61
3. Технология строительства морского трубопровода	64
3.1 Эксплуатация глубоководных трубопроводов.....	69
3.1.1. Экологическая безопасность глубоководных трубопроводов	71
3.1.2 Опасности при технологических процессах сооружения морских трубопроводов.....	72
4. Моделирование сверхзвуковой импульсной веерной струи.....	76
4.1 Компьютерная программа «FORTRAN»	81
Заключение:	89

					<i>Математическое моделирование гильотинного разрыва газопровода под водой</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Ардт А.В.</i>			Оглавление	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		<i>Цимбалюк А.Ф.</i>					15	144
<i>Консульт.</i>						НИ ТПУ гр. 2БМ6А		
<i>Рук-ль ООП</i>		<i>Бурков П.В.</i>						

5. Социальная ответственность	90
5.1 Производственная безопасность.....	90
5.2 Анализ опасных производственных факторов	92
5.4 Экологическая безопасность при авариях на газопроводах.....	102
5.7. Безопасность на магистральных газопроводах при ЧС	107
5.8 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	109
6. «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ».....	110
Введение.....	110
6.1 Готовность проекта к коммерциализации	111
6.2 Календарный план проекта	112
6.3 SWOT-анализ.....	114
6.4 Материальные потери при проведении аварийно-восстановительных работ.	115
6.5 Затраты на амортизационные отчисления.....	117
6.5 Затраты на материалы и оборудования	118
6.6 Расчет затрат на оплаты труда рабочего персонала и специалистов.....	119
Заключение	122
Список литературы.....	123

Сокращения

ПП	Подводный переход
ЭХЗ	Электрохимическая защита
СМР	Строительно-монтажные работы
МГ	Магистральный газопровод
КРН	коррозионное растрескивание под напряжением
ЛЭП	Линии электропередач
МГ	Магистральный газопровод
ОШЗ	Околошовная зона
ВВ	Взрывчатые вещества
ПДК	Предельно допустимая концентрация
НКПВ	Нижний концентрационный предел воспламенения
АДС	Аварийно-диспетчерская служба
ТВС	Топливо-воздушная смесь
ППУ	Передвижная паровая установка
ВУВ	взрывная ударная волна
ПГФ	Парогазовая фаза
ГСМ	Горюче-смазочные материалы

					Математическое моделирование гильотинного разрыва газопровода под водой			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Ардт А.В.			Сокращения	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Цимбалюк А.Ф.					17	144
Консульт.						НИ ТПУ гр. 2БМ6А		
Рук-ль ООП		Бурков П.В.						

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность. Транспортировка углеводородов (нефти, газа и т.д.) трубопроводным газом от места их добычи до мест их потребления [1].

Для транспортировки углеводородов сооружаются трубопроводы иногда длиной в тысячи километров. Они прокладываются через естественные и искусственные препятствия, такие как пересечение с водными преградами (реки, озера, моря), а так же через автомобильные и ж/д магистрали.

Хотя газ транспортируется в большинстве случаев трубопроводным транспортом, но в связи с уменьшением объема строительства новых трубопроводов в последние годы и весь фонд магистральных газопроводов и нефтепроводов значительно стареет. С уверенностью можно сказать что трубопроводный транспорт в ближайшее время потребует к себе пристального внимания, так как оборудование уже с значительным износом и не успевает в ногу со временем будут возникать проблемы с ремонтом и заменой оборудования.

Однако, газопроводы, несмотря на относительную простоту конструкции, постоянно находятся напряженно деформированном состоянии, при этом часто отсутствует возможность постоянного контроля и осмотра, что увеличивает вероятность отказов [2].

					<i>Математическое моделирование гильотинного разрыва газопровода под водой</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Ардт А.В.</i>			<i>Введение</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		<i>Цимбалюк А.Ф.</i>					18	144
<i>Консульт.</i>						НИ ТПУ гр. 2БМ6А		
<i>Рук-ль ООП</i>		<i>Бурков П.В.</i>						

По масштабности факторов влияющих на безопасную эксплуатацию трубопроводов на данный момент времени развития технологий не позволяют быть полностью уверенным, что прочностные характеристики металла не будут изменяться от своих начальных значений (усталость материала), что часто приводит к предельным напряжениям ведущим к разрушению конструкции.

Имеющиеся технологии производства, строительства и эксплуатации трубопроводов не позволяет полностью исключать вероятность появления дефектов, приводящих к аварийным ситуациям.

С увеличением продолжительности эксплуатации газопроводов и нефтепроводов появляется проблема в оценивании остаточного ресурса и увеличении срока эксплуатации.

Тем не менее трубопроводный транспорт является самым эффективным методом транспортировки углеводородов.

Таким образом, тема магистерской диссертации является актуальной.

Цель работы.

Рассмотреть процесс радиального истечения газа из гильотинного разрыва газопровода по сварному шву, который приводит к образованию ударной волны и веерной струи. Построить математическую модель в рамках нестационарной газовой динамики двухкомпонентного газа. Разработать программный комплекс для визуализации процесса формирования веерной струи при разрыве газопровода.

					Введение	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		19

1. Обзор литературы

1.1 Главные аспекты проблем безопасной эксплуатации газопроводов

Рассмотрим три важных аспектов эксплуатации газопроводов.

- 1. Формальный аспект** – газопроводы, эксплуатируемые более своего амортизационного срока (более 33 лет), не проходят по финансовым документам, соответственно служба эксплуатации на них отчислений не имеют и для поддержания технических параметров газопровода отсутствуют средства.
- 2. Научный аспект** – газопроводы представляют собой системы сооружений работающие в условиях переменных напряжений в разных климатических зонах. Газопроводы входят в единую систему газоснабжения, соответственно работают в связке между собой, поэтому требуется изучения конструктивных и технологических особенностей надежности газопровода с последующей оценкой ресурса, а так же характеристик аварий и их последствий.
- 3. Инженерный аспект** – для анализа технического состояния необходимо выполнять комплекс расчетных и инструментальных работ для выявления потенциально опасных участков, оценки ресурса работоспособности с использование современных методов диагностики и расчета.[1]

Рассмотрим более подробно причины возникновения аварий на трубопроводном транспорте. [21]

					<i>Математическое моделирование гильотинного разрыва газопровода под водой</i>			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Ардт А.В.			Обзор литературы	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Цимбалюк А.Ф.					20	144
Консульт.								
Рук-ль ООП		Бурков П.В.						
						НИ ТПУ гр. 2БМ6А		

Для описаний таких изменчивых ситуаций размыва грунта более эффективным представлены методы теории Марковских процессов (процессов без памяти). К этой теории относится стохастические кинетические уравнения, которые используют в физике для изучения диффузионных и других аналогичных процессов.

1.2 Классификация дефектов на магистральных трубопроводах

Исходя из анализа аварий и инцидентов на трубопроводах, делаем вывод, что основные источники повреждений являются коррозия металлов, трещины, полученные в результате коррозионного растрескивания под напряжением, различных деформаций полученных в результате монтажа и сварки трубопровода [1].

Надежная эксплуатация газонефтепроводов будет обеспечена только в случае отсутствия всех дефектов. В свою же очередь отсутствие, каких либо дефектов будет обеспечивать безопасную эксплуатацию трубопроводов.

Проведение неразрушающего контроля позволяет определить дефекты на трубопроводах и установить характер повреждения, а так же годность к эксплуатации трубопровода. Основная задача неразрушающего контроля дать оценку состояния трубопровода, определить опасные (дефектные) участки и поиск мест возможной аварии (отказа) на магистральных трубопроводах. В процессе многолетних эксплуатации трубопроводов чаще всего проявляются случаи хрупких разрушений металла трубы в около шовных зонах сварных соединений. Размер таких зон концентраций напряжений составляют от 1-2 микрон до 1-2 миллиметра. Для этого проводится перед первыми этапами эксплуатации детальная дефектоскопия.

Дефекты подразделяются, Таблица 1.2.1

					Обзор литературы	Лист
						22
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Таблица 1.2.1 Классификация дефектов

Дефекты геометрии	Вмятина	
	Гофры	
	Сужения	
Дефекты стенки трубы	Потеря металла	
	Дефекты с уменьшением толщины стенки.	
	риски	
	Расслоение	
	Трещины	
	Дефект поверхности	
	Трещиноподобный дефект	
Дефекты сварных швов	Дефекты поперечных швов	Несплошность плоскостного типа, аномалия, смещение кромок, косой стык.
	Дефекты продольных швов	Несплошность плоскостного типа, аномалия.
	Дефекты спиральных швов	

Таблица 1.2.2. Определение дефектов

Пояснения к дефектам.	
Вмятина	Местное уменьшение проходного сечения трубы на длине, меньшей, чем 1,5 номинального диаметра трубы DN, без излома оси нефтепровода, возникшее в результате поперечного механического воздействия.
гофра	Уменьшение проходного сечения трубы, сопровождающееся чередующимися поперечными выпуклостями и вогнутостями стенки, в результате потери устойчивости от поперечного изгиба с изломом оси нефтепровода.
сужение	Местное уменьшение проходного сечения трубы на длине, меньшей, чем 1,5 номинального диаметра трубы DN, при котором сечение трубы имеет отклонение от окружности.
Потеря металла	Уменьшение толщины стенки трубы в результате коррозионного повреждения.
Дефекты с уменьшением толщины стенки.	Дефект проката.
риска	Дефект поверхности в виде углублений с уменьшением толщины стенки трубы, образованной перемещением по поверхности трубы твердым телом.
Расслоение	Внутреннее нарушение сплошности металла трубы в продольном и поперечном направлении.

Продолжение таблицы 1.2.2.

					Обзор литературы	Лист
						23
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Дефект поверхности	Дефекты проката поверхности трубы, не выводящие толщину стенки за предельные размеры по ГОСТ.
Трещиноподобный дефект	Дефект в виде одиночных трещин или участок с трещинами, рост которых определяется воздействием на металл напряжения.
Несплошность плоскостного типа	Различные не провары, не сплавления, трещины.
аномалия	Различны поры, шлаковые включения подрезы, чешуйчатость и т.д.
смещение кромок	Несовпадение расстояний внутренних и внешних стенок сварных труб.
косой стык	Когда трубы расположены под углом к друг к другу.

1.3 Определение характера дефекта сварных соединений методами неразрушающего контроля

Основными методами неразрушающего контроля являются: радиографический, ультразвуковой и акустический.

Особенностью радиографического метода является анализ плотности почернения рентгеновской пленки. Почернения пленки возникает в результате воздействия рентгеновского излучения. По плотности почернения определяется характер и местонахождения дефекта.

Ультразвуковой метод, позволяет определить наличие и характер дефекта по изменению параметров и координат волны, отраженной от металла. При помощи ультразвукового контроля так же определяют толщину стенки трубы.

Акустический метод позволяет сделать вывод о причинах появления и развития дефекта, а так же в конечном итоге о техническом состоянии объекта.

На данный момент времени недостаточно уделяют внимания на наличие концентраций напряжения в около шовной зоне на магистральных трубопроводах, а это необходимо для безопасной эксплуатации и непрерывной перекачки углеводородов.

					Обзор литературы	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		24

Процент отказов по причине коррозионного растрескивания металла достигает около 40%. Это почти половина отказов на трубопроводах, которые происходят из-за остаточного напряжения в около шовной зоне. Данные напряжения совместно с рабочими ускоряют процесс зарождения трещин в около шовной зоне сварных соединений и обуславливают непрерывный коррозионный процесс, способствующий скорому развитию трещины и ее раскрытие [1].

Напряжения в около шовной зоне это результат присутствия внутренних напряжений, которые вызываются различными причинами. Основные причины это неравномерный нагрев и усадка сварного шва. Так же одна из возможных причин это не правильный подбор режима и технологии сварки например неправильно выбран диаметр электрода, так же возможна из-за низкой квалификации сварщика и нарушение размеров сварных швов.

В некоторых случаях напряжение в около шовной зоне, проявляется из-за избыточного давления создаваемое продуктом транспортировки.

Применяемые в настоящий момент сканирующие системы дефектоскопии не способны определить наличие напряжений в ОШЗ кольцевых сварных соединений трубопровода.

При применении метода акустической диагностики возникает проблема с временными локальными потерями контакта между датчиком и стенкой трубопровода в процессе перемещения датчика дефектоскопа через шов, что и приводит к появлению в около шовной зоне необследованной части которая может достигать 80-120 миллиметров в зависимости от конструкции самого сканера и траектории движения.[1]

При производстве сварочных работ формирование текстуры происходит постепенно с кристаллизацией при охлаждении. Доменная граница, образованная в местах скопления дефектов в кристаллической решетке. Она характеризует зону неоднородной структуры металла и зону максимальных внутренних напряжений.

					Обзор литературы	Лист
						25
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Для выявления дефектов сварного соединения на образце сварного соединения магистрального газопровода рассмотрим пример радиографического контроля. [3]

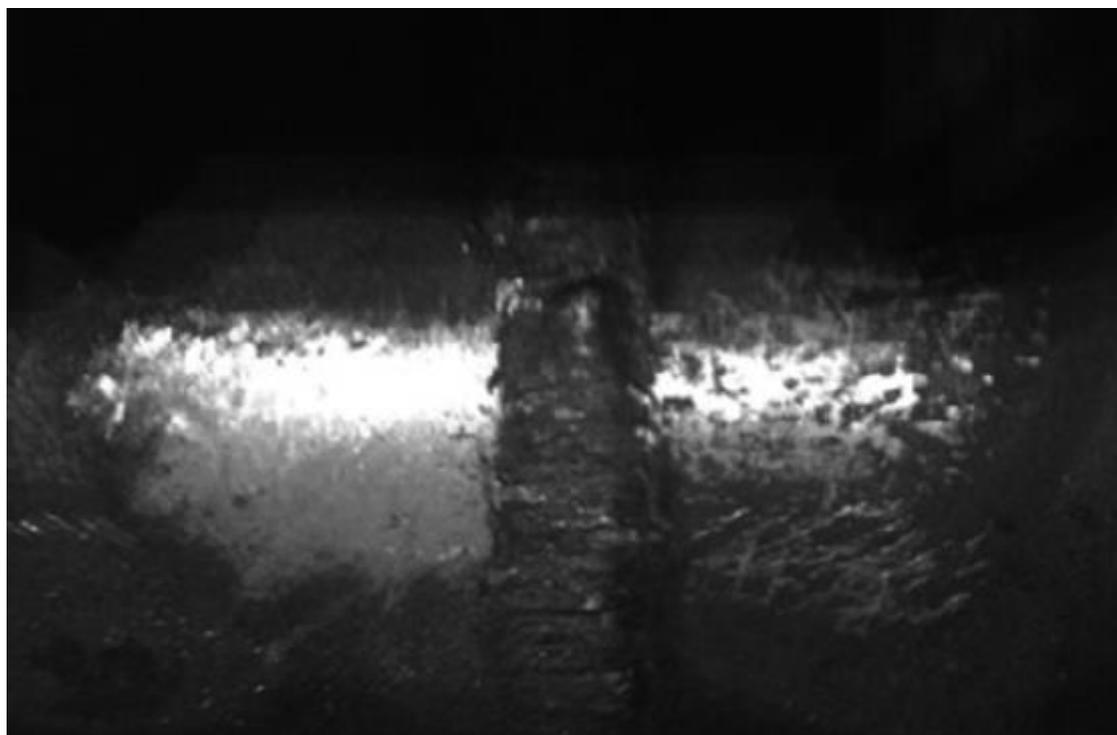


Рисунок. 1.3.1. Образец сварного стыка в около шовной зоне.

В результате исследования сварочного стыка рентгеновским оборудованием рассмотрим рентгеновскую пленку (Рис. 1.3.2.) наружная сторона сварного соединения магистрального газопровода. При анализе плотности почернений на рентгеновской пленке свидетельствует о наличие дефектов. По характеру изменения плотности почернения можно определить вид дефекта и его местоположение. [3]

					Обзор литературы	Лист
						26
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



Рисунок 1.3.2. Образец сварного стыка в около шовной зоне.

На данном примере дефект сварного шва это неметаллические включения корневого слоя стыка и трещина в продольном шве длина которого 1 мм. Такие дефекты недопустимы при эксплуатации магистральных газопроводов. [4]

					Обзор литературы	Лист
						27
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

После расшифровки рентгеновского контроля были получены результаты: [4]

- Единичные поры, размер 1x1 миллиметров - это допустимый дефект на сварном соединении.
- Неметаллическое включение, размер 0,5x1 миллиметров – допустимый дефект.
- Трещина продольная в корне сварного соединения, длина один миллиметр.

После проведения рентгеновского контроля проводят ультразвуковой контроль. Принцип действия ультразвукового контроля основан на прохождении ультразвуковой волны через тело металла, отражаясь от внутренней поверхности. При присутствии дефекта звуковая волна отражается от него с искажением. Местоположение дефекта определяют по степени затухания волн на диаграмме. После анализа результата ультразвукового контроля можно сделать заключение о пригодности к эксплуатации данного объекта. [3]

Для проведения ультразвукового контроля фрагмента используют 32 элементный преобразователь с частотой 7,5 МГц со съемной призмой. Скорость сканирование образцов составляет 10 мм/с. Полученные данные изображаются на мониторе дефектоскопа (рис.1.2.3.).

					Обзор литературы	Лист
						28
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

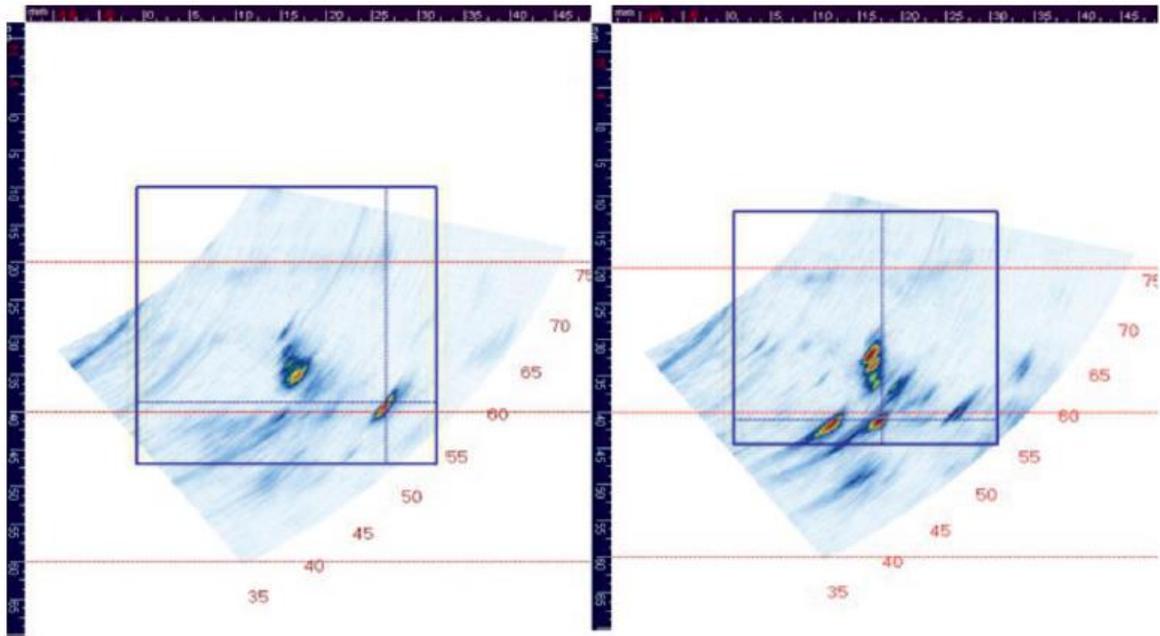


Рисунок 1.3.3. Результат ультразвукового контроля фрагмента сварного шва.

Если обработка результатов проводится с помощью программного обеспечения PhaseFX, данные будут получены во множественном диапазоне (рис.1.3.4.)

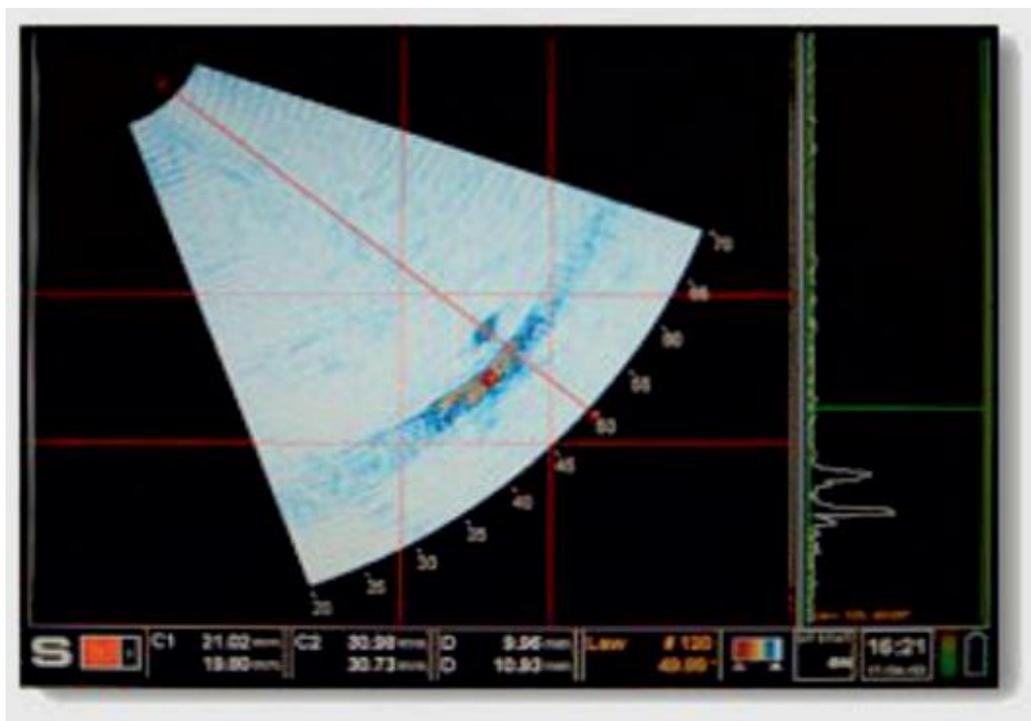


Рисунок 1.3.4. Дефекты во множественном диапазоне.

Результат УЗК при помощи программного обеспечения PhaseFX позволяет увидеть полную и достоверную картину результатов, за счет визуальной шкалы характеристик ультразвуковых волн и частотных показателей. [3]

1.4 Технология ремонта дефектов на подводном переходе МГ, сварка в кессоне с последующим усилением гидромуфтой

По причине значительного старения системы трубопроводного транспорта (газопроводов) возникает необходимость в проведении планово-восстановительных мероприятий на пересечении газопроводов водной преграды (рек, озер, болот). После внутритрубной дефектоскопии на участке подводного перехода, выявляют различные дефекты, например различные дефекты геометрии: вмятины, дефект типа гофр, сужения и дефекты стенки трубы это такие как потеря металла, коррозионное растрескивание и т.д. которые угрожают безаварийной эксплуатации газопроводов и требуют ремонта. [2]

Методы ремонта дефектных участков газопровода на подводном переходе являются:

- Замена дефектного участка трубопровода с подъемом его на поверхность.
- Переукладка участка подводного перехода.
- Применение шпунтовых конструкций для укрепления стенок котлована с дальнейшим осушением и врезанием катушки.
- Применение шахтных колодцев для дальнейшей врезки катушки.
- Устранение незначительных дефектов методом шлифовки с применением водолазного труда.
- Ремонт дефектов при помощи гидромуфт и композитных муфт.

Технология, разработанная совместно Тюментрасгаза и ВНИИГАЗ позволяет ремонтировать дефекты ручной дуговой сваркой в специализированном кессоне под давлением среды защитных газов с последующим усилением дефектного участка гидромуфтой. [2]

					Обзор литературы	Лист
						30
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Технология ремонтных работ в специализированном кессоне была успешно применена в ОАО Тюменнефтегазе на подводном переходе через реку Обь на газопроводе «Ямбург-Елец» на глубине 7 метров были обнаружены дефекты, требующие срочного ремонта. Были обнаружены трещины и задиры, которые достигали до 70% от толщины стенки газопровода длиной более 1 метра. Дефект №1 Коррозионное растрескивание длиной 120 мм, шириной 5 мм, глубиной 3 мм. Дефект №2 Коррозионное растрескивание длиной 2560 мм, шириной 60 мм, глубиной 9,5 мм. Дефект №3 Коррозионное растрескивание длиной 460 мм, шириной 20 мм, глубиной 7 мм. Дефект №4 Коррозионное растрескивание длиной 700 мм, шириной 30 мм, глубиной 6 мм.

[2]

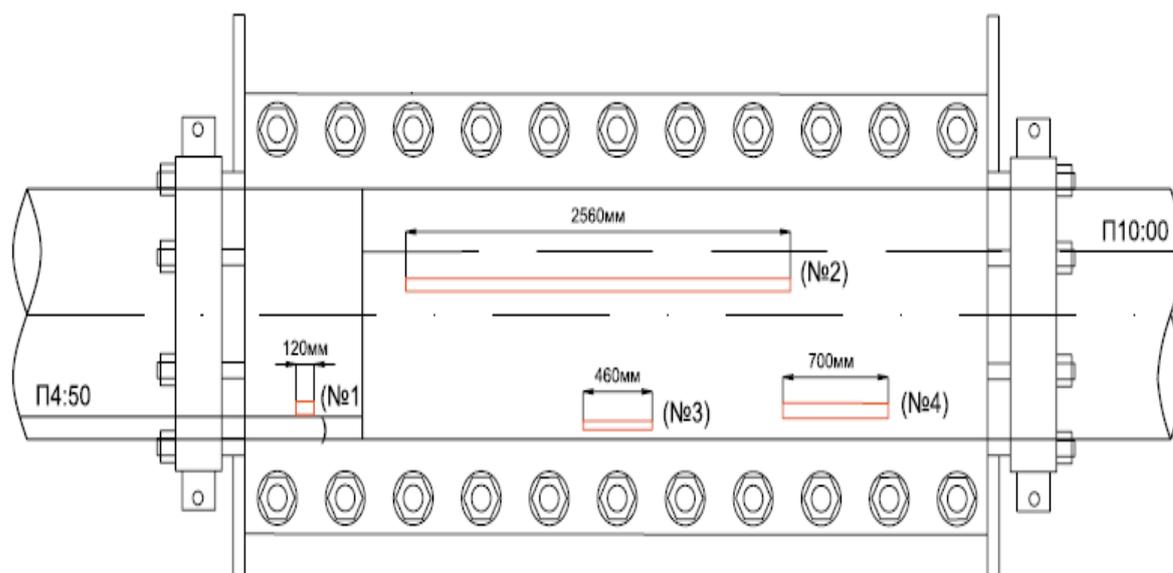


Рисунок. 1.4.2. Муфта подводная стальная стягивающая

Эксплуатация газопровода с данными дефектами была невозможна, а методика представлялась возможной. В связи с данным положением было принято решение специалистами о проведении ремонта в специализированном кессоне, методом наплавки металла с последующим укреплением гидромуфтой.

[2]

						Обзор литературы	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			32

2. Анализ аварийности на магистральных газопроводах

Протяженность магистральных трубопроводов по всей территории РФ на 2016 год составляет более 250 тысяч километров, из них:

- Магистральные газопроводы - 180 тыс. км.
- Магистральные нефтепроводы - 60 тыс. км.
- Магистральные продуктопроводы - 25 тыс. км.

Количество аварий на магистральных трубопроводах на 2016-2017 год уменьшилась на 15% из них на магистральных газопроводах уменьшилось на 1 случай, а на нефтепроводах и на нефтепродуктопроводах ситуация не изменилась. [5]

Таблица 2.1 Распределение аварийности

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Магистральные газопроводы	9	14	16	9	8	10	9
Магистральные нефтепроводы	1	2	5	2	0	1	1
Нефтепродуктопроводы	3	1	0	1	0	1	1

По результатам анализа статистических данных Ростехнадзора, можно разделить причина аварий на группы:

					<i>Математическое моделирование гильотинного разрыва газопровода под водой</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Ардт А.В.</i>			<i>Анализ аварийности на магистральных газопроводах</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		<i>Цимбалюк А.Ф.</i>					33	144
<i>Консульт.</i>						НИ ТПУ гр. 2БМ6А		
<i>Рук-ль ООП</i>		<i>Бурков П.В.</i>						

Таблица 2.2 Распределение аварий на магистральных газопроводах

Аварии на магистральных газопроводах	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Строительный брак	2	2	9	4	0	0	3
Коррозия металла	6	5	6	2	6	8	5
Износ оборудования	0	1	0	0	0	0	0
Стихийные бедствия	0	1	0	0	0	0	0
Механические повреждения	1	4	1	3	1	2	0
Ошибка рабочего персонала	0	1	0	0	1	0	0
<i>Всего</i>	9	14	16	9	8	10	8

Естественно при увеличении продолжительности эксплуатации газопроводов, соответственно старении изоляционного покрытия проявляет рост числа аварий из-за общей коррозии металла и коррозионного растрескивания (Рис 2.1.). [5]

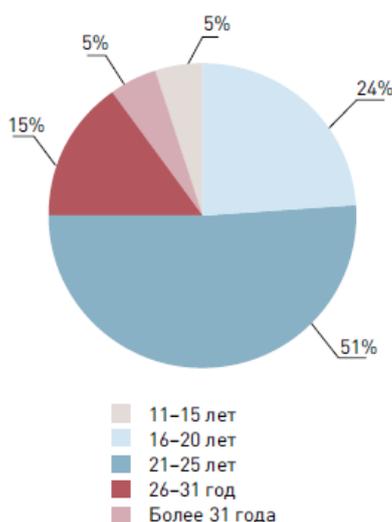


Рисунок 2.1. Аварии на газопроводах в зависимости от продолжительности эксплуатации.

Аварии на газопроводах происходят как с воспламенением газа, так и без воспламенения. Приведу примеры аварий на МГ с различными сценариями развития событий (рис 2.2.).

Диаметр труб, мм	Толщина стенки, мм	Давление на момент аварии, атм.	Зона термического влияния, м	Радиус разлета осколков, м
1020	8,5	39,8	Без воспламенения	90
1020	9,0	Н/д	200×90	105
1020	9,0	47,7	200×160	260
1020	9,0	47,8	С воспламенением газа	173
1020	9,0	45,5	С воспламенением газа	120
1020	10,0	53,0	Выгорело около 1 га мелколесья и кустарника	Менее 9 м
1020	10,0	53,0	Выгорело 1,3 га мелколесья и кустарника	30
1020	10,0	53,1	По обе стороны от места разрыва выгорел лес на площади 0,9 га	50
1220	10,5	46,4	Без воспламенения	200
1220	10,5	44,6	С воспламенением газа	110
1220	10,5	45,3	203×480	290
1220	10,5	41,4	100×300	230
1220	10,5	51,6	200×140	225
1220	10,5	47,9	250×250	130

Рисунок. 2.2. Различные варианты развития событий при порыве на МГ.

Разрушениям в ходе эксплуатации подвергаются газопроводы, сооруженные как из прямошовных так и спиральношовных труб, разные по толщине стенки как тонкостенные так и толстостенные, с учетом всех особенностей длина разрушенного участка может достигать до 200 метров. (Рис.2.3) Вся трубная продукция проверяется и имеет сертификаты соответствия. [5]

Размер труб, мм	Конструкция трубы	ТУ	Сталь (лист по API 5L)	Завод-поставщик
1420×16,5	ПШ	ТУ 14-3-600-77	X70 (Япония)	ХТЗ
1420×16,5	ПШ	ТУ 14-3-995-81	X70 (Япония)	ХТЗ
1420×16,5	ПШ	ТУ 56-74	X70	Италия
1220×10,5	СШ	ТУ 14-3-311-74	17Г2СФ	ВТЗ
1220×11,0	ПШ	ТУ 14-3-109-73	14Г2САФ	ЧТПЗ
1220×12,0	ПШ	ТУ 14-3-109-73	17Г1С	ЧТПЗ
1220×12,0	ПШ	ТУ 14-3-109-73	17Г1С	ХТЗ
1220×12,0	ПШ	ТУ 14-3-602-77	17Г1С-У	ЧТПЗ
1020×9,0	ПШ	ТУ 40/48-73	Нет данных	Франция
1020×9,0	СШ	ТУ 14-3-311-74	17Г1С	ВТЗ
1020×12,0	ПШ	ТУ 14-3-602-77	17Г1С-У	НТЗ

ПШ – прямошовная; СШ – спирально-шовная.

Рисунок. 2.3. Характеристика трубной продукции, разрушавшаяся под воздействием коррозии.

					Анализ аварийности на магистральных газопроводах	Лист 35
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Диаметр, мм	Толщина стенки, мм	Длительность эксплуатации до разрушения, год	Конструкция трубы	Давление, при котором произошло разрушение, МПа
1020	9,0	16÷21	ПШ (1 шов)	4,55÷4,78
1020	10,0	24÷25	ПШ (1 шов, 2 шва)	5,30
1220	10,5	17÷18	СШТ	4,14÷5,23
1220	11,0	17÷24	ПШ (2 шва)	4,61÷5,30
1220	11,5	19	ПШ (2 шва)	4,83
1220	12,0	18÷29	ПШ (2 шва)	4,0÷5,33
1420	16,5	15÷24	ПШ (2 шва)	6,80÷7,20

Рисунок. 2.4. Длительность эксплуатации трубной продукции, разрушавшаяся под воздействием коррозии.

Материал из углеродистой и низкоуглеродистой стали, причиной разрушения которого стало, коррозионное растрескивание в нем происходит растворение структурной составляющей перлита. На рисунке 2.5 показаны данные о расположении очага разрушения трубы по причине коррозионного растрескивания. Находящиеся на поверхности металла трубы коррозионные язвы не являлись причиной зарождения трещины. Развитие трещин, может произойти в результате поглощения поверхностно-активных компонентов грунта, которые в свою очередь приводят к уменьшению прочности и к электро-химическому растворению металла и в конечном результате приводит к образованию трещин.



Рисунок. 2.5. Очаги разрушения трубопроводов по причине коррозионного растрескивания.

Практика эксплуатации магистральных газопроводов показывает, что отсутствие внутритрубной диагностики после 10-15 лет эксплуатации резко увеличивает аварийность, поэтому своевременная внутритрубная диагностика важное мероприятие по снижению аварийности на магистральных газопроводах.

По причине общей коррозии количество аварий крайне мало. Даже при длительной эксплуатации газопроводов, на которых произошла авария причиной, которой стала общая коррозия, продолжительность эксплуатации составляло от 32 до 36 лет. Трубопроводы проходили через болотистую местность, и коррозионных трещин обнаружено не было.

					Анализ аварийности на магистральных газопроводах	Лист
						37
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

2.1. Обзор моделей аварийного разрыва газопровода на подводном переходе

При разрушении газопровода на подводном переходе сжатый газ, под высоким давлением расширяясь в водной среде, формирует волну избыточного давления, которая оказывает негативное воздействие на параллельно проложенные нитки газопровода. Для оценивания последствия воздействия такой сжатой волны на объекты рассмотрим методику позволяющую выявлять различные технологические и природные факторы при разрыве газопровода под водой.

После нарушения целостности трубопровода газ вырывается из внутренне полости трубы в окружающую среду (водную среду) под влиянием разности давления газ, жидкость и сразу расширяется, образуя газовый пузырь. В области близкой к газопроводу образовывается волна сжатия, распространяется она со скоростью звука, в жидкости скорость звука достигает 1500м/с, намного превышающую скорость в жатом газе при давлении в газопроводе до 15 Мпа скорость звука (в газе) составляет около 470 метров в секунду, поэтому волна сжатия прорывает границу вода-газ.

При разрыве газопровода под водой потенциальная энергия сжатого газа переходит в кинетическую энергию воды в виде напора, который идет вслед за волной сжатия в жидкости. При разрушении газопровода под водой большинство случаев это раскрытие протяженной трещины, при котором происходит контакт газа и воды. [7]

					<i>Математическое моделирование гильотинного разрыва газопровода под водой</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Ардт А.В.</i>			<i>Обзор моделей аварийного разрыва газопровода на подводном переходе</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		<i>Цимбалюк А.Ф.</i>					38	144
<i>Консульт.</i>						НИ ТПУ гр. 2БМ6А		
<i>Рук-ль ООП</i>		<i>Бурков П.В.</i>						

Процесс образования сжатой волны можно разделить на следующие стадии.

1. Первая стадия - это образование первичной трещины и непосредственно ее рост, увеличение длинны трещины вверх и вниз по телу трубы под избыточным давлением внутри газопровода.
2. Вторая стадия – процесс быстрого роста трещины и раскрытие металла трубы под избыточным давлением внутри газопровода. Скорость раскрытия трещины зависит от напряжений метала и его свойств при этом она колеблется от 200 м/с затем снижаясь до 15-20 м/с.
3. Третья стадия это полное раскрытие трещины и вырывание газа под высоким давлением, и непосредственно формирование волны сжатия и волны напора.

В качестве примера для моделирования разрыва газопровода на подводном переходе был выбран участок глубиной 12 метров, без заглубления в грунт. Разрушение газопровода произошло в результате раскрытие трещины при повышении внутреннего давления. При измерении проводили два случая.[7]

- Труба 530x7 на длине 40 метров с давлением 10 Мпа, диапазон скорости, зафиксированный датчиками, скорость распространение трещины от 150 до 200 м/с, по мере раскрытия трещины скорость уменьшается до 30-50 м/с.
- Труба 1020x14 длиной 50 метров с избыточным давлением 12 Мпа, зафиксированный диапазон раскрытия трещины 200-225 м/с.

Датчики фиксировали 3 интервала времени: начиная с момента повышения давления, момент максимального давления и период выравнивания давления.

Значительно влияет бетонное покрытие на скорость раскрытия трещины на подводном газопроводе, была выявлена зависимость измерений с бетонным покрытием и без него (Рис 2.1.1.). Из результата видно, что скорость раскрытия трещины отличается на 7%, таким образом можно

					Обзор моделей аварийного разрыва газопровода на подводном переходе	Лист
						39
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

сделать вывод, что бетонное покрытие оказывает влияние но не значительное на скорость раскрытие трещины.[7]

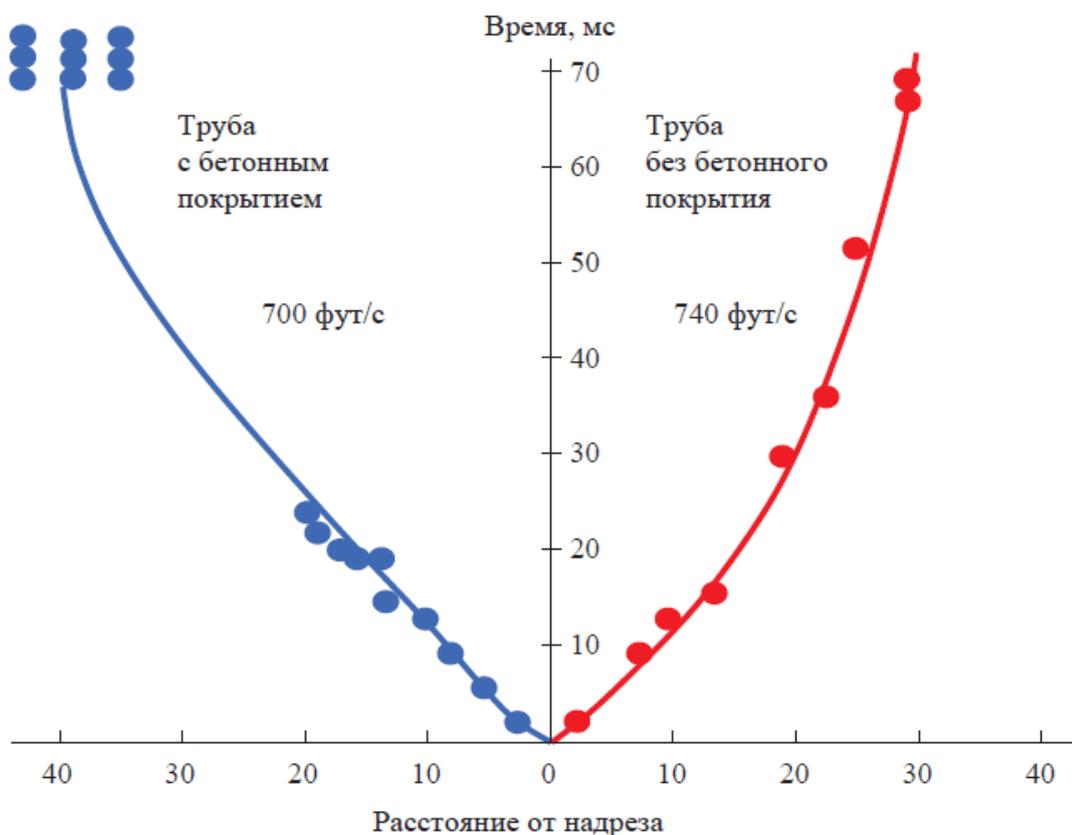


Рисунок. 2.1.1. Скорость развития трещины в трубопроводе.

После анализа эксперимента можно сделать общие выводы:

- Волна сжатия представляется сферической поверхностью, а сам импульс сферой радиусом равным 0,8 номинального диаметра трубопровода.
- Давление волны сжатия в воде меняется обратно пропорционально расстоянию.
- Зависимость давления при разрыве трубопровода представляет собой импульсную переходную функцию, в которой максимальное давление зависит от начального давления до разрушения трубопровода, от диаметра трубы и расстоянием от места разрыва.

Для моделирования таких процессов можно пользоваться численными методиками лагранжа, эйлера и так же смешанным подходом описания сплошных сред.

При решении задач о контактных границах преимущественно пользоваться методом лагранжа, его преимущества это учет неоднородности материала и использование сложной модели деформирования среды.

Но в рассматриваемом случае методика Лагранжа и Эйлера малоэффективна, более подходящая здесь является смешанная методика. Такая методика была разработана на основе программы Ansys. В работе производили расчеты для труб разного диаметра, разных глубин заложения и прочих характеристик. Материал трубы принимался 17Г1С с толщиной бетонной оболочки 100 миллиметров. Глубину заложения трубопровода меняли от 10 до 350 метров. Разрушение трубы моделировали условно, мгновенным способом с длиной раскрытия участка 2,4 метра. процесс разрушения трубопровода представлен на рисунке 2.1.2.

					Обзор моделей аварийного разрыва газопровода на подводном переходе	Лист
						41
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

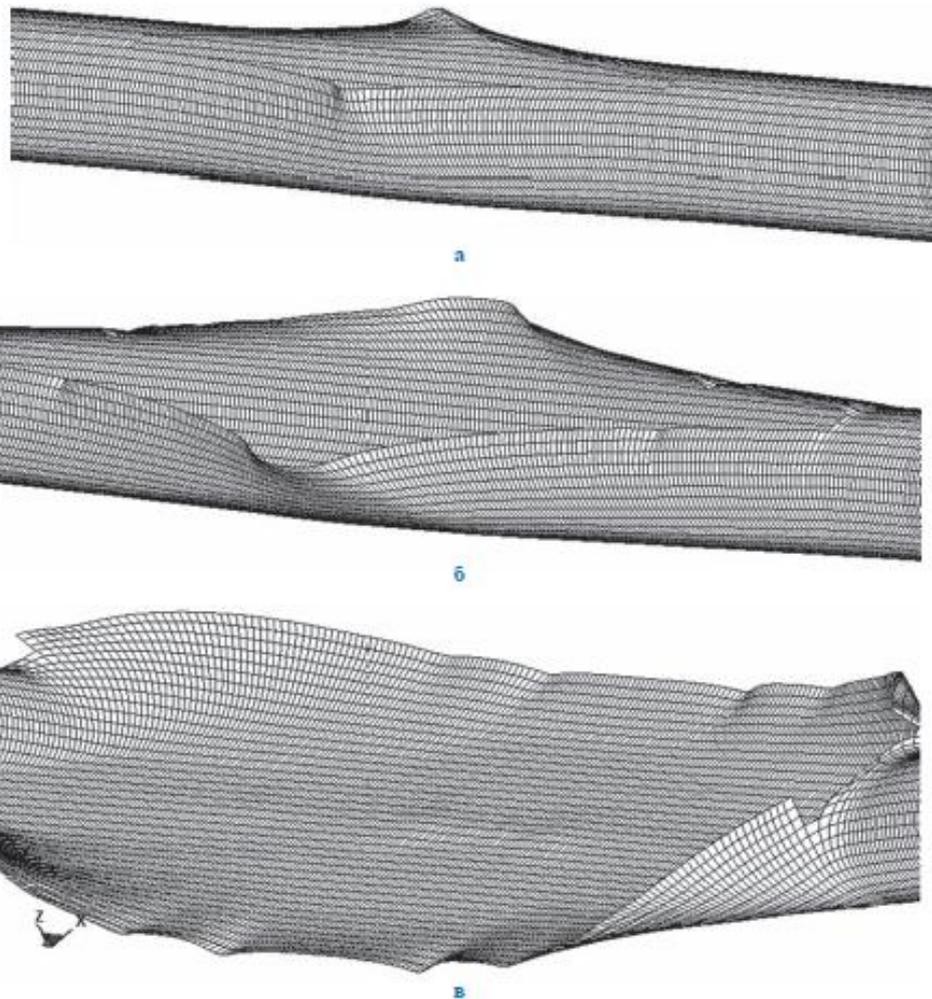


Рисунок 2.1.2. Стадии разрушения трубопровода.

Характер образования газового пузыря при разрыве газопровода под водой в разный момент времени максимальным учетом скорости раскрытия трещины, показан на рисунке 2.1.3.

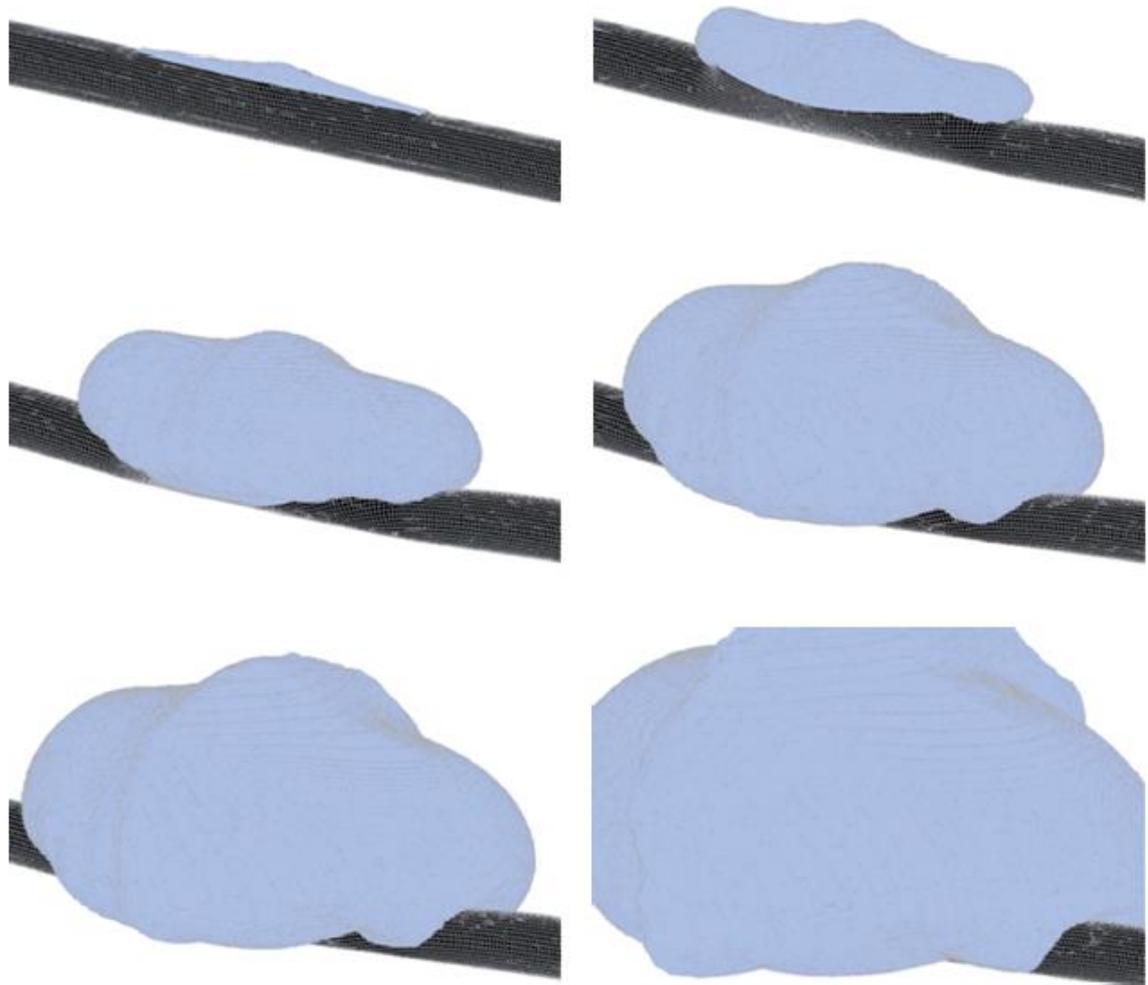


Рисунок 2.1.3 Характер образования газового пузыря

Факторы, возникающие при разрушении трубопровода на полное сечение, происходят по 4 стадиям; [7]

- Формирование ударной волны и расширение газа в атмосфере, вырывающегося из раскрытой трещины под избыточным давлением и импульсом от разлетевшихся фрагментов трубы и кусков грунта.
- Возгорание газозвушной смеси, формируемая около 10 минут после разрушения трубопровода, распространение огня по окружающей территории.
- Формирование огненного шара на первых стадиях после разрушения трубопровода, формируется около 60 секунд.
- Непосредственно горение газа выходящего под избыточным давлением из разрушенного трубопровода, и тепловое воздействие от пламени на окружающую среду.

Формы факела при горении газозвушной смеси вырывающейся из разрушенного газопровода.

Первый вариант Котлованный факел – это когда разрушает и выбрасывает грунт избыточным давлением, находящимся над газопроводом, под форму котлована.

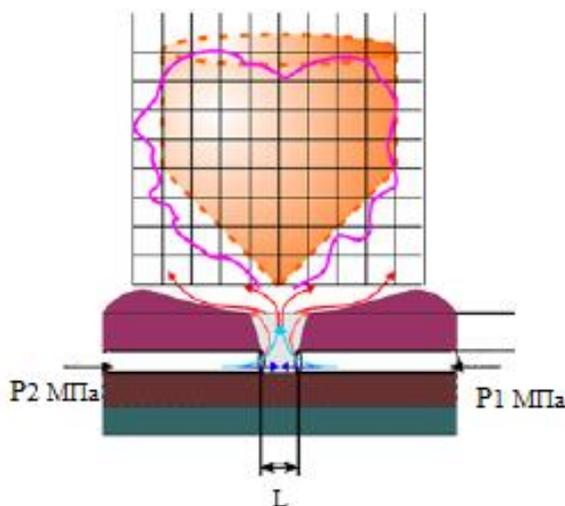


Рисунок 2.1.4. Котлованный факел.

					Обзор моделей аварийного разрыва газопровода на подводном переходе	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		44

Второй вариант ассиметричный факел – это когда разрушенная ось трубопровода представляет изогнутую кривую, приподнятую над поверхностью и вырывающаяся струя горящего газа, уже выходит из трубопровода, не образуя воронки.[7]

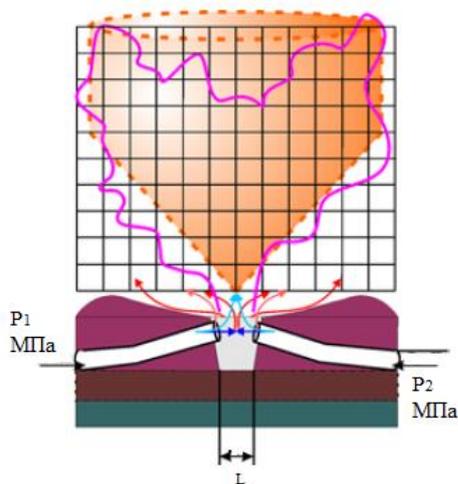


Рисунок 2.1.5 Симметричный факел

Третий вариант это ассиметричный факел – он образуется при расположении трубопровода (рис 2.1.6) .

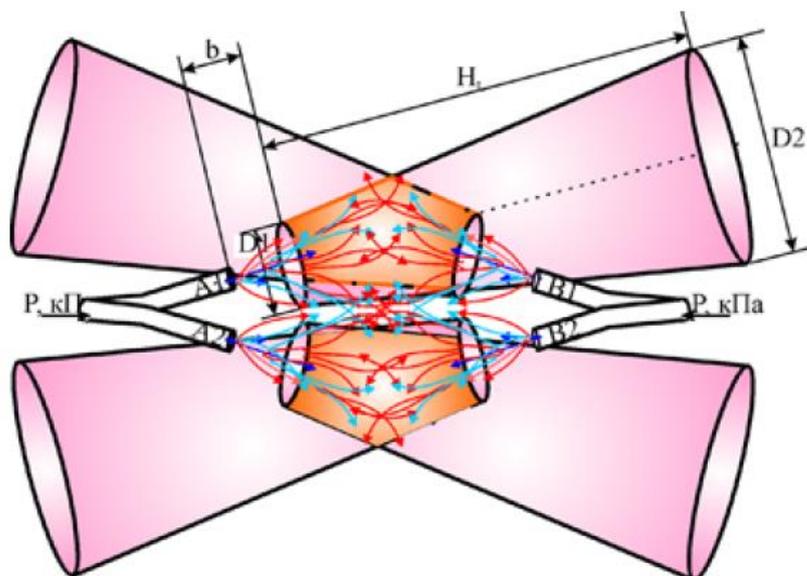


Рисунок 2.1.6. Ассиметричный факел.

Необходимо учитывать все факторы, которые влияют на развитие гильотинного разрыва газопровода.

Фактор №1 – Грунт.

Грунт в первую очередь оказывает негативное влияние на трубопровод с поврежденной изоляцией или вообще без изоляции, а также оказывает влияние в процессе замораживания и оттаивания.

Граница грунтов непостоянная и может вызвать излом оси трубопровода, впоследствии спровоцировав раскрытие тела трубы на полное сечение (то есть гильотинный разрыв). [7,8]

Фактор №2 – Запорная арматура.

Места вблизи запорных устройств являются метами повышенной опасности для возникновения отказа на магистральном газопроводе. Статистические данные показывают большой процент вероятности аварий именно на запорных устройствах, а именно около 45 %.

Фактор №3 – места пересечения с другими трубопроводами

Этот фактор оказывает влияние на опасность при возникновении разрыва одного трубопровода, спровоцировать разрыв пересекаемого трубопровода, что соответственно увеличивает ущерб, как для предприятия, так и для экологии.

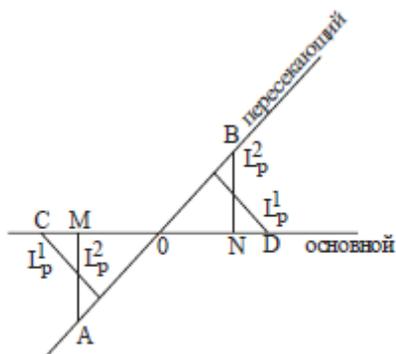


Рисунок 2.1.7 Участок с пересекающимися трубопроводами.

					Обзор моделей аварийного разрыва газопровода на подводном переходе	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		46

Рассмотрим пример Рисунок 2.1.7 , участок АВ пересекающий трубопроводы, разрыв которого непосредственно окажет воздействие на нитку магистрального газопровода CD, а так же на основную нитку магистрального газопровода MN.

Фактор №4 Пересечение с линиями электропередач (ЛЭП)

Нарушение целостности газопроводов близко к линиям электропередач, может привести к обрыву электролинии а так же к обрушению опор ЛЭП и обрыв линии в множественных местах. При обрыве линии электропередач обычно происходит воспламенение, и взрыв газовоздушной смеси от появления искры, такой исход событий влечет за собой множество вариантов развития событий, значительно увеличивая ущерб от последствий. [7]

Фактор №5- Пересечение с автодорогами и ж/д.

При пересечении газопроводов с автодорогами и железнодорожными путями сказываются значительные нагрузки, от транспорта пересекающие данные участки особенно грузовой транспорт это в значительной мере влияет на развитие аварийной ситуации. [7]

					Обзор моделей аварийного разрыва газопровода на подводном переходе	Лист
						47
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

2.1.1 Ударные волны от подводных взрывов

Для того что бы исследовать подводный взрыв необходимо учитывать параметры ударных волн в разной удаленности от эпицентра, динамику взрывной полости ее максимальный радиус и периоды пульсации, переход энергии взрыва к ударной волне. [12]

Если рассматривать взрыв в несжимаемой жидкости, то это является более простой приближенной задачей гидродинамики взрыва. Идеальная жидкость предполагает постоянную плотность $\rho = \text{const}$ это позволяет по закону сохранения исследовать важные характеристики взрывного процесса.

Уравнение неразрывности в данном случае допускает решение в виде $vr^v = f(t)$, если t фиксированное значение, то оно будет неизменно и сохраняться в любой точке. Уравнение сохранения импульса, если подставить в $r - f(t)$. [12]

$$\frac{df}{dt} \int_R^r r^{-v} * dr - vf^2 \int_R^r r^{-2v-1} dr + p^{-1} * \int_R^r \frac{dp}{dr} * dr = 0 \quad (1)$$

Это приводит к уравнению пульсации от продуктов взрыва и тут предоставляется возможность оценивать характер распределения давления в ближайших точках от эпицентра.

$$p(r) = p(R) - \frac{p}{1-v} * \frac{df}{dt} * (r^{-v+1} - R^{-v+1}) - \frac{pf^2}{2} (r^{-2v} - R^{-2v}) \quad (2)$$

Первый и второй интеграл, в плоском случае $v=0$ и в первом случае цилиндрической симметрии $v=1$ при этом $r \rightarrow \infty$ расходятся. Однако точное уравнение модель позволяет получить лишь для сферической плоскости.

$$R * \frac{d^2 R}{dt^2} + \frac{3}{2} \left(\frac{dR}{dt} \right)^2 = p^{-1} [p(R) - p_0] \quad (3)$$

Это уравнение Релея (1) при $\rho_0 = \text{const}$ его интеграл легко находится, если известно уравнение состояния продуктов детонации (или газа) внутри полости. Для адиабаты $\rho V^Y = \text{const}$ имеет вид: [12]

$$\frac{2p(0)R_0^3}{3\rho(\gamma-1)} * \left[1 - \left(\frac{R_0}{R} \right)^{3(\gamma-1)} \right] = R^3 R^2 - R_0^3 R(0)^2 + \frac{2p_0}{3\rho} (R^3 - R_0^3) \quad (4)$$

Где точка обозначает производную по t. Это уравнение, умноженное на $2\pi r$, представляет собой закон сохранения энергии: изменение внутренней энергии продукта детонации.

$$\Delta E = \frac{2p(0)R_0^3}{3\rho(\gamma-1)} \left[1 - \left(\frac{R_0}{R} \right)^{3(\gamma-1)} \right] \quad (5)$$

Равно приращению кинетической $T_k = 2\pi\rho R^3 R^2$ если $R(0)=0$ и потенциальной $U=(4/3\pi\rho_0(R^3-R_0^3))$ энергии жидкости. Продукты детонации считаются идеальным газом с постоянным (в данном частном случае) показателе адиабаты γ . Наиболее удобна форма записи уравнения (3) в безразмерных переменных для $y = \frac{R}{R_0}$ и $r = tR_0^{-1} \sqrt{\frac{\rho_0}{\rho}}$ [12]

$$\frac{2p(0)}{3\rho_0(\gamma-1)} (1 - y^{3(1-\gamma)}) + y_\tau^2(0) = y^3 y_\tau^2 + \frac{2}{3} (y^3 - 1) \quad (6)$$

Здесь индекс означает производную по r, второе слагаемое слева – компонента начальной кинетической энергии жидкости. Из этого уравнения могут быть определены два основных параметра: период пульсации r_* и максимальный радиус полости с продуктами детонации $Y_{\max} > 1$.

$$Y_{\max}^3 \approx \frac{p(0)}{\rho_0(\gamma-1)} + \frac{3}{2} y_\tau^2(0) \quad (7)$$

По сути, (7) определяет тот же баланс энергии, о котором упоминалось выше, только отнесенный к начальной потенциальной энергии $\rho_0 V_0$. Параметры $p(0)$ и $y_2(0)$ определяются на контактном разрыве как начальные условия задачи и находятся при PU диаграмме в точке пересечения кривой ударного перехода в жидкости с кривой разгрузки в продуктах детонации. Заметим что при их определении естественно, ни о какой модели несжимаемой жидкости речи не идет. [12]

Ударный переход (при $U_1=0$)

$$u_2 = p_2 - \frac{p_1}{\rho_1 U} \quad (8)$$

Скорость ударной волны U можно выразить из условия сохранения массы на разрыве.

$$U = \frac{u_2}{1 - \rho_1/\rho_2} \quad (9)$$

И окончательно получить для скорости контактного разрыва со стороны жидкости. [12]

$$u_2 = \sqrt{(p_2 - p_1)/\rho_1 (1 - \rho_1/\rho_2)} \quad (10)$$

- Переход в волне разгрузки в продуктах детонации

$$u_2 - u_* = \frac{2c_*}{\gamma_* - 1} \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_*} \right)^{\gamma_* - 1/2\gamma_*} \right] \quad (11)$$

Здесь индексом * отмечены соответствующие параметры, относящиеся к продуктам детонации. С учетом уравнения состояния жидкости давления на контактном разрыве после распада, можно определить из соотношения.

$$\frac{2c_*}{\gamma_* - 1} \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_*} \right)^{\gamma_* - \frac{1}{\gamma_*}} \right] = \sqrt{\left(\frac{p_2 - p_1}{\rho_1} \left[1 - \frac{p_2 + B^{-\frac{1}{n}}}{p_1 + B} \right] \right)} \quad (12)$$

Для рассматриваемой задачи $P_2=p(0)$, $U_2=Y_r(0)$, а $R_0=R_{ch}$ – начальный радиус заряда. Считая детонацию заряда мгновенной, объем неизменным, а плотность продукта детонации равной начальной плотности заряда взрывчатого вещества (ВВ). В этом случае давление в продукте детонации можно определить по известному соотношению $\rho_*=(\gamma_*-1) \rho_*Q_*$, которое следует из условия равенства удельной внутренней энергии продуктов детонации теплоте взрыва Q_* на единицу массы ВВ. Скорость звука C_* в продуктах мгновенной детонации определяется по скорости детонации D_* . [12]

$$c_*^2 = \frac{\gamma_* D_*^2}{2(\gamma_* + 1)} \quad (13)$$

Можно заметить, что результаты для $\rho(0)$ и $u_T(0)$ не зависят от типа симметрии.

Рассмотрим конкретный пример заряда гексогена с $\rho_{ж}=1,65$ г/см³, $Q_{ж}=1,32$ ккал/г и $D_{ж}=8,35$ км/с. Расширение продуктов детонации этого ВВ характеризуется практически неизменным значением $Y_{ж}$, которое при уменьшении плотности продуктов в процессе их расширения от 2,2 до 0,8 г/см³ изменяется в узком интервале 2,95 – 2,75. Заметное изменение наблюдается в диапазоне плотностей 0,6-0,05 где $Y_{ж}$ уменьшается от 2,5 до своего минимального значения 1,26. [12]

Принимаем $Y_{ж}=2,85$, тогда $\rho_{ж}=168,4$ кбар, $C_*=5,08$ км/с. Решение дает $\rho_0=90$ кбар, $R(0)=1,85$ км/с, т.е. $u_t(0)=185$. Таким образом, если в (5) добавить $Y=Y_{ж}=\text{const}$, то $U_{\max}=46,4$. Этот результат с поправкой на начальную скорость можно было бы получить сразу, приравняв энергию взрыва $Q_{ж} \rho_{ж} V_{ж}$ потенциальной энергии жидкости $\rho_0 V_{\max}$ в момент максимального расширения полости:

$$U_{\max} = \frac{Q - \rho_* \bar{v}^{\frac{1}{3}}}{\rho_0} \quad (14)$$

Такая оценка дает лишь порядок величины, так как в рамках модели несжимаемой жидкости не учитывается потери на излучения ударной волны, которая как известно, уносит около половины энергии, выделившейся в процессе взрывчатого превращения. Когда радиус полости достигает максимального значения $u=u_{\max}$, время расширения полости, давление в продуктах детонации оказывается на несколько порядков меньше гидростатического ρ_0 и полость можно считать пустой. Под действием этой разницы давлений полость можно считать пустой. Под действием этой разницы давлений полость схлопывается с нулевой начальной скоростью за

					Обзор моделей аварийного разрыва газопровода на подводном переходе	Лист
						51
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

время которое определяется из (4), принимающего форму уравнения Безанта:
[12]

$$y^3 y_\tau^2 = \frac{2}{3} (1 - y^3) \quad (15)$$

В этом уравнении радиус полости нормирован, но R_{\max} . Время определится из соответствующего интеграла этого уравнения в предположении, что полость схлопывается до нуля.

$$\tau = \sqrt{\frac{3}{2}} \int_0^1 y^{\frac{3}{2}} (1 - y^3) dy = \frac{1}{\sqrt{6}} B\left(\frac{5}{2}, \frac{6.1}{2}\right) \cong 0,915 \quad (16)$$

Здесь В- бета-функция. Экспериментальные исследования показывают, что пульсация взрывной полости симметрична: время ее расширения r_+ до $R=R_{\max}$ с высокой степенью точности равно времени ее последующего схлопывания. Таким образом, период первой пульсации полости с продуктами детонации можно определить как сумму r_+ и T_- . [12]

$$r_* = 1,83 \text{ или } T_1 = 1,83 R_{\max} * \sqrt{\frac{\rho}{\rho_\infty}} \quad (17)$$

В реальной же ситуации, при подводном взрыве расширение продуктов детонации сопровождается формированием в жидкости ударной волны, которая меняется фазой разряжения и фазой сжатия, так называемо пульсацией излученной полостью схлопывания. Интервал между фронтом ударной волны и первой пульсации их бывает несколько, если форма остаётся устойчивой и составляет период T_1 . Если в эксперименте удастся зарегистрировать профиль давления то становится автоматически известным на основании $p(t)$, а следовательно и T_1 , то становится автоматически известным на основании (7) и R_{\max} , что позволяет, зная коэффициент передачи энергии в излучение, оценить энергию взрыва, если она неизвестна и наоборот если известна теплота взрыва, оценить энергию, унесенную ударной волной. [14].

Если в качестве определяющих параметров задачи о подводном взрыве в идеальной несжимаемой жидкости принять плотность ρ , гидростатическое давление P_0 и энергию взрыва $Q * \rho * V * (\rho * V)$ - масса заряда ВВ), то из них можно составить комбинацию с размерностью времени. Для этого в уравнение (7) выразить R_{max} через отношение Q_1/ρ_0 . Получаем известную формулу Виллиса. [12]

$$T_i = 1,14 a_i^{\frac{1}{3}} * (Q_1^{\frac{1}{3}} \rho_0^{\frac{1}{2}}) / \rho_0^{5/6} \quad (18)$$

В которой коэффициент a_i , отражает степень передачи энергии ВВ в жидкость при детонации и последующих пульсациях (индекс i означает номер пульсации).

2.1.2. Ударная волна в жидкости

Ударные волны существенно отличаются от плоских акустических волн. В плоской акустической волне начальное возмущение смещается в положительном и отрицательном направлении по оси X со скоростью (C) без изменения формы волны, т.е. профиль волны остается неискаженным. В простой волне скорости, с которой перемещаются точки профиля равно. [13]

$$v = v \mp c \quad (1)$$

Скорости u можно рассматривать как результат сложения скорости распространения возмущения относительно жидкости (c) и скорости перемещения самой жидкости v . Скорости c и v в свою очередь зависят от плотности ρ , и поэтому величина u будет различна для разных точек профиля волны. Вследствие этого форма простой волны меняется с течением времени.

Искажение формы простой волны есть следствие нелинейности уравнения гидродинамики. Причина такого искажения состоит в том, что области сжатия распространяются быстрее, чем области разряжения, вследствие большей скорости распространения звука в них и более быстрого

					Обзор моделей аварийного разрыва газопровода на подводном переходе	Лист
						53
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

перемещения самой жидкости. Увеличение скорости обусловлено тем, что в области сжатия $\rho > \rho_0$, где ρ_0 – плотность невозмущенной жидкости. Напротив, в области разрежения скорость (C) меньше, чем в невозмущенной жидкости. Следовательно, стечением времени области сжатия будут догонять области разрежения. Это приведет к тому, что профиль волны окажется более крутым на участках сжатия и более пологим на участках разрежения. Изменение формы профиля волны (рис 4.1.1, кривые 1,2) будут продолжаться до тех пор, пока профиль волны приобретет вид кривой 3. [13]

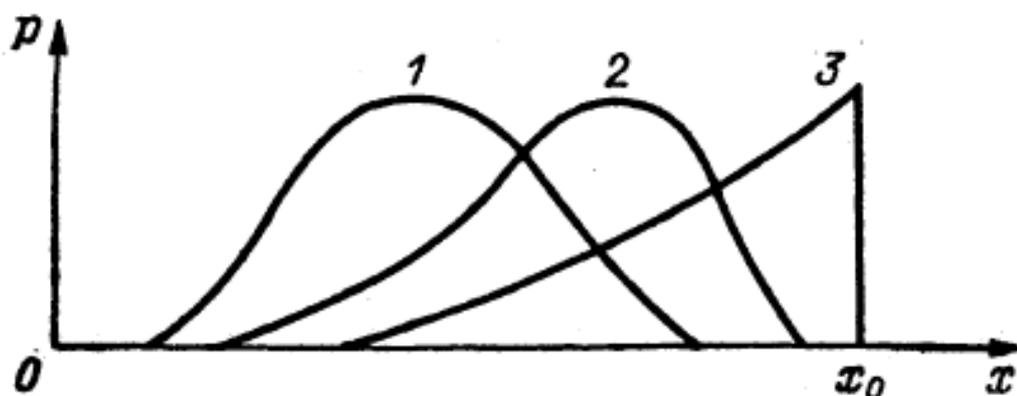


Рисунок (2.1.2) формирование профиля ударной волны

Как видно из Рис 1, кривая, выражающая зависимость p от x , в некоторой точке x_0 становится перпендикулярной оси x . В этом случае в точке x_0 возникает скачок в значениях давления, плотности, скорости и других величин, характеризующих состояние жидкости. Распространение таких разрывов значений гидродинамических величин в жидкости вызывает так называемую ударную волну. Фронт этой волны представляет собой перемещающуюся поверхность разрыва. [13]

2.1.3. Изменение параметров ударной волны с расстоянием

При распространении импульса сжатия ударной волны длительность импульса с расстоянием растет. На больших расстояниях от места взрыва ударная волна будет иметь треугольный профиль скорости, показанный на рисунке 2. Если в некоторый момент времени на расстоянии X_0 от места

взрыва, на котором уже успела образоваться ударная волна, профиль скорости имеет форму треугольника ABC, то спустя время t, вследствие того что скорости точек фронта волны различны, профиль скорости должен бы иметь вид A'B'C'. Из рисунка 2 видно что в этом случае жидкость в одной и той же точке E имела бы две различные скорости, что невозможно, поэтому профиль скорости будет иметь вид , изображенный на рисунке 2 треугольником A'DE.

Положение DE определяется из условия непрерывности. При этом площадь A'DE должна быть равна площади A'B'C'. Обозначая протяженность импульса в начальный момент времени l_0 , а разрыв скорости в ударной волне Δv_0 (соответственно для произвольного момента времени t, протяженность импульса l и разрыв скорости Δv), получим из равенства площадей треугольников ABC и A'DE для одномерной ударной волны соотношения. [13]

$$l = l_0 \sqrt{\left(1 + \frac{\beta \Delta v_0}{l_0 c} * (x - x_0)\right)} \quad (1)$$

$$\Delta v = \frac{\Delta v_0}{\sqrt{\left(1 + \frac{\beta \Delta v_0}{l_0 c} * (x - x_0)\right)}} \quad (2)$$

Из формулы (2) следует, что при $x \rightarrow \infty$ разрыв скорости уменьшается асимптотически как $\frac{1}{\sqrt{x}}$. В первую очередь это обусловлено тем, что начинают играть существенную роль вязкость и теплопроводность жидкости. Наличие вязкости и теплопроводности приводит к диссипации энергии ударной волны, к необратимому превращению ее в тепло и к уменьшению интенсивности волны. [13]

Скорость распространения сферической ударной волны во втором приближении имеет вид:

$$u = c + \frac{(\beta v_0 r_0)}{r} \quad (3)$$

					Обзор моделей аварийного разрыва газопровода на подводном переходе	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		55

Где v_0 – скорость произвольной точки профиля на расстоянии r_0 от места взрыва. Как в случае плоской ударной волны, второй член в выражении (3) определяет искажение профиля.

Выражение для протяженности импульса и разрыва скорости в случае сферической ударной волны определяется из тех же соображений, что и в случае одномерной ударной волны, и имеет вид: [13]

$$\Delta v = \Delta v_0 r_0 / (r * \sqrt{(\frac{1+\beta \Delta v_0 r_0}{l_0 c} \ln * \frac{r}{r_0})}) \quad (4)$$

$$l = l_0 \sqrt{(\frac{1+\beta \Delta v_0 r_0}{l_0 c} \ln * \frac{r}{r_0})} \quad (5)$$

Из соотношений видно, что ширина импульса возрастает как $\sqrt{\ln * r}$, а разрыв скорости уменьшается по закону $1/(r\sqrt{\ln * r})$.

Приведенные соотношения одномерных и сферических ударных волн получены с учетом только нелинейных эффектов. При этом ширина фронта ударной волны принималась равной 0, Ширина разрыва определяется действием диссипативных процессов, выражается: [13]

$$\delta_1 \approx 2\sqrt{act} \quad (4)$$

Где a - величина, связанная с коэффициентом поглощения звука χ соотношением $\chi = a\omega^2$.

Ширина разрыва определяется соотношением:

$$\delta = \frac{a}{2p^2 c^3 \beta \Delta u} \quad (5)$$

Образовавшуюся волну в этом случае считают слабой ударной волной, т.е. ее можно рассматривать как волну с установившимся равновесным профилем. Отсюда следует, что произвольная ширина разрыва гидродинамических величин в распространяющемся возмущении в жидкости

					Обзор моделей аварийного разрыва газопровода на подводном переходе	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		56

с течением временем стремится к ширине, соответствующей слабой ударной волны. Так, если ширина разрыва в возмущении больше ширины для слабой ударной волны, то под действием нелинейных процессов она будет уменьшаться, и наоборот, более узкий разрыв в возмущении под действием диссипативных процессов будет растягиваться. [13]

2.1.4 Влияние физических характеристик моря на распространение взрывных волн

На распространение ударных волн в море или океане в значительной степени оказывают свойства морской среды, структура морского дна, рельеф, состояние поверхности океана. Морская среда неоднородна по своим акустическим свойствам. Температура и соленость в ней изменяется с глубиной. В воде содержатся взвешенные частицы, пузырьки газа и т.д. Неоднородность морской воды усугубляется наличием в ней быстрых подводных течений.

Огромное влияние на распространение ударной волны в морской воде оказывает большие перепады температуры в море, характер которого изменяется в соответствии с уточным и сезонным изменением количества тепла, поступающего от солнца. Колебание температуры воды на поверхности моря достигает больших значений: суточные изменения составляют до 0,4 °С, годовые колебания до 18°С.

Температура воды распределяется неодинаково в разных районах моря и зависит от многих причин. По характеру распределения температуры с глубиной в глубоком море различают три основных слоя: поверхностный, слой температурного скачка и глубоководный. Температура поверхностного слоя сильно подвержена суточным и сезонным изменениям. На больших глубинах устанавливаются не зависящие от сезона постоянное распределение температуры воды.

					Обзор моделей аварийного разрыва газопровода на подводном переходе	Лист
						57
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Слой температурного скачка выделяется резким перепадом температуры. Глубина этого слоя и градиент температур в нем зависят от интенсивности нагрева поверхностного слоя. [13]

Основной характеристикой морской воды это соленость определяемая содержанием в воде минеральных веществ. Соленость морской воды в среднем составляет около 36 ‰. В зависимости от глубины соленость минется до 1,5 километров, ниже она постоянна. На ее распределение влияют многие процессы, такие как испарения, количество выпасаемых осадков, таяние льдов. Так же существенно изменяется соленость при слиянии моря и океана. Чем выше соленость, тем меньше сжимаемость воды. [13]

Так же важнейшим фактором на распространение волн оказывает гидростатическое давление. В зависимости от глубины гидростатическое давление изменяется, каждые 10 метров глубины оно увеличивается на 10^5 Па. При изменении температуры гидростатическое давление, а так же минеральные примеси меняются (соленость) и соответственно изменяется сжимаемость, а сжимаемость это один из главных факторов распространения ударной волны. [13]

Затухания ударных волн возникает в результате расхождения волновых фронтов, а так же из-за поглощения энергии и ее рассеивание. Поглощение волны под водой происходит в результате внутреннего трения и сдвиговой и объемной вязкостью. Сдвиговая вязкость это скольжение одного слоя об другой. При быстром процессе сжатия и разряжения, распространение ударной волны искажает молекулы воды, на восстановлении которой требуется 10^{-11} секунды.

Потери энергии на теплопроводность обуславливается тем, что распространение волн под водой не адиабатический процесс. Большая часть энергии уходит на нагревание воды. Затухание волны происходит в результате того, что рассеивается от поверхности дна, это приводит к

					Обзор моделей аварийного разрыва газопровода на подводном переходе	Лист
						58
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

выделению на поверхности воды пузырьков. Дно море плохая отражающая граница из-за наличия неровностей, это и приводит к большему рассеиванию волны. [13]

					Обзор моделей аварийного разрыва газопровода на подводном переходе	Лист
						59
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

2.1.5 Параметры ударной волны подводного взрыва

Главный параметр ударной волны это давление. Непосредственно после самого взрыва в разных точках давление быстро возрастает до максимальных значений. Прохождение ударных волн проходят по экспоненциальному закону. [13]

$$p = p_m * \exp * \left(-\frac{t}{a_0}\right) \quad (1)$$

Где a_0 - постоянная по времени спада давления во фронте ударной волны. За время, равное a_0 , давление уменьшается в e раз. Спад давления в ударной волне на малой глубине, отмечается падением давления до 1/10 от начального значения, после спад становится медленней и происходит по закону: [13]

$$p = 0,368 * p_m * \frac{a_0}{t} \text{ при } a_0 < t < 5 \div 10 * a_0 \quad (2)$$

Для глубоководного взрыва спад давления ударной волны происходит быстро (рис 4.4.1).

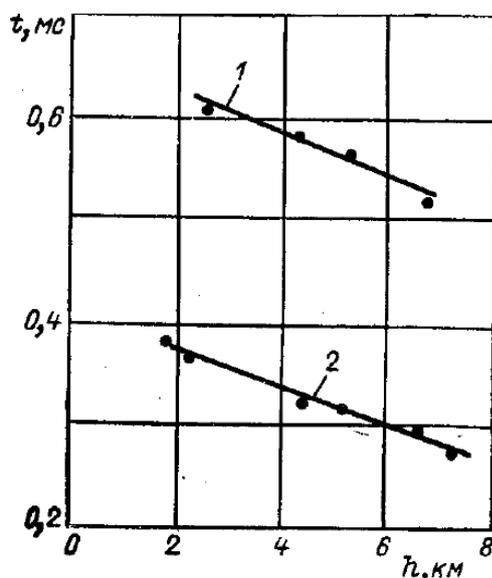


Рис. 2.1.5. Ударная волна в зависимости от глубины заряда.

На рис. 2.1.5 было рассмотрена продолжительность, от воздействия ударных волн исходя от глубины заряда и массы заряда. По этому

эксперименту были выведена зависимость максимальных давлений и времени в зависимости от массы заряда и от места взрыва. [13]

$$P_m = 5,24 * 10^7 * \left(\frac{R}{\omega^8}\right)^{-1,13} \quad (3)$$

$$a_0 = 92,5\omega^{\frac{1}{3}} \left(\frac{R}{\omega^8}\right)^{0,22} \quad (4)$$

2.1.6 Газовый пузырь при подводном взрыве

После взрыва в водной среде за ударной волной образуется газовый пузырь, который участвуя в сложных динамических процессах, совершает колебания, перемещаясь к поверхности. Скорость всплытия газового пузыря меньше скорости звука в жидкости, вследствие этого движение воды можно рассматривать как движение несжимаемой жидкости. Ускорение потока жидкости в радиальных направлениях оказывается значительно больше ускорения силы тяжести, что дает основание не принимать ее во внимание при рассмотрении задачи колебания газового пузыря. [13]

Изменение давления при колебании газового пузыря происходит по адиабатическому закону:

$$\frac{P}{P_{\Pi}} = \left(\frac{r_{\Pi}}{r}\right)^{3\gamma} \quad (1)$$

P_{Π} - давление пузыря в определенный период времени t , при определенном радиусе, γ - отношение теплоемкости для газообразного продукта от взрыва.

$r(t) = r_{\Pi}$ можно увидеть на рисунке *Рис. 2.1.6.* [13]

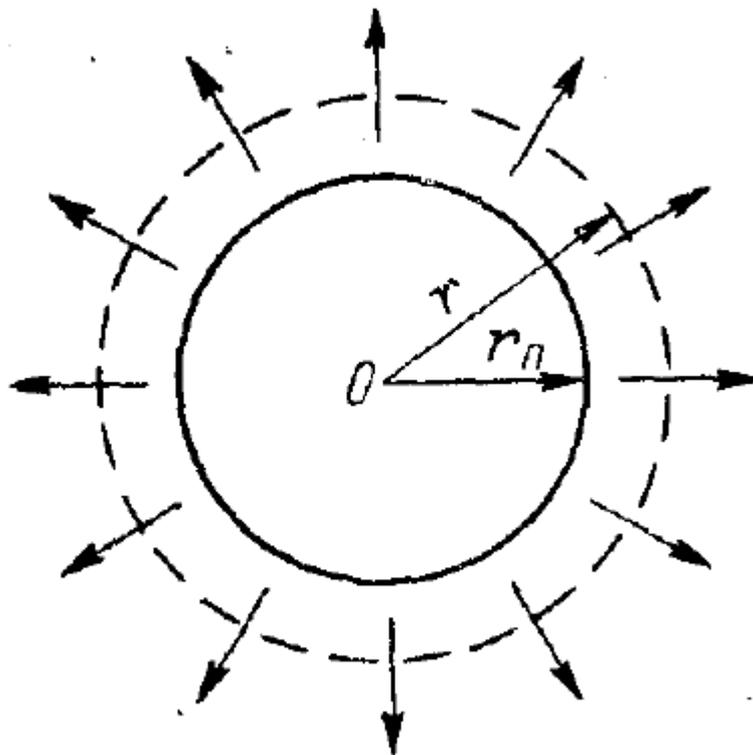


Рис.2.1.6.Пульсация газового пузыря.

Радиус газового пузыря описывается уравнением

$$r(t) * d^2 * \frac{r(t)}{dt^2} + \frac{3}{2} * \left(\frac{dr(t)}{dt} \right)^2 = (p - p_{h_0}) * \frac{1}{\rho} \quad (2)$$

Где P - давление внутри пузыря, Па; ρ - плотность воды, кг/м³; p_{h_0} - гидростатическое давление, Па. При расширении газового пузыря внутри него давление уменьшается и выравнивается с p_{h_0} в воде.

Максимальный радиус пузыря рассчитывается по формуле (3)

$$r_{max} = \left(\frac{5p_n}{2p_{h_0}} \right)^{\frac{1}{3}} * r \quad (3)$$

А скорость подъема газового пузыря:

$$m u = \frac{4}{3} * \pi * \rho * g \int_u^t (R(\tau))^3 * d\tau \quad (4)$$

Где m масса, пропорциональная массе воды содержащаяся в объеме пузыря; u -средняя скорость подъема пузыря м/с; g - сила тяжести, м/с. [13]

Сила, с которой пузырь поднимается, приводит увеличению импульса в момент максимального размера газового пузыря и близок к максимальному. В такой момент импульс направленный вертикально распределен в большом объеме воды, так как масса пузыря очень мала. В момент сжатия же, наоборот, при минимальном размере пузыря импульс сконцентрирован в малой области и это приводит к резкому повышению скорости всплывания пузыря.

					Обзор моделей аварийного разрыва газопровода на подводном переходе	Лист
						63
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

3. Технология строительства морского трубопровода

Все проекты строительства морских трубопроводов уникальны в конструктивных решениях и выбранных условий прокладки, а так же схемой производства работ, только поэтому каждый проект имеет свои индивидуальные опасности возникновения риска связанного с отказом или нарушением технологического процесса. [9]

При строительстве морских трубопроводов строительно-монтажные работы в себя включают подготовительные работы, это подготовка к основным работам, основные виды работ по монтажу и укладки трубопровода. Подготовительные работы включают в себя: [10]

- Сооружение временных объектов инфраструктуры.
- Возведение площадок для спуска и наращивания плетей трубопровода, так же их изготовление.
- Привлечение флота, трубоукладочных судов, судов буксиров и других плавсредств.
- Ревизия всего оснащения для укладки плетей, стропы, тросы и т.д.
- Испытания плавсредств задействованных в работе.
- Исследование дна.

					<i>Математическое моделирование гильотинного разрыва газопровода под водой</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Ардт А.В.</i>			<i>Технология строительства морского трубопровода</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		<i>Цимбалюк А.Ф.</i>					64	144
<i>Консульт.</i>						НИ ТПУ гр. 2БМ6А		
<i>Рук-ль ООП</i>		<i>Бурков П.В.</i>						

Основные работы включают в себя:

- Разработка береговых траншей.
- Разработка подводных траншей.
- Сварка труб с секции, гидро испытания, футеровка трубопровода.
- Укладка секций труб.
- Засыпка трубопровода.

К завершающим работам относят конечное гидро испытание и пусконаладочные работы:

Строительство морских трубопроводов, если брать из учета метода прокладки разделяют на участок, который пересекает береговую линию, мелководные и глубоководные участки.[9]

При пересечении береговой линии строительство морского трубопровода производят следующими методами.

- Укладка трубы в открытую траншею на участках пересечения береговой линии, в мелководной зоне используют метод протаскивания или метод погружения трубы с поверхности.
- Бестраншейные методы, используют метод наклонно направленного бурения и микротуннелирования.

К основным методам строительства морских трубопроводов на глубоководных участках является J метод укладки, а на мелководно S метод при помощи судов трубоукладчиков. При всем этом все строительные операции, неразрушающий контроль и нанесение изоляции производят на трубоукладочном судне. По мере того как наращивается длина трубопровода судно перемещают вперед, а трубопровод уходит на дно в свободном погружении. Для плавного схода трубопровода судно оборудуют стингером (специализированным удерживающим устройством). Контроль за напряженно деформированным состоянием осуществляется непосредственно

					Технология строительства морского трубопровода	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		65

на самом стингере и на провисающих участках, то есть между самим стингером и морским дном прилагают растягивающие продольные усилия с судна. Удержание самого судна производится при помощи якорей. Трубопровод, находящийся между дном и стингером, образует форму S образной кривой (рис 3.1) именно поэтому он получил такое название.[9]

Трубоукладочные суда, работающие по S методу, могут прокладывать трубы диаметром до 1420 миллиметров на глубину до 300 метров, а диаметром 800 миллиметров до глубины 700 метров с максимальной скоростью 5 километров в сутки. Но так же при увеличении диаметра трубопровода или глубины заложения требуются более мощные системы натяжения и стингеры.

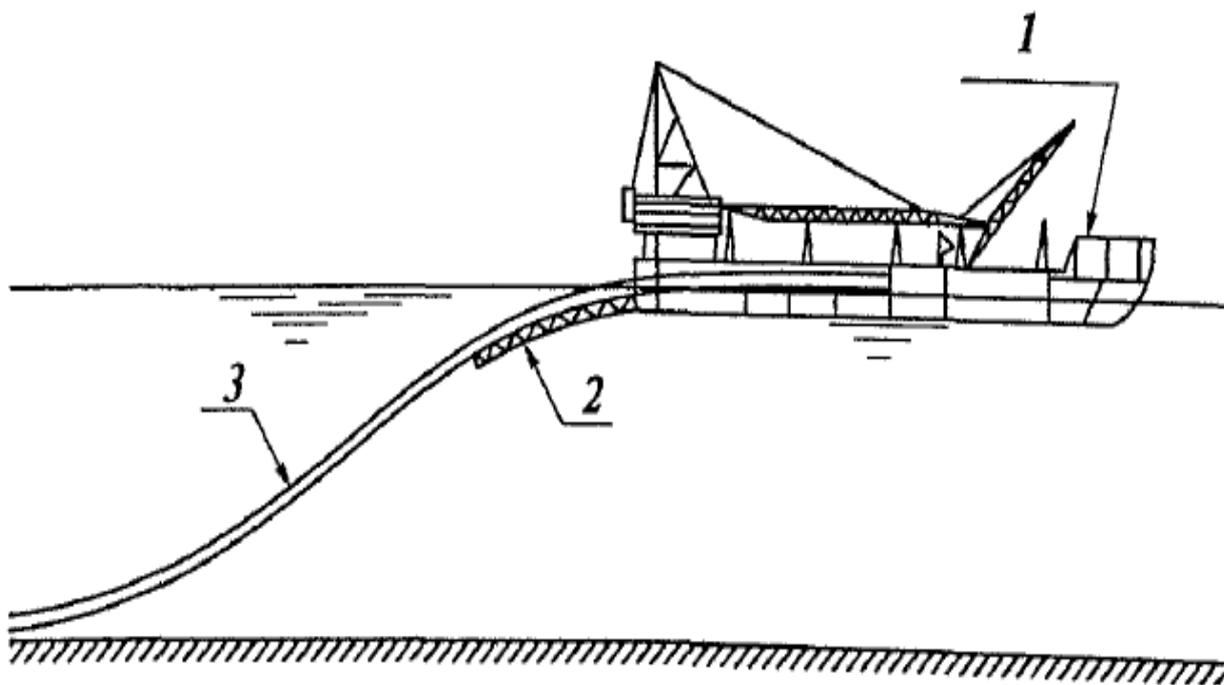
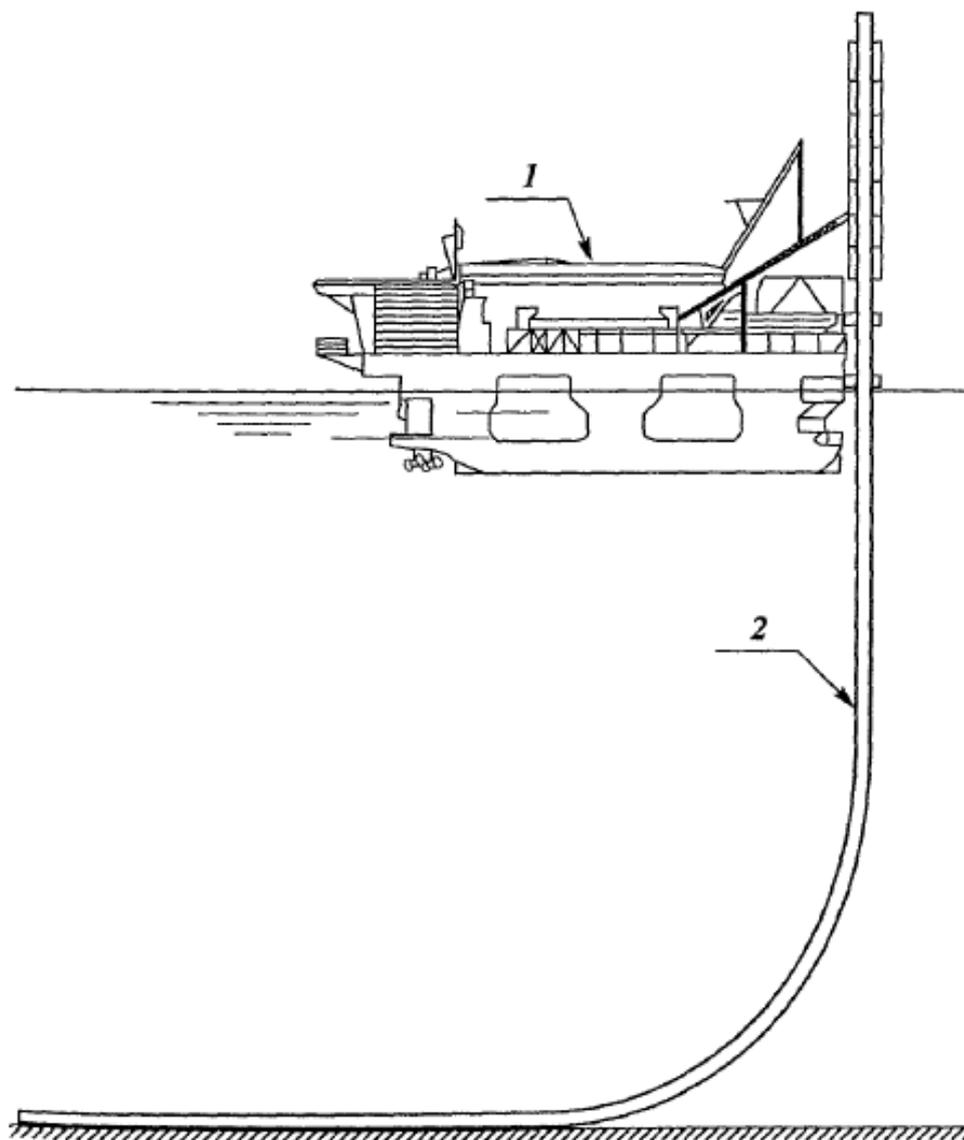


Рисунок 3.1. Прокладка трубопровода S методом.
1 –судно трубоукладчик , 2 - стингер, 3 – газопровод.

При строительстве трубопроводов большого диаметра на глубоководных участках в основном применяют J метод, получивший название, так же как и S метод от формы изогнутого участка наращиваемого трубопровода (Рис 2.1.1).[9]



**Рисунок 3.2. Прокладка трубопровода J методом
1- Судно трубоукладчик, 2 – газопровод.**

Главными отличиями этого метода является вертикальное расположение верхней части трубопровода, в результате чего нет необходимости в применении стингера. Управление строительством ведется за счет регулирования усилий натяжений, угол наклона вышки минимальный. Самые большие отклонения вышки на начале и конце трассы, на мелководных участках. [9]

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Метод S имеет ограничение по глубине укладки участка трубопровода. Метод J же наоборот применяется преимущественно на большой глубине. Поэтому при строительстве морского трубопровода приходится применять в сочетании 2 метода, то есть прибрежные территории S методом, а вглубь моря J методом. Для строительства трубопровода J методом напряженно деформированное состояние провисающего трубопровода формируют собственный вес трубопровода, гидростатическое давление воды и изгибающий момент. Эти нагрузки меняются по ходу укладки трубопровода на дно. Самыми опасными участками являются участки с большей кривизной, наименьшим радиусом изгиба около поверхности дна. Где гидростатическое давление достигает максимального значения. Такое сочетание давления и изгибающего момента могут привести к потере устойчивости и смятию трубопровода. Такая авария не подразумевает особой опасности, но может вызвать разрушительный процесс, называемый лавинным смятием.[9]

Лавинное смятие представляет собой распространение появившегося дефекта по всему трубопроводу. Скорость распространения этого процесса достигает до 150 м/с, самопроизвольно остановиться может только в случае когда гидростатическое давление резко упадет около берега, но до того как это произойдет весь участок трубопровода на глубине может быть смят давлением воды. Для того чтобы этого не происходило необходимо увеличивать толщину стенки трубопровода или же использовать специальные устройства помогающие противостоять лавинному смятию.

Еще одной проблемой строительства морского трубопровода является неровное дно, при прокладке на которых образуются провисающие пролеты достигающие десятки метров. Такие явления при строительстве избежать невозможно и составить профиль дна на большой глубине очень затруднительно, в некоторых случаях вообще невозможно с технической стороны. Если даже это возможно это провоцирует существенные затраты.[9]

					Технология строительства морского трубопровода	Лист
						68
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Наличие таких пролетов создает опасность для трубопровода, как при строительстве, так и при эксплуатации. Они приводят к появлению напряжений на изгиб, которые увеличиваются от длины провисающего участка. Кроме того трубопровод может быть подвержен смятию, в аналогии как и при строительстве. Провисающие участки так же подвергаются опасности при обтекании их подводными течениями, создающие гидродинамические нагрузки и вызывающие потерю устойчивости всей конструкции и возможном появлении усталости материала трубы. На данный момент времени отсутствует единый стандарт по строительству морских трубопроводов. Есть Норвежский, Американский, Британский стандарты и другие рекомендательные документы. В России же есть только нормы проектирования и строительства морских газопроводов ВН 39 – 1.9-005-98 для подводный нефтегазопромыслов.[9]

3.1 Эксплуатация глубоководных трубопроводов

Основная особенность эксплуатации глубоководного трубопровода это внешняя и постоянная нагрузка от гидростатического давления. Например, на глубине 2000 метров гидростатическое давление составляет 21 Мпа, на отдельных участках может даже превышать избыточное давление в трубопроводе (Рис 3.1.1.). При большем избыточном давлении в трубопроводе, труба выдерживает внешнее давление с изгибающимися деформациями при укладке или же от неровного дна. На глубоководных трубопроводах необходим повышенный запас прочности, так как ремонт его существенно выше, чем его строительство это связано с дорогостоящим ремонтным оборудованием, мобилизация судов и экономический ущерб от простоя газопровода и потери продукта. [9]

					Технология строительства морского трубопровода	Лист
						69
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

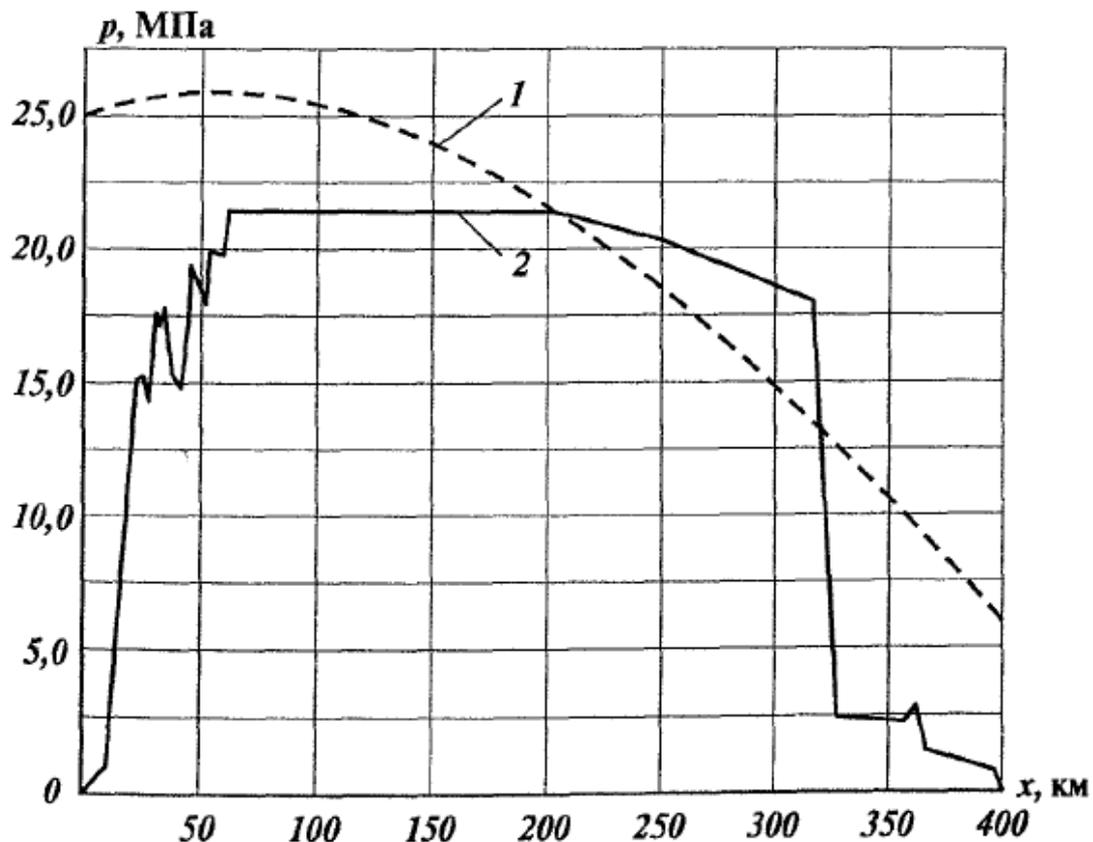


Рисунок 3.1.1. *разность давлений, 1- внутренне давление 2-наружное давление*

На данных трубопроводах практически невозможен контроль напряжённо деформированного состояния. Одной особенностью данных трубопроводов является то, что свободно провисающие участки, образованные на стадии строительства, при эксплуатации изменяются вследствие геологических процессов и так же возможны при изменении эксплуатации. [15] Все это тщательно изучается на стадии проектирования трубопровода и контролируется в процессе эксплуатации.[9]

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

3.1.1. Экологическая безопасность глубоководных трубопроводов

Экологической безопасности на нефтегазопроводах уделяется повышенное внимание. Строительство морского трубопровода в значительной мере меньше оказывает вредное воздействие экологии, это связано со свободной укладкой трубы на дно моря, без земляных работ с обратной засыпкой. На мелководных участках с пересечением водной преграды наносится самый большой урон на стадии строительства.

При строительстве же морского трубопровода урон окружающей среде в основном наносят водная строительная техника из-за выбросов в окружающую среду вредных веществ, таких как выхлопные газы и так далее. Но решение этого вопроса состоит только в выборе более экологичных двигателей и экологичного оборудования. При аварийных ситуациях ущерб тоже минимален, так как он заключается в затоплении труб и отдельных элементов оборудования. Морские трубопроводы так же отличаются меньшей взрывоопасностью при эксплуатации из-за отсутствия кислорода в воде. Но, однако, если не происходит возгорание, это не значит, что утечка будет экологически безопасна. Природный газ, выходящий из газопровода под водой, поднимается на поверхность и образует на ней ядовитое облако, разносимое ветром. Всплывает газ в виде струи состоящей из пузырей образующиеся на поверхности воды под видом кипящего слоя. При порыве глубоководного трубопровода пятно от продукта может достигать 300 метров а высота поднятых волн до 0.5 метров. При полной работе всей системы обнаружения порывов и своевременным перекрытием секущих задвижек, утечка может продолжаться 2-3 часа. [9]

Негативный фактор, присутствующий при разрыве морского газопровода это захват струей газа глубинных вод насыщенных сероводородом. Концентрация сероводорода может достигать до 2 мг/м³, такая концентрация смертельна для многих живых организмов. Кроме этого газ, содержащий в себе, метан может растворяться в морской воде и

					Технология строительства морского трубопровода	Лист
						71
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

достаточно долго в ней находится, переносясь течениями на большие расстояния. При разрыве газопровода в Азовском море зафиксирована концентрация метана до 7 миллиграмм на литр на расстоянии до 500 метров от него.

При подводных разрывах на газопроводах образуется воронка до 200 м², грунт вымытый разносится течением (подводным) на большие расстояния, это может привести к гибели многих разновидностей рыб. Можно сделать вывод, что со стороны экологической и экономической морские трубопроводы следует проектировать по всем современным требованиям и применять все современные методики проектирования, чтобы избежать как экологических проблем, так и материальных.[9]

3.1.2 Опасности при технологических процессах сооружения морских трубопроводов

При строительстве морских газопроводов существуют опасности для всех методов как для J метода, так и для S метода укладки трубопроводов, такие как потеря устойчивости, лавинное смятие, природные опасности и технологические (улар тралами и т.д.). (Рис 3.1.2.1., 3.1.2.2.,)

Основной источник опасности это природный фактор – это сейсмическая активность в районе прокладки трубопровода, ледоход, осадки, скорость течения, высота вала. От внешнего воздействия – столкновения судов, обрыв якорей. А так же отказ оборудования и человеческий фактор, ошибки при проектировании. [11]

					Технология строительства морского трубопровода	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		72

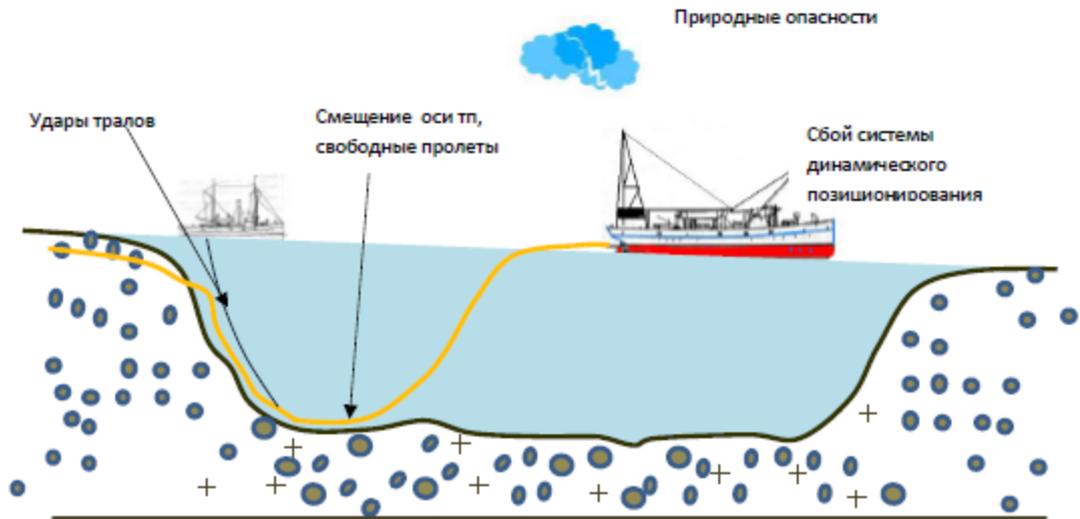


Рисунок 3.1.2.1 Опасности при сооружении морского трубопровода S методом

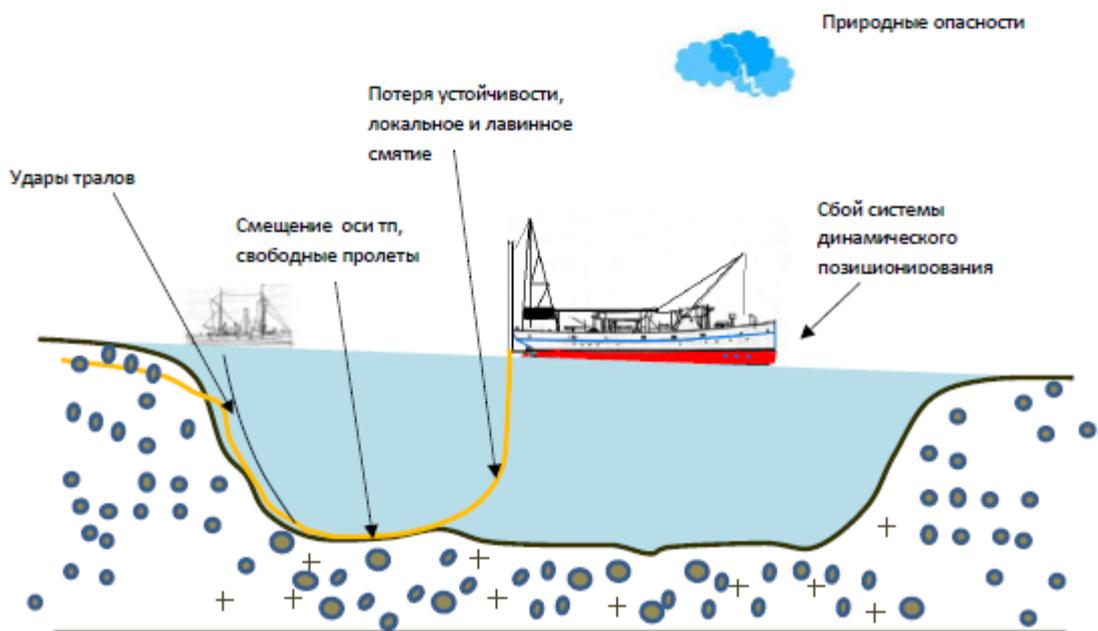


Рисунок 3.1.2.2. Опасности при сооружении морского трубопровода J методом

По стандарту DNV RP-F116 можно идентифицировать типичные отказы на стадии строительства трубопровода. Таблица 1.

Таблица 1

опасности и отказы на стадии строительства морских газопроводов

Группа опасности	Опасности	Повреждения/отказ
Опасности при проектировании, производстве и монтаже	Ошибки проектирования Ошибки/брак производства Ошибки монтажа	Потери металла Вмятина Трещина Свободный пролет Оголение Смещение (сдвиг) Повреждение покрытия Повреждение анодной защиты Местный продольный изгиб и глобальный продольный изгиб
Опасности коррозии и эрозии	Внутренняя и внешняя коррозия Эрозия	Потеря металла Трещина
Опасности третьей стороны	Влияние тралов Использование якорей Столкновение судов Терроризм Движение (морские суда), Другое механическое воздействие	Потери металла Вмятина Трещина Оголение Повреждение покрытия Повреждение анодной защиты Местный продольный изгиб и глобальный продольный изгиб
Опасности при сооружении	Местный продольный изгиб и глобальный продольный изгиб Статистические перегрузка Усталость металла Стабильность на дне	Трещина Свободные пролеты Местный продольный изгиб и глобальный продольный изгиб Оголение Смещение (сдвиг)
Природные опасности	Шторм Землетрясение Солевые потоки Перепады температур Наводнение Молнии	
Опасности при эксплуатации	Неправильные действия Новые условия эксплуатации Внутренняя система защиты	

На основе стандарта DNV RP-F116 и анализа технологических процессов строительство морского газопровода установлены основные опасности при сооружении морских газопроводов:

- Дефекты стенки трубы, запорной арматуры.
- Внешнее воздействие на трубопровод (судами, сетями и т.д.).
- Потеря устойчивости трубопровода при укладке J методом.
- Появление свободных пролет в последствии и изгибающих напряжений.
- Нарушение правил промышленной безопасности и пожарно-технического минимума при строительстве и эксплуатации трубопровода.
- Изменение технических режимов производственного процесса при строительстве и эксплуатации трубопровода.
- Отсутствие технического контроля, замена материалов, отклонение от проекта. [11]
- Неполное обеспечение необходимым оборудованием и материалом.
- Неправильные решения в проектной документации (не точные расчеты или чертежи).
- Неверный выбор оборудования.

Все вышеперечисленные опасности можно классифицировать по воздействию и по причинам их возникновения и объединить в 3 группы:

1. Опасность, возникшая в самой конструкции трубопровода.
2. Опасность, возникающая при процессе строительства.
3. Опасность, возникающая от условий строительства.

Данную классификацию можно применять при идентификации технологических опасностей при строительстве морских газопроводов и при эксплуатации и для оценки технологических рисков на стадии строительства трубопровода. [11]

					Технология строительства морского трубопровода	Лист
						75
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

4. Моделирование сверхзвуковой импульсной веерной струи.

Рассматривается процесс радиального истечения газа из гильотинного разрыва газопровода по сварному шву, который приводит к образованию ударной волны и веерной струи. Была построена математическая модель в рамках нестационарной газовой динамики двухкомпонентного газа. Разработан программный комплекс *VEER_2D_02* с дружественным к пользователю интерфейсом.

Моделирование гильотинного разрыва газопровода, политропный газ, нестационарная веерная струя проводилось с помощью метода С.К. Годунова.

Рассматривается нестационарное истечение газа при радиальном разрыве газопровода (рис.4.1), первоначально заполненного газом под давлением p_0 . Предполагается, что сам разрыв происходит мгновенно с образованием щели, ширина которой меньше радиуса трубы. Газ начинает истекать в пространство заполненное другим газом с начальным давлением p_e . Кроме очевидного прикладного значения данная задача имеет и научный интерес, так как исследования подобных течений практически отсутствуют [17].

					<i>Математическое моделирование гильотинного разрыва газопровода под водой</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Ардт А.В.</i>			<i>Моделирование сверхзвуковой импульсной веерной струи</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		<i>Цимбалюк А.Ф.</i>					76	144
<i>Консульт.</i>						НИ ТПУ гр. 2БМ6А		
<i>Рук-ль ООП</i>		<i>Бурков П.В.</i>						

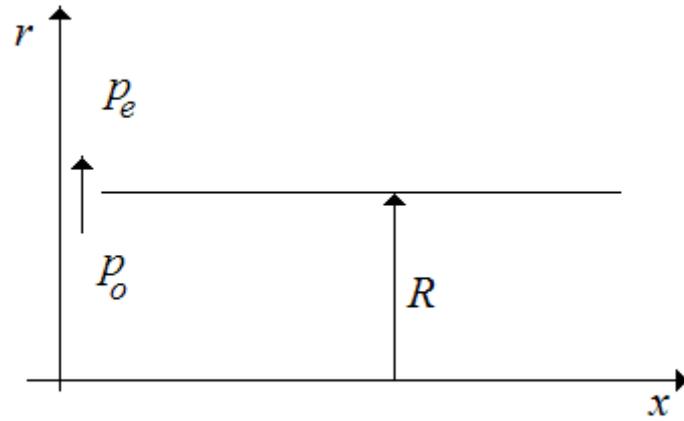


Рис.4.1. Область решения.

В основу моделирования положена модель идеального политропного газа [18], хорошо зарекомендовавшая себя для расчета струйных течений [19]. Интегральные законы сохранения массы, импульса, энергии, а так же массы исходного компонента имеют вид:

$$\frac{\partial}{\partial t} \iint_S r \rho dx dr + \oint_{\Gamma} r \rho (u dr - v dx) = 0,$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \iint_S r \rho u dx dr + \oint_{\Gamma} r [\rho u (u dr - v dx) + p dr] = 0,$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \iint_S r \rho v dx dr + \oint_{\Gamma} r [\rho v (u dr - v dx) - p dx] = 0, \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \iint_S r E dx dr + \oint_{\Gamma} r (E + 2p) (u dr - v dx) = 0,$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \iint_S r \rho c dx dr + \oint_{\Gamma} r \rho c (u dr - v dx) = 0,$$

$$E = \rho(2e + u^2 + v^2) = \frac{2p}{\gamma - 1} + \rho(u^2 + v^2), e = \frac{p}{\rho(\gamma - 1)}.$$

Эффективный показатель адиабаты вычисляется по соотношению:

$$\gamma = 1 + \frac{cM_p + (1-c)M_a}{\left[\frac{cM_p}{(\gamma_e - 1)} + \frac{(1-c)M_a}{(\gamma - 1)} \right]} \quad (2)$$

Здесь Γ – замкнутый контур, ограничивающий площадку S в плоскости переменных x, r цилиндрической системы координат, p – давление, ρ – плотность, u, v – проекции вектора скорости на оси системы координат, c – массовая концентрация истекающего газа, E – удвоенная полная энергия, M – молярная масса, a – скорость звука.. Используются безразмерные переменные. Плотность, скорость отнесены к их критическим значениям, давление и полная энергия – к комплексу $\rho_* a_*^2$, линейные размеры – к радиусу трубы. Индекс a – относится к параметрам газа в затопленном пространстве, p – к параметрам в трубе, $*$ – к критическим параметрам.

На оси симметрии ($r=0$) и левой границе ($x=0$) выставляются условия симметрии, на внешней и внутренней поверхностях трубы – условие непротекания, на остальных границах выставляются условия не влияния внешних параметров на течение в рассматриваемой области.

Анализ размерностей показывает, что характеристики течения определяются следующим набором исходных параметров:

$$\frac{p_0}{p_e}, \frac{b}{R}, \frac{M_a}{M_p}, \frac{T_0}{T_e}, \gamma_p, \gamma_a.$$

Здесь b – полуширина щели.

Для численного решения данной задачи использовался классический вариант метода С.К. Годунова [20], хорошо зарекомендовавший себя при решении задач газодинамики нестационарных струй [1, 3, 4, 5]. Метод был реализован в виде пакета прикладных программ VEER_2D, с дружественным к пользователю графическим Windows интерфейсом. Ниже на рис.2

приведены результаты расчета течения при следующих значениях исходных параметров:

$$\frac{p_0}{p_e} = 100; \frac{b}{R} = 0,1; \frac{M_a}{M_p} = 1; \frac{T_0}{T_e} = 1; \gamma_p = 1,4; \gamma_a = 1,4.$$

На верхнем фрагменте (а) представлена визуализация поля чисел Маха в различные моменты времени, на нижнем (б) распределение скоростей в те же моменты времени.

Полученные результаты показывают, что на начальном этапе вдоль внешней поверхности газопровода распространяется ударная волна цилиндрической формы, а внутри волна разрежения также цилиндрической формы. Позднее, вследствие взаимодействия с осью симметрии происходит дифракция волны разрежения, а в верхней части течения происходит формирование сверхзвуковой веерной струи, с типичной для таких потоков ударно-волновой структурой. При этом около самой щели, с боков струи образуется тороидальная вихревая зона. Такая картина течения не противоречит имеющимся физическим представлениям об импульсных сверхзвуковых струйных потоках [17].

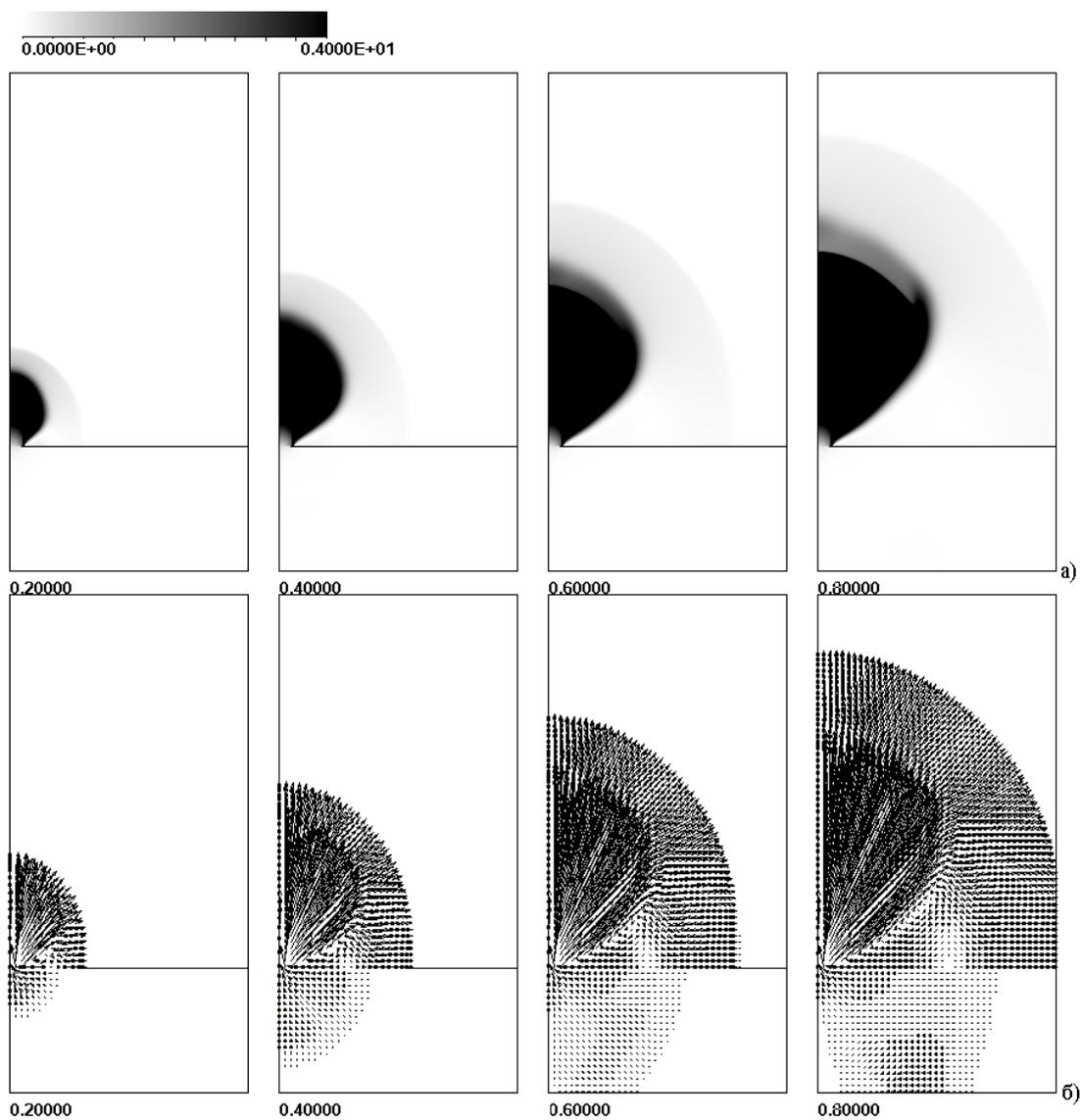


Рисунок.4.2. Формирование веерной струи при радиальной разгерметизации газопровода.

4.1 Компьютерная программа «FORTRAN»

Программный комплекс VEER_2D_02

Расчет импульсной веерной струи политропного газа при гильотинном разрыве газопровода при помощи метода С. К. Годунова 1-ого порядка для разных газов с визуализацией цветом, был реализован в компьютерной программе **VEER_2D_02**. Приведем краткое описание программы **VEER_2D_02**.



Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Инженерная школа природных ресурсов
Программа veer2D_02 - расчет импульсной веерной звуковой струи
политропный газ, адекватная сетка, метод Годунова 1-й порядок
разные газы, визуализация цветом
Авторы: Цимбалюк А.Ф., доц., к.ф.-м.н. м/т 8-905-990-1080 e-mail: afctqu@yandex.ru
Ардт А.В. студент гр. 2БМвА
версия N 01-001 21.09.2014
Нажмите на любую клавишу

Рисунок 4.1.1 Титульный лист программы **VEER_2D_02**.

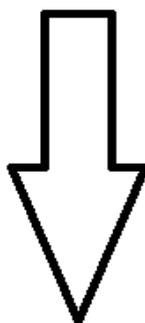
Данной программой можно управлять посредством системы меню показанной ниже на рисунках, это последовательность действий для запуска программы и различные варианты получения необходимых данных.

					Моделирование сверхзвуковой импульсной веерной струи	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		81

Ввод исходных данных

Да
Нет

1.41000 показатель адиабаты газа в затопленном
 1.41000 показатель адиабаты газа в баке
 0.02900 молярная масса газа в затопленном пространстве
 0.02900 молярная масса газа в трубе
 1.50000 радиус расчетной области / радиус
 0.10000 половина ширины щели / радиус



Параметры расчета

Да
Нет

0.90000 демпфер шага по времени
 0.01000 относительная точность по давлению
 4.00000 время расчета
 10 число начальных слоев с $DH = 0.1$
 100 число ячеек по $x < 200$
 300 число ячеек по $y < 500$
 50.00000 давление в трубе / давление в затопленном пространстве
 50.00000 плотность в трубе / плотность в затопленном пространстве

Рисунок 4.1.2 Последовательность действий для запуска программы часть 1

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

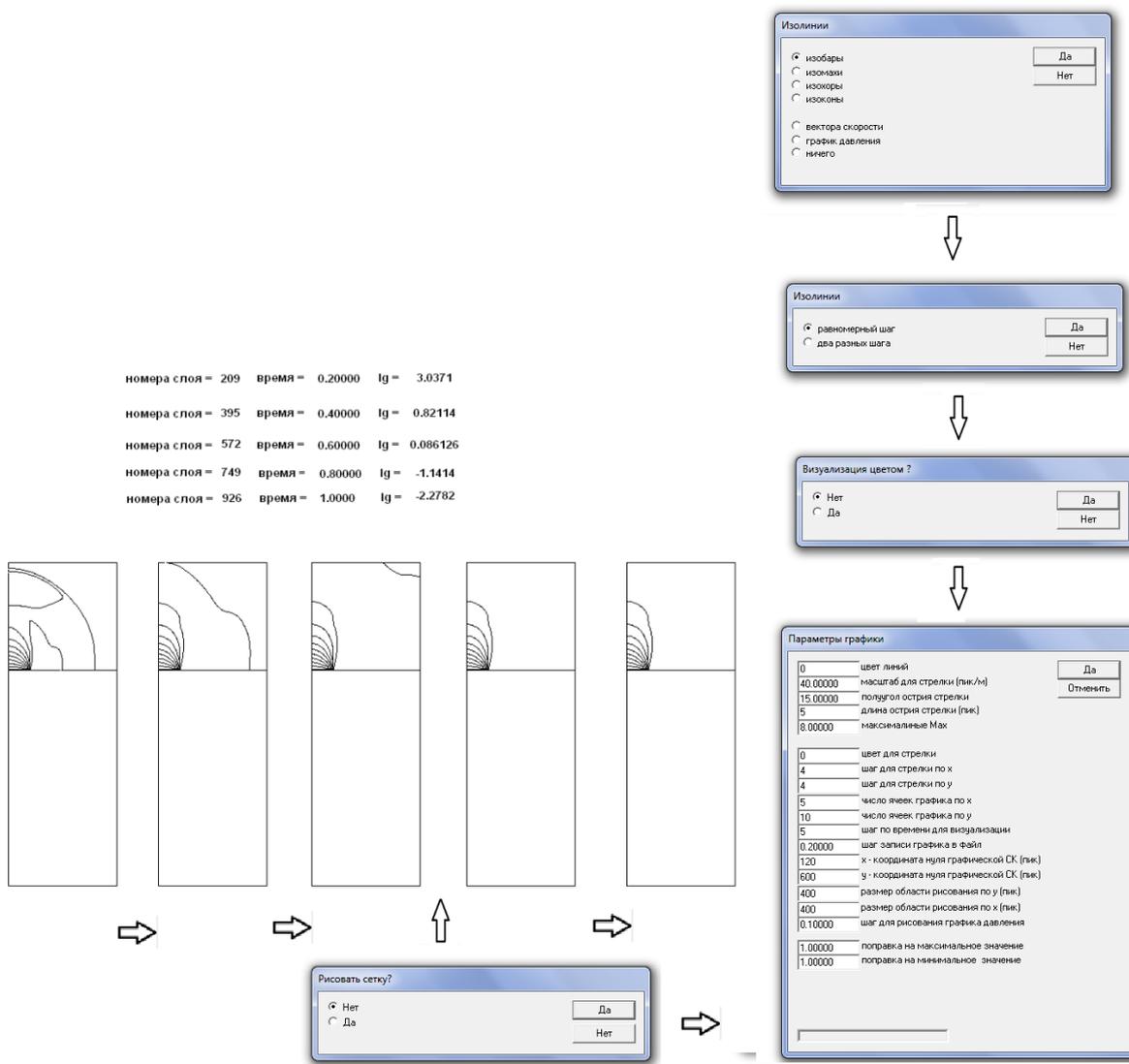


Рисунок 4.1.3 Последовательность действий для запуска программы, часть 2, вариант 1 (Изобары)

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

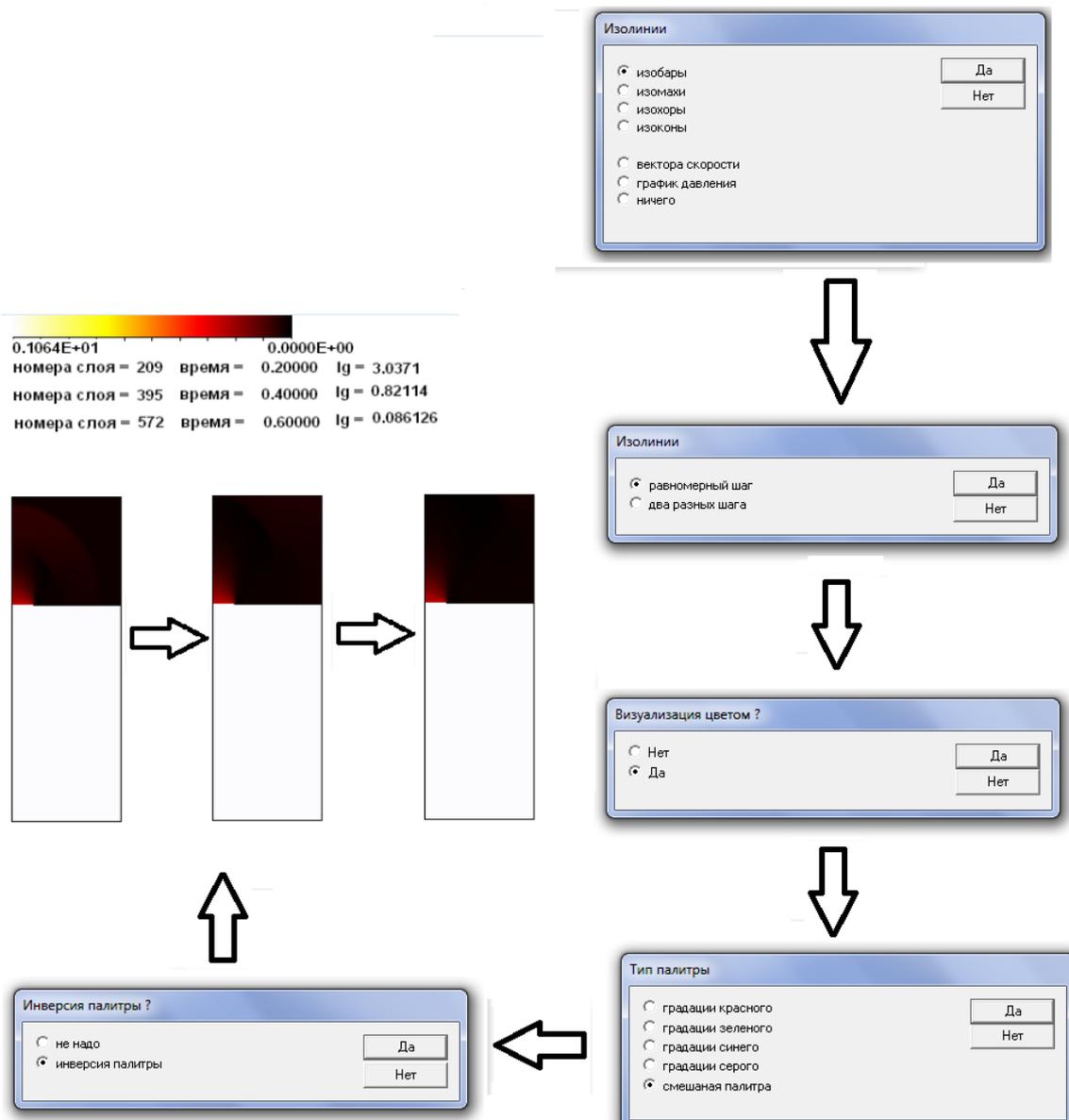


Рисунок 4.1.3 Последовательность действий для запуска программы, часть 2, вариант 2 (Изобары)

Изолинии

изобары

изомахи

изохоры

изоковы

вектора скорости

график давления

ничего

Да

Нет



Изолинии

равномерный шаг

два разных шага

Да

Нет



Визуализация цветом ?

Нет

Да

Да

Нет



Параметры графики

0 цвет линий

40.00000 масштаб для стрелки (пик./л)

15.00000 полуугол острой стрелки

5 длина острой стрелки (пик.)

8.00000 максимальные Max

0 цвет для стрелки

4 шаг для стрелки по x

4 шаг для стрелки по y

5 число ячеек графика по x

10 число ячеек графика по y

5 шаг по времени для визуализации

0.20000 шаг записи графика в файл

120 x - координата нуля графической СК (пик.)

500 y - координата нуля графической СК (пик.)

400 размер области рисования по y (пик.)

400 размер области рисования по x (пик.)

0.10000 шаг для рисования графика давления

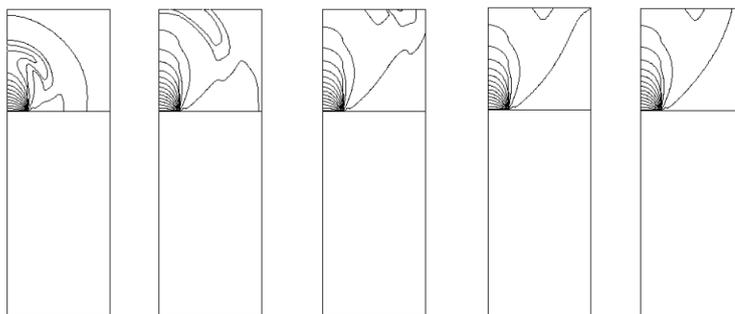
1.00000 поправка на максимальное значение

1.00000 поправка на минимальное значение

Да

Отменить

номера слоя = 209 время = 0.20000 lg = 3.0371
 номера слоя = 395 время = 0.40000 lg = 0.82114
 номера слоя = 572 время = 0.60000 lg = 0.086126
 номера слоя = 749 время = 0.80000 lg = -1.1414
 номера слоя = 926 время = 1.00000 lg = -2.2782



Рисовать сетку?

Нет

Да

Да

Нет

Рисунок 4.1.4 Последовательность действий для запуска программы, часть 2, вариант 3 (Изохоры)

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

Изолинии

изобары
 изомахи
 изохоры
 изоконы

вектора скорости
 график давления
 ничего

Да Нет



Изолинии

равномерный шаг
 два разных шага

Да Нет



Визуализация цветом ?

Нет
 Да

Да Нет



Тип палитры

градации красного
 градации зеленого
 градации синего
 градация серого
 смешанная палитра

Да Нет



Инверсия палитры ?

не надо
 инверсия палитры

Да Нет



номера слоя = 209 время = 0.20000 lg = 3.0371
 номера слоя = 395 время = 0.40000 lg = 0.82114
 номера слоя = 572 время = 0.60000 lg = 0.086126

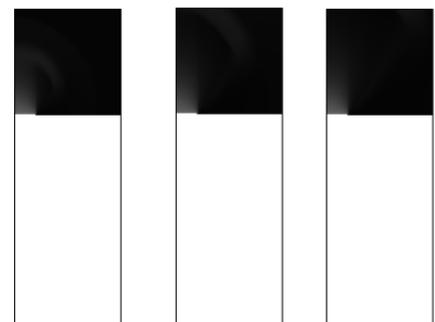


Рисунок 4.1.5 Последовательность действий для запуска программы, часть 2, вариант 4 (Изохоры)

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

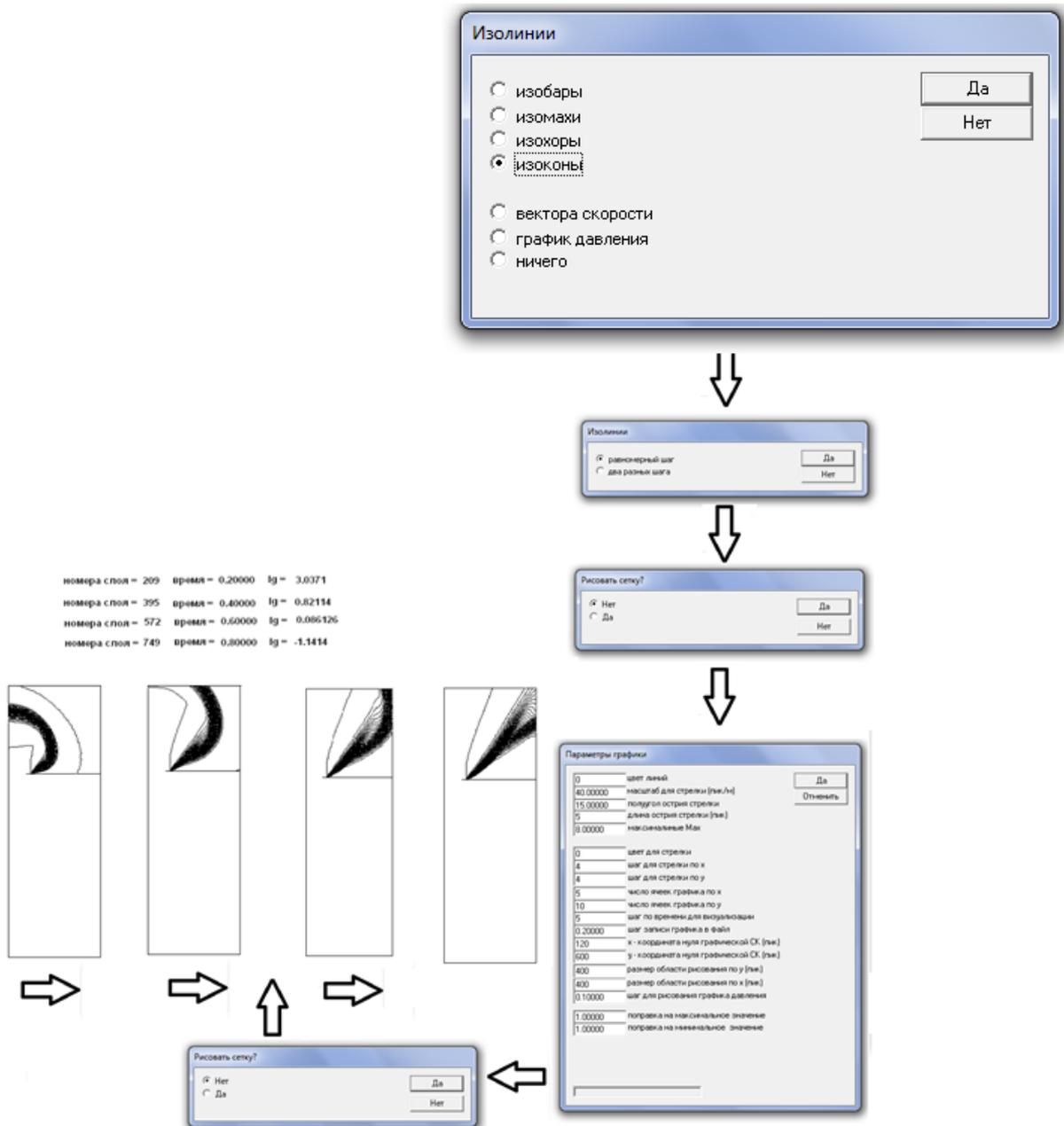


Рисунок 4.1.6 Последовательность действий для запуска программы, часть 2, вариант 4 (Изоконы)

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

Изолинии

изобары

изопахии

изооксы

изоконы

вектора скорости

график давления

ничего

Да

Нет



Изолинии

равномерный шаг

два разных шага

Да

Нет



Визуализация цветом ?

Нет

Да

Да

Нет



Тип палитры

градиент красного

градиент зеленого

градиент синего

градиент серого

смешанная палитра

Да

Нет



Инверсия палитры ?

не надо

инверсия палитры

Да

Нет



0.1000E-07 0.1000E+01

номера слоя = 209	время = 0.20000	Ig = 3.0371
номера слоя = 395	время = 0.40000	Ig = 0.82114
номера слоя = 572	время = 0.60000	Ig = 0.086126
номера слоя = 749	время = 0.80000	Ig = -1.1414
номера слоя = 926	время = 1.0000	Ig = -2.2782

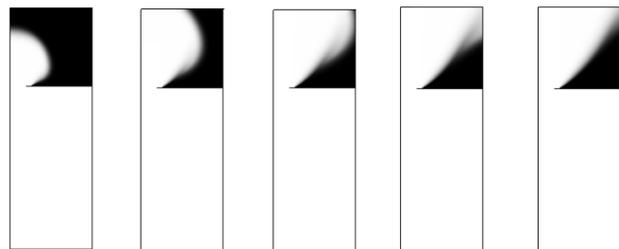


Рисунок 4.1.7 Последовательность действий для запуска программы, часть 2, вариант 4 (Изоконы)

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------



номера слоя = 140 время = 0.20000 Ig = 2.7205

номера слоя = 263 время = 0.40000 Ig = 1.8254

номера слоя = 381 время = 0.60000 Ig = 0.41010

номера слоя = 499 время = 0.80000 Ig = -1.2856

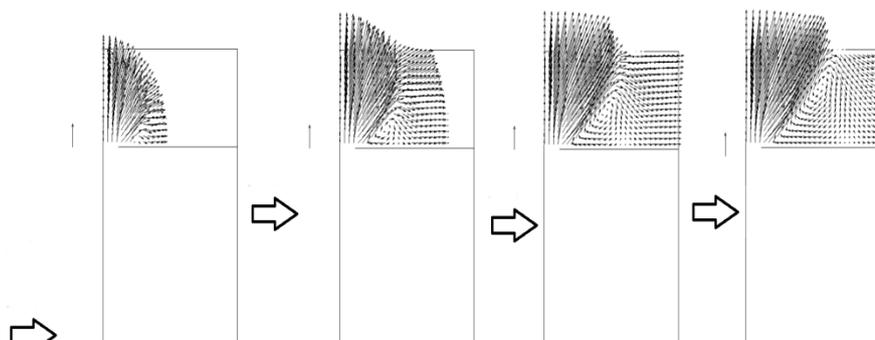


Рисунок 4.1.8 Последовательность действий для запуска программы, часть 2, вариант 4 (Вектор скорости)

Заключение:

В данном разделе был проведен расчет импульсной веерной струи политропного газа при гильотинном разрыве газопровода при помощи метода С. К. Годунова 1-ого порядка для разных газов с визуализацией цветом, реализованный в компьютерной программе **VEER_2D_02**.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

5. Социальная ответственность

В данном разделе рассматриваются аварийно-восстановительные работы по ликвидации аварии на магистральном газопроводе. Основное рабочее место при ликвидации последствий аварии это открытый воздух. Восстановительные работы проводят в зависимости от ситуации в суточном режиме.

5.1 Производственная безопасность

Бесперебойная, надежная эксплуатация морских газопроводов заключается в постоянном поддержании эксплуатационных характеристик путем технического обслуживания и ремонта. Основные прочностные характеристики закладывается еще на стадии проектирования, а также строительства и от грамотных проектных решений зависят многие прочностные характеристики. Чтобы не допустить разрушения трубопровода на стадии строительства помимо проектных решений, необходимо качественно выполнить работу соответствующим оборудованием и материалом с соблюдением всех требований правил промышленной безопасности и охраны труда. [24]

Основа производственного процесса, формирующая опасные и вредные производственные факторы при выполнении аварийно-восстановительных работ это:

					<i>Математическое моделирование гильотинного разрыва газопровода под водой</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Ардт А.В.</i>			Социальная ответственность	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		<i>Цимбалюк А.Ф.</i>					90	144
<i>Консульт.</i>		<i>Немцова О.А.</i>				НИ ТПУ гр. 2БМ6А		
<i>Рук-ль ООП</i>		<i>Бурков П.В.</i>						

Опасные производственные факторы:

- *Движущиеся машины и механизмы;*
- *Электрический ток;*
- *Взрывоопасность и пожароопасность;*
- *Электрическая дуга и металлические искры при сварке;*
- *Избыточное давление*

Опасные производственные факторы это те факторы, которые при производственном процессе в определенных условиях могут привести к травме, резкого ухудшению здоровья и даже смерти. [25]

Вредные производственные факторы:

- *Повышенный уровень шума;*
- *Повышенная загазованность воздуха;*
- *Повреждения, полученные в результате контакта с насекомыми*

Вредные производственные факторы это те факторы, которые могут отрицательно повлиять на персонал обслуживающий магистральные газопроводы и вызвать хронические заболевания и многие другие последствия.

Бригада ЛАЭС по аварийно-восстановительному ремонту газопровода должна быть обеспечена спецодеждой, спец обувью и средствами индивидуальной защиты.

К работе допускаются лица не моложе 18 лет, прошедшие медицинское освидетельствование и годные по состоянию здоровья, имеющие соответствующее квалификационное удостоверение, удостоверение по оказанию первой доврачебной помощи и удостоверение о проверке знаний по промышленной безопасности и охране труда. [25]

					Социальная ответственность	Лист
						91
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

5.2 Анализ опасных производственных факторов

1. Движущиеся машины и механизмы

При эксплуатации машин и механизмов необходимо руководствоваться СНиП III-4-80[30]. Техника безопасности при ремонтно-восстановительных работах, «Правила безопасной работы с грузоподъемными механизмами» и инструкции завода-изготовителя.

Руководители структурного подразделения, выполняющего ремонтно-восстановительные работы с применением строительных машин, назначают из руководящего состава ИТР, ответственного за безопасное проведение работ. Лица ответственные за безаварийную работу строительных машин и механизмов, обеспечивают проведение их технического обслуживания и ремонта в соответствии с графиком утвержденным главным инженером предприятия. Непосредственно перед началом работ с строительными машинами и механизмами руководители работы определяют схему проездов техники и место их установки и способы заземления механизмов, имеющих электроприводы, На месте производства работ должно обеспечиваться хорошая видимость рабочей зоны и маневрирование техники в пределах рабочей зоны. В зоне производства работ устанавливаются знаки безопасности и предупредительные надписи. При погрузочно-разгрузочных работах следует руководствоваться ГОСТ 12.3.009-76[28] , СНиП III-4-80[30]. Строповка грузов производится испытанными стропами с инвентарными номерами или специальными грузозахватными устройствами имеющие соответствующие сертификаты заводов изготовителей. Способ строповки необходимо выбирать исходя из схем строповки, которые исключают падение или скольжение груза.

Укладывание груза на транспортное средство должно обеспечиваться устойчивым положением транспортного средства и непосредственно груза. Запрещается выполняя погрузочно-разгрузочные работы с грузом,

					Социальная ответственность	Лист
						92
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

находящимся в неустойчивом положении. Все подъемные приспособления, а именно троса, канаты, цепи и грузоподъемные механизмы лебедки, и краны, которые применяются, при строповке испытываются по утвержденному графику, набивается клеймо или вешается бирка с указанием допустимых нагрузок, даты испытания.

2. *Электрический ток*

Источники воздействия током являются: электропроводка, оборудование, работающее от электросети. Удар током – это поражение живой ткани током, сопровождается сокращением мышц. Электрический ток, проходящий через человека, оказывает как термическое так электролитическое и биологическое воздействие. Безопасность работы обеспечивается за счет технических и организационных мер:

- установка предохранительных устройств;
- нанесения изолирующих материалов
- заземление, согласно ПЭУ сопротивление изолирующего материала должно быть 0,5-10 Ом м,
- Знаки безопасности и предупреждающе плакаты в соответствии со СНиП 12.1.030-81.ССБТ

В состав бригады обязательно должен входить электрик. К работе с электрооборудованием допускаются лица не моложе 18 лет, прошедшие медицинское освидетельствование и годные по состоянию здоровья, имеющие соответствующее квалификационное удостоверение прошедшие специальное обучение и имеющие соответствующую группу допуска по электробезопасности согласно “Перечню профессий и должностей работников службы ЛЭС. Весь состав работников проходит инструктаж по электробезопасности. Все металлические корпуса сварочных аппаратов должны иметь заземление. Электрическая проводка должна быть в неповрежденной изоляции.

					Социальная ответственность	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		93

Для того чтобы обезопасить рабочий персонал от непредумышленного прикосновения к токоведущим источникам необходимо применять средства защиты такие как:

- Защитная оболочка,
- Временные или стационарные ограждения,
- Проведение проводки или других элементов в защитном расположении, например кабель каналах, изолирующих чехлах,
- Изоляция рабочих мест,
- Защитное отключение,
- Блокировка и знаки безопасности,
- Защитное заземление или зануление,
- Малое напряжение,
- Применение при работе с электроинструментом или оборудованием СИЗ.

3. Электрическая дуга и металлические искры при сварке

К сварочным работам на газопроводах допускаются сварщики, имеющие соответствующее квалификационное удостоверение, прошедшие проверку знаний и получившие удостоверение на право производства сварочных работ.[35] Сварочная бригада обязана работать только с применением средств индивидуальной защиты. Нарукавники должны быть надеты в случае сварки на потолке трубы. Если сварка идет по цветному металлу, такому как цинк или медь, необходимо использовать фильтрующий противогаз. Слесаря, работающие газопламенным оборудованием должны проводить работы в светофильтрующих очках, при работе с болгаркой. Все провода, идущие к электрооборудованию, должны подвергаться к постоянному осмотру, запрещается эксплуатировать проводку с поврежденной изоляцией.[32]

					Социальная ответственность	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		94

4. **Пожарная безопасность и взрывоопасность:**

Для предотвращения пожаров или взрывов обобщается общее понятие – пожарная профилактика. Её обеспечивают разными способами или средствами:

- технологическими,
- строительными,
- организовано-техническими.

Пожарная профилактика важнейшая частью проблем по обеспечению пожаробезопасности и взрывобезопасности всех объектов, поэтому уделение первостепенного внимания по решению вопросов связанных защитой объекта от пожара или взрыва. При пожаре оказывается термическое воздействие на человека такие как повышение температуры, наличие открытого огня, низкое содержание кислорода, возможны взрывы, токсичный дым от продуктов горения.

Термическое воздействие непосредственно связано с перегревом человека и последующих биохимических изменений верхнего слоя кожи (ожога). Сильная боль, ощущаемая при повышении температуры верхнего слоя кожи до 50 °С.. Пик болевого порока зависит от плотности теплового потока. [27]

Например, с плотностью теплового потока 1,8 кВт/м боль вообще не ощущается независимо от времени воздействия. Тяжесть последствий термического воздействия будет зависеть от длительности воздействия и величины теплового потока. При незначительном воздействии повреждается только верхний слой кожи, глубиной до 1 миллиметра, это ожог 1 степени характеризуется покраснением кожи. При увеличении плотности потока и времени воздействия повреждается нижний слой кожи (Дерма), это ожог 2 степени, характеризуется появлением пузырей и при еще более плотном потоке и длительном воздействии получают повреждение подкожного слоя, ожог 3 степени характеризуется полным поражением кожного покрова

						Социальная ответственность	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			95

(обугливание). При ожоге 2 и 3 степени люди выживают, если место повреждения достигает менее 20% от всего тела. Если же ожоги 2 и 3 степени занимают более 20% от всего тела, то при интенсивном медицинском вмешательстве шанс есть, но он очень снижен.

Основной причиной пожара на производстве является нарушение технологических режимов работы с оборудования, неисправность оборудования, курение в неположенных местах и т.д. В соответствии с ГОСТ 12.1.010-76 [18] вероятность возгорания производственных помещений за год должна быть менее 0,000001%. Для того чтобы предотвратить возгорание необходимо исключить источники зажигания в газоопасных средах. Ответственные за пожарную безопасность при ремонтных работах на магистральных газопроводах, являются руководители работ. Всех работников знакомят с этим приказом под роспись. При проведении огневых работ устанавливаются требования пожарной безопасности в соответствии с правилом пожарной безопасности ФЗ №123 от 22.07.2008 г.. На всех аварийно-восстановительных работах должен присутствовать ответственный со службы пожарной безопасности и пожарное звено. Все это указывается в наряд-допуске на огневые работы.[34] Наряд допуск согласовывает инженера СПБ, ГО и ЧС, командир пожарного звена СПБ и лица ответственные за пожарную безопасность объекта. Без наряда-допуска работы проводить запрещено. Место проведение работ должны быть оснащены огнетушителями, лопатами не менее четырех. В рабочей зоне запрещено курить, использовать открытый огонь и т.д. Вся техника должна быть с искрогасителями. Сварщики и слесаря должны быть одеты в костюм ТОК-200, а так же все принимающие участие в работе должны быть термостойкой спецодежде. Баллоны с газом должны быть с защитными крышками или предохранительными колпаками. При транспортировке должна исключена, возможность удара.

					Социальная ответственность	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		96

Перенос баллонов осуществляется в специализированных тележках. После окончания работ все используемые огнетушители отдаются на перезарядку в пожарную службу СПб. Все случаи пожара расследуются специализированной комиссией с соблюдением все норм и законов РФ. По результатам расследования разрабатываются дополнительные мероприятия для предотвращения подобных случаев. [27]

5. *Избыточное давление:*

При разгерметизации газопровода формируется ударная волна, ведущие за собой волны сжатия и волны разряжения, которые характеризуются избыточным давлением и импульсами фаз сжатия и разряжения, негативно воздействующие на работников. Характеристика барического воздействия от взрыва представлена на рисунке 5.2 [14]

Безопасное	<10 кПа
Легкое поражение ушибы, потеря слуха, вывихи, временная общая контузия	20...40 кПа
Среднее поражение (контузия, повреждение органов) слуха, разрыв барабанных перепонки, кровотечение из носа и ушей)	40...60 кПа
Сильное поражение сильная контузия всего организма, потеря сознания, переломы конечностей, повреждения внутренних органов	60...100 кПа
Порог смертельного поражения	100 кПа
Летальный исход в 50% случаев	250...300 кПа
Безусловное смертельное поражение	>300 кПа

Рисунок. 5.2. Барическое воздействие на человека при взрыве газозвушной смеси.

5.3 Анализ основных вредных производственных факторов

1. Повышенный уровень шума

Источники повышенного шума при рабочем процессе является звук вызванный в результате производственного процесса. Повышенный шум оказывает воздействие на слуховой аппарат человека и на другие органы не исключая и нервную систему.

- Громкость, не превышающая 80 дБА, не оказывает губительное воздействие на слуховой аппарат.
- Громкость, превышающая 80 дБА по нормативной документации и по СанПиН 2.2.4.3359-16 превышает порог слухового аппарата и приводит к повышенному кровяному давлению.

В соответствии со СНиП 12-03-99 средствами коллективной и индивидуальной защиты являются:

- Шумоизолирующие средства;
- Глушители;
- Вкладыши;
- Наушники;
- Шумоизолированные шлема.

2. Повышенная загазованность воздуха

При разгерметизации газопровода, основной опасный фактор большое содержание опасных веществ в воздушной или в водной среде, а именно метан, одоранты и другие.

Природный газ не имеет цвета, легче воздуха имеет различную токсичность в зависимости от примесей.

					Социальная ответственность	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		98

Природный газ, очищенный по требованиям ОСТ 51.40-83 газ горючий природный, подаваемый в магистральные газопроводы, то свойства его фактически мало чем отличаются от свойства метана.

При наличии примеси тяжелых углеводородов свойства природного газа меняется, повышается плотность, уменьшается температура воспламенения, поэтому снижается минимальное количество содержания в рабочей зоне.

Природный газ является по классу опасности: малоопасные вещества с значение предела допустимой концентрации 300 мг/м³ по ГОСТ 12.1.007-76. Предел концентрации для воспламенения составляет 10-15% объема воздушной среды. Температура вспышки составляет 645⁰С. Энергия необходимая для воспламенения составляет 0,15 мДж.

Газовый конденсат в газопроводах нестабилен. Упругость паров газоконденсата при определенной температуре напрямую зависит от давления в газопроводе. При выходе газоконденсата в первую очередь выходят вещества легких углеводородов, то есть происходит его стабилизация.

Газовый конденсат содержит Пропан, бутан, этан, пентан что и определяет высокую упругость его паров. Стабильный газовый конденсат содержит в большей основе пентан и цезий и всего лишь 3% низкокипящих углеводородов таких как пропан и бутан.

Нестабильный газовый конденсат при выделении в атмосферу понижает температуру воспламенения, соответственно повышает пожаро и взрывоопасность. Предел воспламеняемости газового конденсата значительно ниже, чем у природного газа, он напрямую зависит от плотности, чем выше плотность, тем ниже предел воспламенения.

					Социальная ответственность	Лист
						99
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

В безветренную погоду тяжелые пары углеводородов, выделяемые при испарении газоконденсата, оседают на земле и скапливаются по всей ближайшей местности. Рассеиваются они, очень медленно создавая скопления взрывоопасных веществ на большой территории с низким пределом вспышки равным около 1,2% по объему.

Пары газоконденсата содержащие непредельные углеводороды, относят к четвертому классу опасности для человека, это класс малоопасных веществ. Предельная концентрация в объемной доле кислорода их составляет 300мг/м³, ГОСТ 12.1.005-88. По своим свойствам газовый конденсат оказывает небольшое вредное воздействие на человека, может вызвать заболевания, такие как сухость кожи, экзема и т.д. наиболее опасно попадание на слизистую оболочку. При попадании на тело, необходимо его смывать теплой водой, при возможности с мылом. При разгерметизации газопровода резко понижается температура от выходящей струи и попадание газа от струи на конечности человека может вызвать обморожение.

Одорант - В качестве одорирующего вещества в основном используют меркаптаны в некоторых случаях могут применять этилмеркаптаны, плотностью 0,84 с температурой кипения 38 °С, концентрационный предел воспламеняемости паров 3-18% от объема. Одоранты относят ко второму классу опасности – высоко опасные вещества. Предельная допустимая концентрация в рабочей зоне 1 мг/м³ имеет температуру воспламенения 300 °С, плотность паров при нормальных условиях 2.75 кгс/м³.

Меркаптаны даже при малой концентрации вызывает резкую головную боль и тошноту. При большой концентрации действует на центральную нервную систему, приводит к судорогам, параличу и смерти. Действие меркаптанов примерно одинаковое с сероводородом. [28]

Очень низкий предел допустимой концентрации в воздухе для метилмеркаптанов, составляет 9×10^{-6} мг/м³ ГН 2.2.5.686-98. Меркаптан с взаимодействием металла (окисление металла) и щелочами взаимодействует

					Социальная ответственность	Лист
						100
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

с кислородом и самовоспламеняется, является пирофорным соединением. При одорировании газа, он не становится более токсичным.

Сероводород это бесцветный газ со специфическим запахом тухлых яиц. Плотность сероводорода 1,55, кислород по сравнению с ним имеет плотность 1.2. Температура воспламенения сероводорода 290 °С. В воде является слабой кислотой и хорошо растворяется. Цвет пламени при горении имеет синеватый оттенок. Предел воспламеняемости от 5 до 45% от объема, взрывоопасен. Сероводород является опасным нервнопаралитическим ядом, вызывающий смерть асфиксией легких. Раздражительно действует на слизистые оболочки. При попадании на кожу, растворенный в воде сероводород вызывает покраснение кожи, а в некоторых случаях даже экзему.

Нахождение людей в среде с содержанием 90 мг/м³ сероводорода более 2 часов вызывает головную боль, при долгом пребывании слезотечение и светобоязнь. При высокой концентрации около 250 мг/м³ вызывает жжение в глазах, металлический привкус во рту, сильную усталость, резкие головные боли и тошноту.[28]

Для коллективной защиты применяются вентиляционные установки, а для индивидуальной респираторы, марлевые повязки, противогазы (с фильтрующим элементом так и шланговые) и при работе в котловане костюмы Л-1.

3. Повреждения, полученные в результате контакта с насекомыми

В большинстве субъектах Российской Федерации обитают кровососущие насекомые, такие как комары, мошка, и особенно опасны клещи, каждый работник должен иметь средства индивидуальной защиты. Укус энцефалитного клеща особенно опасен для работников, поэтому данному вопросу следует уделять особое внимание. Основная необходимая мера это прививание работников от клещевого энцефалита для создания устойчивого иммунитета, так как энцефалит опасная болезнь, действующая

					Социальная ответственность	Лист
						101
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

непосредственно на центральную нервную систему. Так же необходимо обеспечивать всех работников энцефалитной спецовкой и самим работникам проводить периодический осмотр спецодежды. [31]

5. Недостаточная освещённость рабочей зоны

Для мест проведения работ необходимо общее равномерное освещение. При этом минимальная освещённость должна быть 2 люкса в независимости от применяемого источника света, исключение только автодороги. При грузоподъемных операциях освещённость мест проведения работ должна быть минимум 5 люкс, при ручной работе с грузоподъемными механизмами не менее 10 люкс. [30]

5.4 Экологическая безопасность при авариях на газопроводах

Существенное воздействие на окружающую среду при эксплуатации газопровода происходит в результате его разгерметизации. Разгерметизация трубопровода происходит в результате коррозионных процессов, механических повреждений и стихийных бедствий. [39]

Самый распространенный вид аварии на газопроводах это неуправляемые истечения газа в атмосферу, то есть в месте раскрытия трубопровода происходит неуправляемый выход газа под избыточным давлением. Природный газ в большом содержании состоит из метана выход его ведет относительно локальный характер, основное воздействие оказывает тепловой фактор от ударной волны. Существенное влияние от кратковременного выхода газа, не оказывается на окружающую среду. Природный газ способен рассеиваться и уходить в верхний слой атмосферы не оказывая токсического воздействия на живые организмы, но если брать в учет что будет возгорания выходящего газа, последствия будут серьезней.

					Социальная ответственность	Лист
						102
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Для того чтобы не допускать аварийных состояний проектной документацией прописывается следующие мероприятия:

- Все материалы и оборудования должны иметь сертификаты от завода изготовителя.
- Проектирование и строительство трубопроводов проводят специализированные организации.
- Проводить контроль сварных швов и испытание трубопровода.
- Проводить периодические осмотры, контрольные осмотры, ревизии, ГИ периодичностью, утверждённой главным инженером эксплуатирующей организации.

5.5 Мероприятия снижающие воздействие на окружающую среду при эксплуатации газопроводов.

Негативное воздействие на почвенный покров является:

- Изменение рельефа;
- Вырубка лесных массивов;
- Уничтожение растительности.

Для того чтобы минимизировать воздействия на почвенный и растительный покров в процессе строительства и эксплуатации газопроводов проектной документацией предусмотрены мероприятия по уменьшению воздействий на природные ресурсы.

- Строительство в первую очередь вдоль трассовых проездов и переездов;
- Проезд строительной техники разрешен только по специально сооруженным проездам в пределах зоны производства работ;
- Постоянная утилизация отходов, на месте производства работ;
- Исключительно использовать только исправные и взрывозащищенное оборудование;

					Социальная ответственность	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		103

- На все материалы должны иметься соответствующие сертификаты соответствия;
- Заправка техники и оборудования должна проводиться на специализированной площадке;
- Обязательное обвалование мест проведения работ.
- Все работы должны проводиться специалистами с соответствующей квалификацией;
- Рекультивация загрязненных земель.

Для уменьшения воздействия от выброса загрязняющих веществ в окружающую среду предусмотрено:

- Все материалы, использованные при строительстве должны иметь соответствующий сертификат качества;
- Запрещается разжигать костры и сжигать, какие либо отходы;
- Необходим периодический экологический контроль выбросов со стороны подрядчика от строительной техники;
- Все материалы для ремонта не должны выделять токсичные вещества в атмосферу;
- Необходим постоянный надзор за нарушениями природоохранного законодательства.

По проектной документации рекомендованы природоохранные мероприятия, от выбросов токсичных и канцерогенных веществ в зоне производства работ:[26]

Для того чтобы исключить все нежелательные последствия для окружающей среды предусмотрены мероприятия:

Исключить слив воды без преждевременного отстаивания, так как с этой водой могут поступить загрязненные вещества, попавшие из трубопровода. Они могут быть с частицами грунта и даже с незначительной

					Социальная ответственность	Лист
						104
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

коррозией металла. Верхний слой воды после отстаивания будет практически соответствовать ее химическому составу, а остальные вещества выпадут в осадок. [39]

Концентрация взвешенных веществ сливаемых после гидроиспытаний составляет около 650 г/м³, после отстаивания уменьшается в 10 раз и составляет не более 65 г/м³. После отстаивания воду сливают в низину, на водосборную площадь, но перед сбросом воды проводят анализ на содержание взвешенных веществ.

Для того чтобы исключить просачивания воды через грунт стенки и дно котлована покрывают полиэтиленовой пленкой, с дальнейшей ее утилизацией. После опорожнения котлована его следует засыпать свежим грунтом.

Разгрузка труб должна осуществляться на специально отведенные места, заранее подготовленные для временного хранения трубной продукции, не допускается хранение трубной продукции на земле, без защитных заглушек на концах предотвращающих попадание внутрь посторонних предметов, осадков и так далее. [26]

Всасывающий шланг насоса должен иметь сетчатый фильтр для исключения попадания кусков грунта и посторонних предметов вместе с водой.

После завершения работ по ГИ все прямки, временные амбары засыпать грунтом, после рекультивации земли.

Топливо на строительных площадках хранить запрещается. Заправка строительной техники производится на специально оборудованных площадках. Топливозаправщик находится на этих площадках 2-3 часа раз вдвое суток до полного окончания работ. Временная площадка должна быть выложена из бетонных плит и обвалована, для исключения растекания топлива. Так же должен быть оборудован уклон для стекания жидкости во

					Социальная ответственность	Лист
						105
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

временную емкость, после окончания всего производственного процесса временную емкость демонтируют.

5.6 Мероприятия для безопасной эксплуатации газопроводов для окружающей среды.

Транспортировка природного газа трубопроводным транспортом при правильном обслуживании газопроводов исключает выход природного газа в атмосферу, за исключением некоторых случаев связанных с природными катаклизмами и повреждения газопроводов извне.

Основные задачи для надежной эксплуатации газопроводов:

- Полный технологический надзор над качеством строительства и ремонта.
- Периодическое проведение внутри инспекционного контроля, для выявления поврежденных или подверженных коррозии участков.
- Своевременное и периодическое обследование пересечений газопроводов с различными коммуникациями.
- Своевременный плановый ремонт.
- Периодический обход, объезд, облет трассы трубопровода.
- Своевременное проведение контрольных осмотров, ревизии, ГИ, проверка глубины заложения.

Все оборудование, установленное на газопроводе, может стать причиной утечки, из-за нарушения герметичности. Регламентная работа не включает в себя какие либо не герметичности, а наоборот говорит о аварийной ситуации. Задвижки негерметичные по сальниковым уплотнениям или фланцевым соединениям запрещается эксплуатировать. Такие не герметичности обнаруживаются при плановых обходах трассы, при возможности устраняются, если же устранить не удастся, готовятся мероприятия на замену негерметичной задвижки или другой арматуры. [39]

					Социальная ответственность	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		106

5.7. Безопасность на магистральных газопроводах при ЧС.

Самым опасным в производственном процессе, а так же разрушительным из вида ЧС является возгорание или взрыв на территориях хранения нефти или газа (резервуарных парках) и т.д. Для предотвращения пожара необходимо исключить все источники зажигания в газоопасной зоне. Так же необходимы системы защиты от неконтролируемого выброса газа или другого продукта из трубопроводов или других сооружений. Необходимо проводить тренировочные мероприятия с рабочим персоналом по предупреждению аварий, а так же ликвидации и локализации аварий, или возгораний газовой смеси.

Чрезвычайная ситуация (ЧС) – это определенная ситуация складывающаяся в результате аварий либо природного явления, катастроф, стихийных бедствий которые влекут за собой непосредственно человеческие жертвы, или ущерб здоровью людей и ущерб природной среде, влекущие для предприятия огромными материальными затратами.

Авария на магистральном газопроводе может привести к ЧС , так как в результате разгерметизации происходит загрязнение окружающей среды и большая вероятность возгорания с последующим разрушением вблизи построенных сооружений, гибель людей и т.д.

ЧС возникающая на магистральном газопроводе, может привести к следующим событиям:

- Смертельные случаи,
- травмированные работники с потерей трудоспособности или групповой травматизм,
- Возгорание газовой смеси,
- Продолжительный выброс транспортируемого продукта

					Социальная ответственность	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		107

Основное решение по надежности магистрального газопровода является:

- Выбор труб и материалов при строительстве соловеющего качества и под соответствующие условия эксплуатации (климат, район строительства и т.д.);
- Контроль строительно-монтажных работ;
- Ежегодное проведение контрольных осмотров, плановых ремонтов и периодическое проведение ГИ, ревизий и т.д.
- На все материалы необходимы сертификаты качества и разрешение Ростехнадзора;
- Постоянный контроль давлений и других технических характеристиках на всех наружных технологических установках (КПП СОД, запорной арматуры, конденсатосборников и т.д.);

Для повышения надежности эксплуатации газопровода необходимо ежедневный плановый обход трассы трубопровода, охранных зон. Безопасная эксплуатация трубопровода достигается комплексом мероприятий, которые направлены на соблюдение регламента работ по обслуживанию трубопроводов, а так же работ по ликвидации и локализации аварий.

					Социальная ответственность	Лист
						108
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

5.8 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

В области охраны труда и безопасности жизнедеятельности трудовую деятельность регламентируют следующие правовые, нормативные акты, инструктивные акты в области охраны труда и отраслевые документы:

– Закон об основах охраны труда в РФ №181-ФЗ от 17.07.1999 г (с изменениями от 20 мая 2002 г., 10 января 2003 г., 9 мая, 26 декабря 2005 г.).

– Федеральный закон о промышленной безопасности опасных производственных объектов 116-ФЗ от 21.07.1997 г. с изменениями от 7.08.2000 г.

– Трудовой кодекс №197-ФЗ (с изм. и доп., вступ. в силу с 13.04.2014) – Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности ПБ 08- 624-03

– Инструкции по технике безопасности предприятия.

– Порядок разработки деклараций безопасности промышленного объекта РФ. МЧС, Госгортехнадзор №222/59 от 4.04.1996 г.

– ГОСТ 12.0001-82 ССБТ «Система стандартов безопасности труда»

– Санитарные нормы проектирования промышленных предприятий. СНиП .21/2.11.567-96 от 31.10.1996 г.

– Закон о пожарной безопасности №69-ФЗ, принят 21.12.1994 г (с дополнениями и изменениями от 22.08.1995 г, от 18.04.1996г, от 2.01.1998 г, от 11.2000 г. от 27.12.2000 г.).

– Пожарная охрана предприятий. Общие требования. НБТ - 201-96, утв. 01.03.1992г.

– Технический регламент о требованиях пожарной безопасности". ФЗ - №123 от 2008 года

					Социальная ответственность	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		109

6. «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Введение

Для непрерывной транспортировки газа следует уделять внимание целостности газопровода. Для этого необходимо выдержать качество строительства по нормативно техническим документам, правильно выбрать материал и оборудования при создании проекта и иметь квалифицированный персонал занимающийся как строительством, так и обслуживанием. При обслуживании газопровода проводить все необходимые мероприятия для поддержания работоспособного состояния газопровода.

Когда происходит нарушение целостности трубопровода (авария) причиняется ущерб экологии и приводит к материальным потерям за счет простоя газопровода на ликвидацию последствий аварии и уходят огромные затраты на ликвидацию самого инцидента. Затраты можно квалифицировать на заработную плату, амортизационные отчисления, социальные отчисления и затраты на привлечение подрядных организаций для ликвидации последствия отказа и другие.

В данном разделе будет рассмотрено коммерциализация проекта, составлен календарный план проекта и выполнен SWOT анализ проекта.

					<i>Математическое моделирование гильотинного разрыва газопровода под водой</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Ардт А.В.</i>			<i>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность, ресурсосбережение</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		<i>Цимбалюк А.Ф.</i>					110	144
<i>Консульт.</i>		<i>Макашева Ю.С.</i>				НИ ТПУ гр. 2БМ6А		
<i>Рук-ль ООП</i>		<i>Бурков П.В.</i>						

6.1 Готовность проекта к коммерциализации

Научный проект оценивается степенью готовности к коммерциализации и помогает выяснить уровень знаний для проведения проекта. [23] Для этого заполним таблицу показывающую степень проработки проекта со стороны коммерциализации и компетентности разработчика.

Таблица 1 Степень готовности данного проекта к коммерциализации

№ д/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1	Определен имеющийся научно-технический задел	3	3
2	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	5	5
3	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	4	3
4	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	3	3
5	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	3	3
6	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	2	4
7	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	2	2
8	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	2	2
9	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	2	3
10	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	4	3
11	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	2	2
12	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	2	3
13	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	2	3
14	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	2	2
15	Проработан механизм реализации научного проекта	4	4
16	ИТОГО БАЛЛОВ	43	44

Оценка готовности данного проекта к коммерциализации определяется:

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i \quad (1)$$

где $B_{\text{сум}}$ – суммарное количество баллов по каждому направлению;

B_i – балл по i -му показателю.

Значение $B_{\text{сум}}$ позволяет увидеть готовность научной работы и ее автора к коммерциализации. Степень проработки научной работы составило 43, это показывает среднюю перспективность, а знания разработчика достаточны для успешной ее коммерциализации. Уровень знаний у автора работы составляет 44 – перспективность выше среднего. [23]

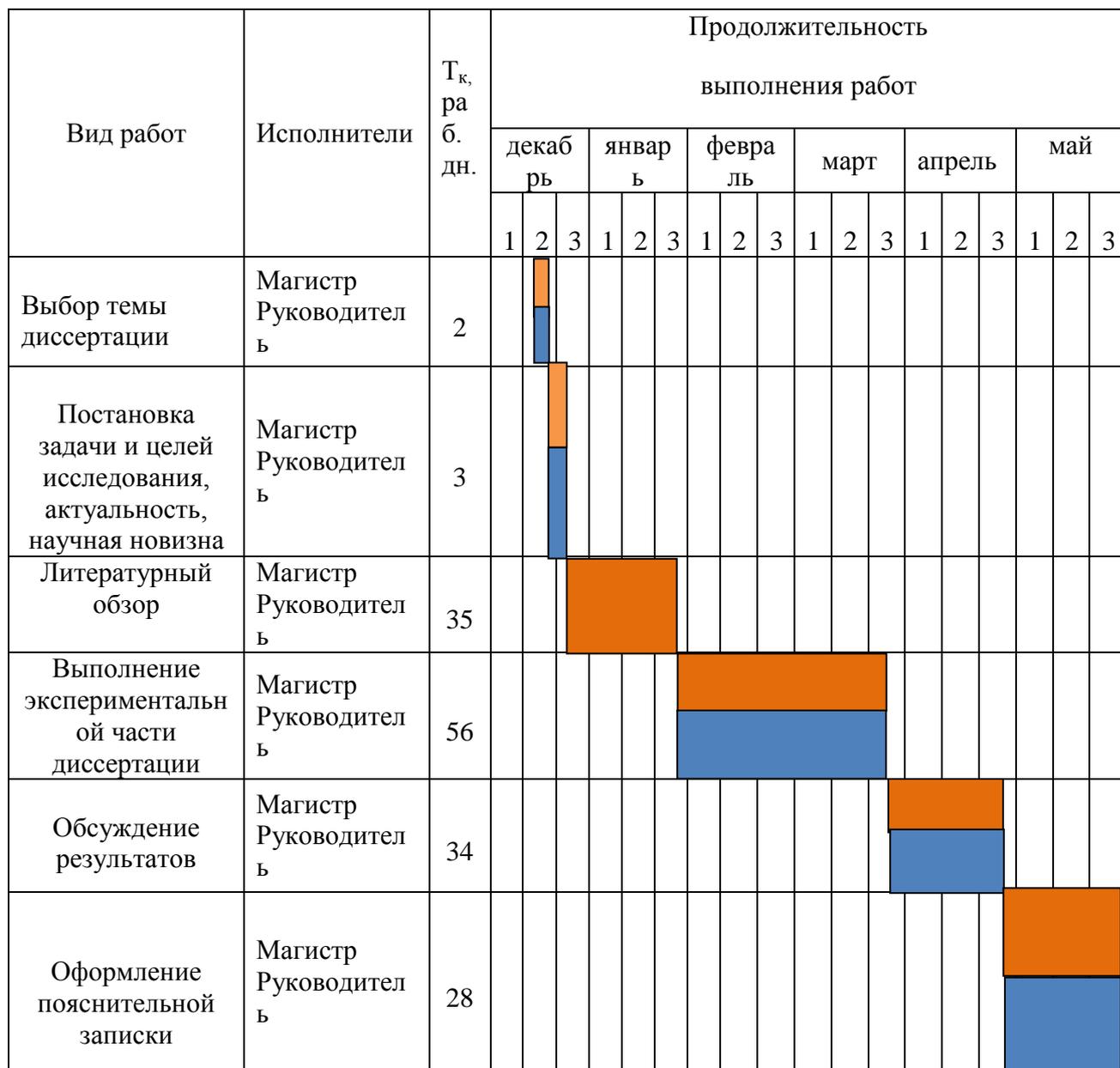
6.2 Календарный план проекта

При планировании проекта был построен календарный план и график проекта.

Таблица 2

Номер работы (из ИСР)	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников (ФИО ответственных исполнителей)
1	Введение	2	14.12.2017	16.12.17	Ардт А.В. Цимбалюк А.Ф.
2	Постановка задачи и целей исследования, актуальность, научная новизна	3	17.12.2017	20.12.17	Ардт А.В. Цимбалюк А.Ф.
3	Литературный обзор	35	21.12.2017	28.01.18	Ардт А.В..
4	Экспериментальная часть	56	29.01.2018	24.03.18	Ардт А.В. Цимбалюк А.Ф.
5	Результаты и обсуждения	34	25.03.2018	27.04.18	Ардт А.В. Цимбалюк А.Ф.
6	Оформление пояснительной записки	28	28.04.2018	25.05.18	Ардт А.В.
Итого:		158			

Для иллюстрации календарного плана работы построена диаграмма Ганта, на которой работа по каждому разделу выделяется участками по времени, обоснованными датами начала и окончания выполнения данных работ.



6.3 SWOT-анализ

SWOT - анализ это комплексный анализ научного проекта, который указывает сильные и слабые стороны работы.

Таблица 3 – Матрица SWOT

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Возможность анализа сложных систем	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл2. Нет некоторых данных для достоверности методики
Возможности: В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ	1. Продолжение научных исследований с целью усовершенствования имеющейся технологии	1. Поиск заинтересованных лиц 2. Разработка научного исследования
Угрозы: У3. Введение дополнительных государственных требований к сертификации продукции	1. Отсутствие спроса на новые технологии производства.-	1. Повышение квалификации кадров.

6.4 Материальные потери при проведении аварийно-восстановительных работ.

Затраты формируются по следующим элементам с экономической обоснованностью:

- материальные;
- оплата труда;
- социальные отчисления;
- амортизационные отчисления;
- прочие расходы.

Проведем подсчет затрат на потребность в топливе для выполнения работ и доставки работников и оборудования на место проведения работ, а так же для поиска места утечки:

- Камаз-503421 ед. – расход топлива (Дизель) 38 л/100км, пробег 500км;
- Самосвал «Камаз-65201» 1 ед. - расход топлива (Дизель) 38 л/100км, пробег 1000 км;
- Niva «Chevrolet» 1 ед. - расход топлива (Бензин АИ-92) 11 л/100км, пробег 1250 км.
- Автокран «Камаз-65115» расход топлива (Дизель) 36 л/100км, пробег 500 км
- УАЗ 432 3 ед. - расход топлива (Бензин АИ-92) 14 л/100км, пробег 1000 км
- Синегорец-75 на базе УРАЛ - расход топлива (Дизель) 40 л/100км, пробег 500 км
- Баржа трубоукладчик 400000 руб/час, время работы 24 часа, затраты **1200000** рублей.
- Вертолет МИ-8 70000 руб/час, время поиска утечки 5 часов, Затраты **350000** рублей.
- Мотор лодочный Yamaha – 30, время работы 10 часов, потребность 40 литров, затраты **1440** рублей.

					Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность, ресурсосбережение	Лист
						115
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Расчет затрат на топливо Таблица 4

Наименование, марка техники	Норма расхода, л/ч, л/100км		Потребность, л		Цена за единицу, руб.	Стоимость ГСМ, руб.
	АИ-92	Диз. топливо	АИ-92	Дизтопливо		
Самосвал «Камаз-65201»		38		380	38	14440
Niva «Chevrolet»	11		137		36	4932
Камаз-50342		38		190	38	7220
Автокран «Камаз-65115		36		180	38	3840
УАЗ 432	14		420		36	15120
Синегорец-75		40		200	38	7600
ИТОГО:						54592

6.5 Затраты на амортизационные отчисления

Таблица 5

Наименование объекта основных фондов	Кол-во	Время работы, час		Норма амортизации, час	Сумма амортизации.
		Одного объекта	Всего		
Самосвал «Камаз-65201»	1	48	48	74,80	3590,40
Камаз-50342	1	48	48	68,10	3268,80
Niva «Chevrolet»	1	48	48	4,42	212,16
Автокран «Камаз-65115	1	48	48	70,12	3365,76
Синегорец-75	1	48	48	94,6	4540,8
УАЗ 432, 3 ед.	3	48	144	4,65	669,6
ИТОГО:					15647,52

					Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность, ресурсосбережение	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		117

6.5 Затраты на материалы и оборудования

Расчет затрат на основные и дополнительные материалы (таблица 6)

Таблица 6

Наименование	Ед. изм.	Количество	Цена за единицу, рублей	Общая стоимость
Основные материалы:				
Труба стальная 1420x20 13ФХА с трехслойным полимерным покрытием	тн	7	35000	245000
Баллон для дайвинга стальной 15 л.	шт	6	35000	210000
Изоляционная манжета	шт	2	3000	6000
Общая стоимость основных материалов:				461000
Дополнительные материалы:				
Электроды УОНИ 13/55, 6мм	кг	15	750	2250
Круги Шлифовальные	шт	10	85	850
Общая стоимость дополнительных материалов				3100
Итого:				464100

6.6 Расчет затрат на оплаты труда рабочего персонала и специалистов

Заработная плата специалистов Таблица 7

Должность	Часовая ставка	Отработано часов	Премия 5%	Итого ЗП, руб.
Начальник участка	418,9	24	502,68	10534,68
Мастер	241,7	24	290,04	6090,84
Заместитель начальника участка	347,6	24	417,12	8759,52
Итого:			25385,04	

Расчет заработной платы рабочего персонала (таблица 8)

Таблица 8

Должность	Количество	Разряд	Часовая ставка, руб.	Отработано часов	Премия 5%	Заработная плата с учётом надбавок, руб.
Трубопроводчик линейный	4	5	96,7	24	116,04	2437,5
Трубопроводчик линейный	6	3	78,1	24	93,6	1968
Слесарь ремонтник	3	5	101,4	24	121,68	2555,28
Электрогазосварщик	2	6	112,7	24	135,24	2840,04
Водитель Л/А	4	-	59,1	24	70,92	1489,32
Водитель самосвала	1	-	74,1	24	88,92	1867,32
Водитель синегорца	1	-	81,7	24	98,04	2058,84
Водитель Камаз-50342	1	-	71,4	24	85,68	1799,28
Водитель автокрана	1	-	75,9	24	91,08	1912,68
ИТОГО:						18928,26

Выплаты внебюджетных страховых фондов 30%:

$$(25385,04 + 18928,26) * 30\% = 13294,098 \text{ руб.}$$

Амортизационные отчисления определяют из балансовой стоимости основного производственного фонда, активов не связанных с материальным имуществом и утверждённые в установленном порядке нормы амортизации, с учетом ускоренной амортизации.

В прочие расходы входят, затраты на возведение временной инфраструктуры, питание работников (сух паек), средства коллективной защиты и составляют 10% из фонда оплаты труда.

$$(25385,04+18928,26)*2\% = 886,2732\text{руб.}$$

Подведение итогов, расчет финансовых потерь на ликвидацию инцидент

Таблица 9

Наименование	Итого, руб.	Процентное соотношение, %
Оплата труда	44313,66	0,484
Социальное отчисление	13294,098	0,003
Стоимость материалов	464100	3,5
Амортизационное отчисление	15647,52	0,194
Затраты на эксплуатации и аренду техники	12404592	95,8
Прочие затраты	886,2732	0,019
Итого	12942833,55	100

Заключение

В данном разделе была проведена оценка на готовность научного проекта к коммерциализации, показывающая, в общем, среднюю перспективу по коммерциализации и знаний автора проекта. Был предоставлен календарный план разработки проекта совместно с научным руководителем. Проведен SWOT анализ проекта, рассмотренные сильные и слабые стороны разработки и возможные угрозы при коммерциализации. Далее рассчитаны затраты на аварийно-восстановительные работы по восстановлению целостности морского газопровода и восстановления рабочей способности, при расчете были учтены все затраты от поиска утечки из разрушенного газопровода до запуска его в работу. А именно, затраты на аренду и эксплуатацию аварийно-восстановительной техники, стоимость всех материалов, необходимых при работе, сумму амортизационных отчислений и заработную плату специалистов и рабочего персонала. Из расчетов можно сделать вывод, что основные затраты идут на технику и оборудования (95,8%), а общая сумма затрат составила **12942833,55 рублей.**

					Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность, ресурсосбережение	Лист
						122
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Список литературы

1. Осипова Л.А. Методы оценки риска эксплуатации магистральных газопроводов, технические науки, 2017, №2 (40).
2. Хабибуллин А.Н., Технология ремонта дефекта на подводных переходах магистральных газопроводов сваркой в кессоне с последующим усилением гидромуфтой, 2006, №11.
3. Буклушев Д.Ю. Определение характера дефектов путем исследования внутренней структуры элементов сварных соединений газопровода различными методами. Технические науки, 2016, №10
4. Касьянов А.И. Оценка работоспособности около шовных зон кольцевых сварных соединений магистральных трубопроводов: диссертация к.т.н. – Москва, 2012.
5. Лубенский С.А. Анализ основных причин разрушения магистральных газопроводов. Проблемы анализа риска, Том 8, 2011, №8.
6. Сагеева З.З. Анализ аварийных ситуаций на линейной части магистральных газопроводов. Технические науки 2017, №4-3(30).
7. И.М. Тетерин методика оценки потерь от чрезвычайных ситуаций на магистральных газопроводных сетях. Технология техносферной безопасности, 2008, №2 (18)
8. Овсяник А.И., Чурбанов О.И., Косоруков О.А. Методы решения оптимизационных задач защиты объекта от чрезвычайных ситуаций. - Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях, №3, 2002. -С. 88-91

					<i>Математическое моделирование гильотинного разрыва газопровода под водой</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Ардт А.В.</i>			Список литературы	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		<i>Цимбалюк А.Ф.</i>					123	144
<i>Консульт.</i>						НИ ТПУ гр. 2БМ6А		
<i>Рук-ль ООП</i>		<i>Бурков П.В.</i>						

9. Бородавкин П.П., Морские нефтегазовые сооружения. Часть 2. Технология строительства 2007. - 408 с.
10. Капустин К.Я., Камышев М.А. Строительство морских трубопроводов, Москва, Недра, 1982. – 209 с.
11. Лаврентьева А.Н., Разработка методики оценки технологических рисков на стадии строительства морских трубопроводов, диссертация к.т.н. – Москва, 2015.
12. Кедринский В.К. Гидродинамика взрыва. Эксперимент и модели Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000. – 435 с.
13. Лаврентьев Э.В., Кузьян О.И. Взрывы в море Ленинград: Изд-во Судостроение, 1977. – 156 с.
14. Расщупкин В.П., Корытов М.С., Дефекты металла. Учебное пособие: Изд-во СибАДИ, 2006. – 41 с.
15. Ведомственные нормы проектирования и строительства морского газопровода ВН 39 – 1.9-005-98
16. Голуб В.В., Баженова Т.В. Импульсные сверхзвуковые струйные течения. -М.: Наука, 2008. – 279с.
17. Черный Г.Г. Газовая динамика. М.: Наука, 1988. - 424с.
18. Авдудевский В.С., Ашратов Э.А., Иванов А.В., Пирумов У.Г. Сверхзвуковые неизобарические струи газа. М.: Машиностроение, 1995. - 248с.
19. Годунов С.К., Забродин А.В., Иванов М.Я., Крайко А.Н., Прокопов Г.П. Численное решение многомерных задач газовой динамики. М.: Наука, 1976. - 400с.
20. Поданев А.В., Поданева Т.В. Нестационарное истечение газа из полузамкнутой области //Инженерно - физический журнал. -1997. Т.70. №5, С.820-823.
21. Белов Н.С. Принципы анализа эксплуатационной безопасности и оценки степени риска. Сб. науч. тр. ВНИИГАЗа. -1994.- 71с.

					Список литературы	Лист
						124
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

22. Мухаметдинов Х.К. Почему газопроводы всплывают // Газовая промышленность. – 1999. – № 8. – С. 20–22.
23. Методические указания к выполнению курсовой работы по дисциплине «Основы менеджмента». Для студентов очной формы обучения ИГНД. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 39 с.
24. ГОСТ Р ИСО 26000-2012. Руководство по социальной ответственности. – М: Стандартинформ, 2014. – 23 с.
25. ГОСТ 12.0.003–74 (с измен. № 1, октябрь 1978 г., переиздание 1999 г.) ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
26. ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
27. ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования.
28. ГОСТ 12.1.005-88. ССБТ. Воздух рабочей зоны. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
29. ГОСТ 12.1.010-76. ССБТ. Взрывобезопасность. Общие требования.
30. ГОСТ 12.1.011-78 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
31. ГОСТ 12.4.011–89 ССБТ Средства защиты работающих. Общие требования и классификация.
32. ГОСТ 12.0.019–79 ССБТ Электробезопасность.
33. ГОСТ 12.1.003–83 Шум. Общие требования безопасности. – М.: Изд-во стандартов, 1976. – 6 с.
34. ГОСТ 12.1.005–88 Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 50 с
35. ГОСТ 12.1.019–79 Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. – М.: Изд-во стандартов, 1979. – 5 с.
36. ГОСТ 12.4.011-89 Средства защиты работающих. Общие требования и классификация. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 7 с.
37. ГОСТ 12.4.046-78 ССБТ. Методы и средства вибрационной защиты

					<i>Список литературы</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		125

- 38.ГОСТ Р ИСО 26000-2012. Руководство по социальной ответственности.
- 39.ГОСТ 12.2.007-03 Система стандартов безопасности труда. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности.
- 40.Правила противопожарного режима в Российской Федерации (в редакции от 06.04.2016 г.).
- 41.[Elektronische Ressource]. URL:<http://www.ence-pumps.ru>, Hydraulische Berechnung der Rohrleitungen. Zugriffsmodus: Die Berechnung des Durchmessers der Rohrleitung. (Behandlungsdatum 10.03.2018)
- 42.H. Kaesche: Die Korrosion der Metalle, Heidelberg: Springer, 1966, 563 s.
- 43.W.V. Baeckmann: Handbuch des kathodischen Korrosionsschutzes, 4. völlig neubearbeitete Auflage, Duisburg: Wiley-VCH, 1999 , 563 S.
- 44.K.-J. Vetter: Elektrochemische Kinetik, Berlin: Springer, 1961, 153 S.
- 45.K.-J. Vetter: Elektrochemische Kinetik, Berlin: Springer, 1961, 153 S.

					Список литературы	Лист
						126
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Приложение 1

Mathematische modelierung der Guillotine-Lücke der Gasleitung durch Wasser

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ6А	Ардт А.В.		

Руководитель ВКР _____

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Цимбалюк А.Ф.	к.ф-м.н		

Консультант-лингвист Отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель	Щеголихина Ю.В.	к.ф.н.		

Allgemeine Beschreibung der Rohrleitungen

Rohrleitungen dienen dem Transport von strömenden Medien wie Flüssigkeiten, Gase, Dämpfe, auch von gekörnten oder pulverisierten Feststoffen in einem Flüssigkeits- oder Gasstrom. Es besteht ein integrierter Güterfluss, d. h. Transportgefäß, Transportfahrzeug und Transportweg bilden eine Einheit, nämlich die Rohrleitung. Damit wird die Transportleistung auf das technisch-wirtschaftliche Minimum beschränkt. Nur das Transportgut wird befördert.

Nachdem über viele Jahrzehnte hinweg für Fernwasserversorgungen und Wasserverteilungsnetze, dasselbe für die Gasversorgung und Abwasserentsorgung, ebenso für den Transport von Rohöl und chemischen Produkten in Fernleitungssystemen und Teilnetzen bevorzugt eingerdete Rohrleitungen verwendet worden sind, rücken Analysen der Zustandsbewertung, der Schadensrisiken und des Erhaltungsaufwandes in den Vordergrund. Ein derartiger Handlungsbedarf ergibt sich aus einer ganzen Reihe von Schadensursachen. Vorrangig sind es die Abnutzungen, Alterungsprozesse der eingesetzten Werkstoffe, Korrosionseinwirkungen, erhöhte Belastungen durch wachsenden Schwerverkehr, schließlich zu veränderten Rohrlagerungen führende Baumaßnahmen und Bodenumlagerungen. Beeinträchtigungen der Transportvorgänge können durch Verschmutzungen aus dem Fördergut und durch einhergehende Druckverluste entstehen. Zu einer Zustandsbeschreibung eines Leitungsstranges zählen überdies die Schadenshäufigkeiten und noch aussagekräftiger die Schadensraten.

Die Rohre, die diverse Apparate der chemischen Anlagen untereinander verbinden. Dank dieser Rohre erfolgt die Übergabe der Stoffe zwischen den einzelnen Apparaten. Als Regel, sind es einzelne separate Rohre, die mittels Verbindungen ein einheitliches Rohrleitungssystem bilden.

Die Rohrleitung ist ein System der Rohre, die mittels Verbindungselemente verbunden sind, die für die Beförderung der chemischen Stoffe und anderer Materialien eingesetzt werden. Bei den chemischen Anlagen werden zur Beförderung der Stoffe, als Regel, geschlossene Rohrleitungen eingesetzt. Wenn

die Rede von den geschlossenen und isolierten Anlagenteilen geht, gehören sie auch zu dem Leitungssystem oder -netz.

Zu einem geschlossenen Leitungssystem gehören:

- Rohre.
- Rohrverbindungselemente.
- Dichtungen, die zwei Rohrleitungsteile verbinden.

Alle oben aufgezählten Elemente werden separat gefertigt, danach in ein einheitliches Leitungssystem verbunden. Außerdem können die Rohrleitungen beheizt und erforderlicher Weise isoliert werden. Die Isolation kann aus unterschiedlichen Materialien hergestellt sein.

Die Auswahl der Rohrgröße und der Fertigungsmaterialien erfolgt aufgrund der technologischen und konstruktiven Forderungen, die in jedem Fall separat gestellt werden. Um die Rohrgrößen zu standardisieren, wurden die Rohre klassifiziert und vereinheitlicht. Als Hauptkriterium gilt der zulässige Druck, bei dem der Einsatz des Rohres möglich ist.[1]

Nennweite DN

Die Nennweite DN (der Nenndurchmesser) ist eine Größe, die als kennzeichnendes Merkmal im Rohrleitungssystem eingesetzt wird, mit dem die Rohrleitungsteile angepasst werden, wie Rohre, Armatur, Verbindungsteile usw.

Der Nenndurchmesser ist eine dimensionslose Größe, ist ungefähr dem inneren Rohrdurchmesser gleich.

Die Nennweite wird in den Zeichnungen nicht angegeben und ersetzt die tatsächlichen Rohrdurchmesser nicht. Sie entspricht ungefähr der Lichtweite der bestimmten Rohrleitungsteile. Wenn wir über die Zahlenwerte der Nennweiten sprechen werden, sind sie so ausgewählt, dass die Flusskapazität der Rohrleitung beim Übergang von einer Nennweite zu der anderen von 60 bis 100% erhöht wird.

Die Materialien für die Rohrleitungen[1]

Bei der Auswahl der Materialien für die Fertigung der Rohrleitungen werden solche Werte berücksichtigt, wie die Daten der Medien, die durch die Rohrleitung

gepumpt werden, und der für dieses System gedachte Betriebsdruck. Es lohnt sich auch die metallangreifende Wirkung der Pumpflüssigkeit für die Rohrwände zu berücksichtigen.[1]

Praktisch alle Rohrleitungssysteme und alle chemischen Anlagen werden aus dem Stahl gefertigt. Für die allgemeine Anwendung, wenn es keine großen mechanischen Belastungen und keine metallangreifenden Wirkungen gibt, wird für die Fertigung der Rohrleitungen der Grauguss oder der nicht legierte Konstruktionsstahl eingesetzt.

Im Falle des erhöhten Betriebsdrucks ohne Belastungen mit einer metallangreifenden Wirkung wird die Rohrleitung aus dem vergüteten Stahl oder dem Stahlguss verwendet.

Wenn die metallangreifende Wirkung des Mediums zu groß ist oder an die Reinheit des Produktes hohe Forderungen gestellt werden, dann wird die Rohrleitung aus dem Edelstahl gefertigt.

Wenn die Rohrleitung in Bezug auf Seewasser beständig sein soll, dann wird diese Rohrleitung aus den Cu-Ni-Legierungen gefertigt. Die Alu-Legierungen und solche Metalle wie das Tantal und das Zirkonium können auch benutzt werden.

Immer mehr werden als Fertigungsmaterialien für die Rohrleitungen diverse Kunststoffarten genommen, weil sie korrosionsbeständig, leicht vom Gewicht her und nicht schwer zu bearbeiten sind. Solches Material passt für die Abwasserleitungen.

Um die einzelnen Leitungselemente und Verbindungsteile zu montieren, werden spezielle Verbindungselemente eingesetzt. Sie werden auch zum Anschluss von erforderlichen Armaturen und Apparaten benutzt.[1]

Leitungsteile

Die Rohrleitungen aus den plastischen schweißbaren Materialien werden auf dem Montageplatz zusammengebaut. Zu solchen Materialien gehören Stahl, Alu, thermoplastische Materialien, Kupfer usw. Um gerade Rohrteile miteinander zu verbinden, gibt es spezielle Leitungselemente, wie die Rohrbögen, Abzweige, Schieber und Reduzierungen (Bild 2). Diese Verbindungselemente können ein Teil jeder Rohrleitung sein.

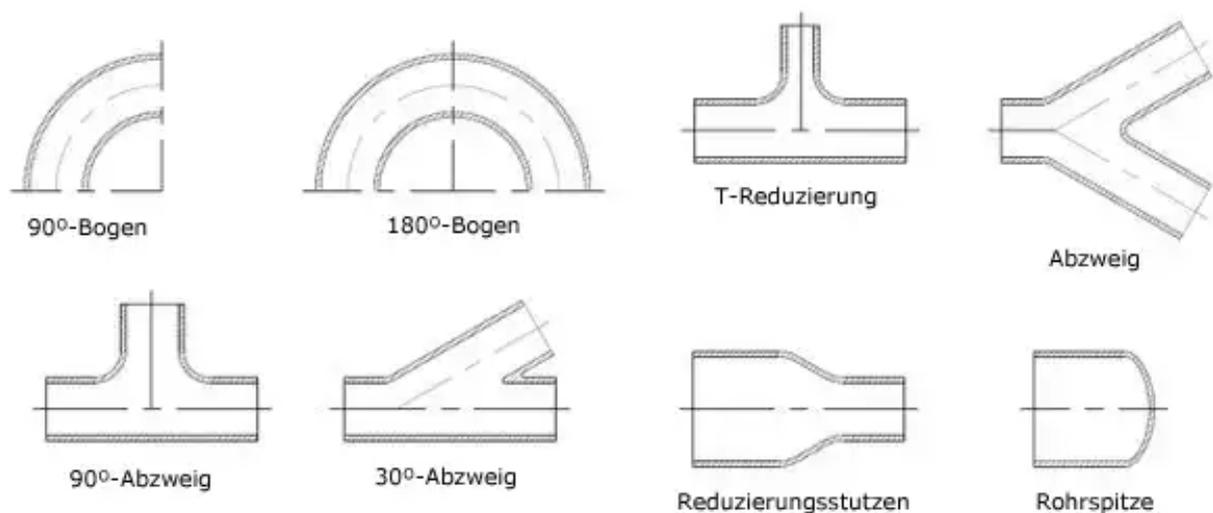


Bild 1 Leitungsteile

Die Verbindungselemente werden ausgewählt (Bild 1), abhängig von:

- den Materialien, die für die Fertigung der Rohre und der Leitungsteile eingesetzt werden. Das Hauptkriterium dafür ist die Schweißbarkeit;
- den Betriebsbedingungen: dem Nieder- oder Hochdruck, der Nieder- oder Hochtemperatur;
- den Produktionsforderungen, die an das Leitungssystem gestellt werden;
- den lösbaren und nicht lösbaren Verbindungselementen in dem Leitungssystem.

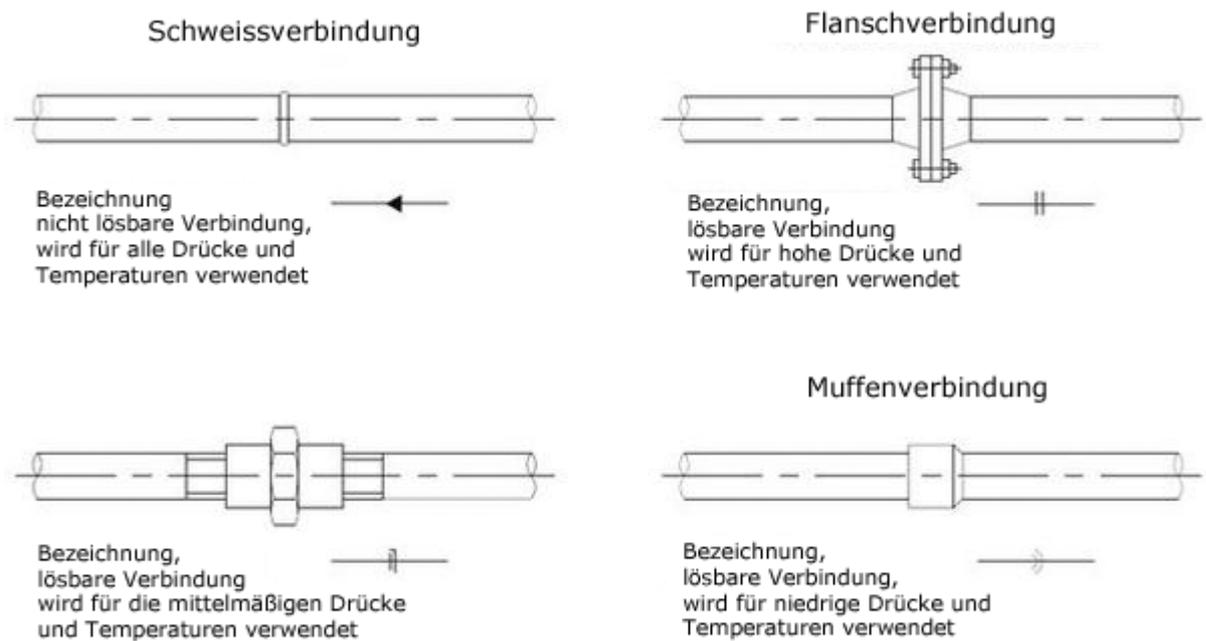


Bild 2 Type der Verbindungselemente der Rohrleitungen

Wenn in der Rohrleitung das Medium mit hoher Temperatur transportiert wird, soll die Leitung isoliert werden, damit die Wärme nicht verlorengeht. Wenn in der Rohrleitung das Medium mit niedriger Temperatur transportiert wird, wird die Isolation zur Vermeidung der Aufwärmung des Mediums durch die Außenumgebung verwendet. In solchen Fällen werden die speziellen Isolierstoffe verwendet, die rund um das Rohr angebracht wird.

Lineare Rohrdehnung und deren Beseitigung

Geometrische Form der Gegenstände kann sowohl durch eine Kraftwirkung, als auch durch eine Temperaturänderung verändert werden. Diese physikalischen Erscheinungen führen dazu, dass die ohne Belastung und ohne Temperatureinflüsse montierte Rohrleitung später im Betrieb bei dem Druck und der Temperatur einer bestimmten linearen Dehnung oder Komprimierung unterworfen wird, die die Betriebsqualität der Rohrleitung negativ beeinflussen.

Wenn die Dehnung nicht zu beseitigen ist, kann das Rohrleitungssystem verformt werden. Dabei können die Flanschdichtungen und die Verbindungen der Rohre beschädigt werden. [41]

Lineare Wärmedehnung

Bei dem Zusammenbau der Rohrleitungen ist es wichtig, die mögliche Längenänderung infolge der Temperaturänderung oder der so genannten linearen Wärmedehnung ΔL zu berücksichtigen. Dieser Wert ist von der Rohrlänge L_0 und der Temperaturdifferenz $\Delta\vartheta = \vartheta_2 - \vartheta_1$ abhängig (Bild 1.5).

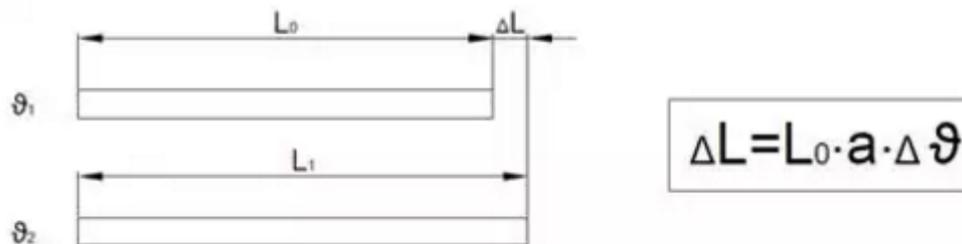


Bild 3. Lineare Wärmedehnung des Rohres

In der oben aufgeführten Formel ist „a“ der Faktor der linearen Wärmedehnung dieses Materials. Dieser Wert ist dem Wert der linearen Wärmedehnung des 1 m- langen Rohres bei der Temperaturerhöhung um 1°C gleich. [41]

Rohrausdehnungskompensationselemente

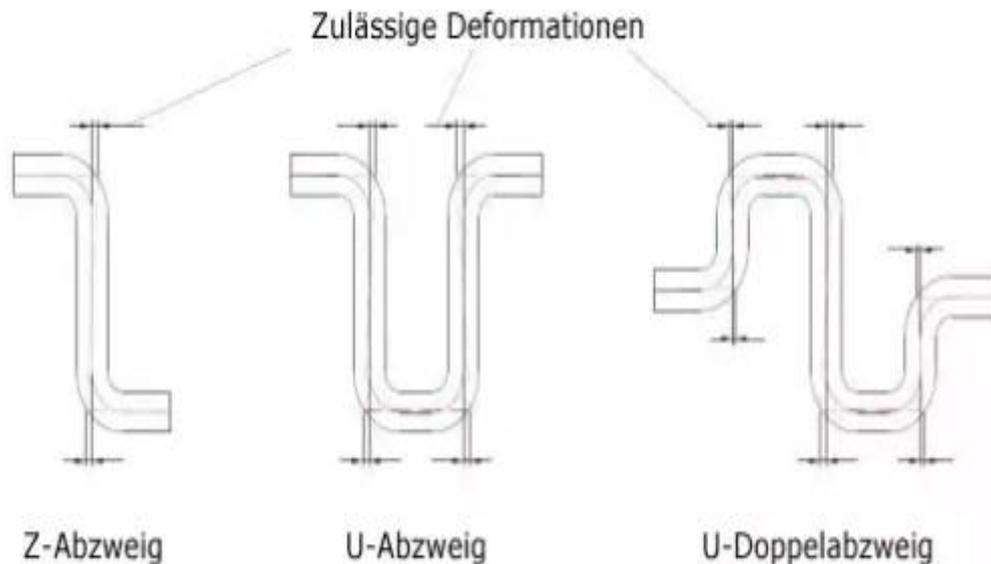


Bild 4. Rohrausgleichsabzweige

Dank den speziellen Rohrabzweigen, die in die Rohrleitung eingeschweißt werden, kann die natürliche lineare Rohrdehnung ausgeglichen werden. Dazu werden die U-, Z- und die winkelförmigen Ausgleichsabzweige und auch die Lyra-Ausgleicher eingesetzt (Bild 4).

Dank eigener Verformung nehmen sie die lineare Rohrdehnung auf. Dies ist leider nur mit manchen Begrenzungen möglich. Für die Hochdruckleitungen werden zum Ausgleich die Rohrbögen mit unterschiedlichen Winkeln benutzt. Wegen des in solchen Bögen herrschenden Drucks kann die Korrosionsgefahr erhöht werden. [41]

Wellrohrdehnungsausgleicher

Diese Einrichtung ist aus dem Metallwellenrohr mit dünner Wand gefertigt, die als Faltenbalg bezeichnet wird und in der Leitungsrichtung ausgedehnt werden kann (Bild 5).

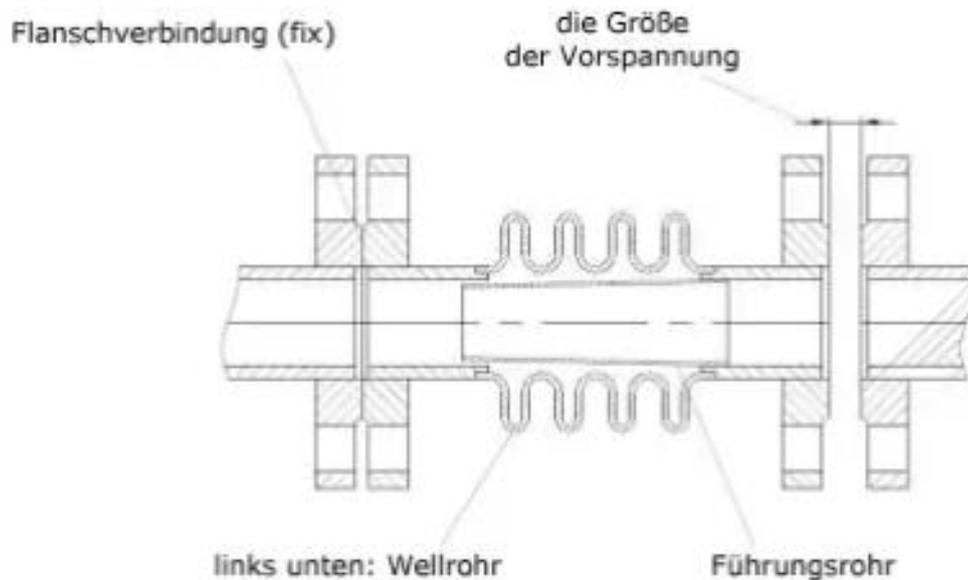


Bild 5. Rohrausgleichsabzweige

Diese Einrichtung wird in die Rohrleitung eingebaut. Die Vorspannung wird als spezieller Dehnungsausgleicher eingesetzt.

Wenn wir von den Axialausgleichern sprechen werden, muss man sagen, dass sie nur die linearen Dehnungen ausgleichen können, die längs der Rohrachse entstehen. Um den Seitenversatz und die Innenverschmutzung zu vermeiden, wird ein Innenführungsring eingesetzt. Um die Rohrleitung gegen äußerliche Einwirkungen zu schützen, wird als Regel eine spezielle Beschichtung eingesetzt. Die Ausgleicher ohne Innenführungsringe nehmen den Seitenversatz und die Pumpenvibrationen auf. [42]

Als Isolierstoffe werden, als Regel, verwendet:

- bei den niedrigen Temperaturen bis 100°C werden feste Schaumstoffe, wie das Polystyren oder PU verwendet.
- bei den mittelmäßigen Temperaturen ca. 600°C werden die Rohrverkleidungen oder Mineralstoffe eingesetzt, z.B., die Stein- oder Glaswolle.
- bei den höheren Temperaturen im Bereich von 1200°C nimmt man keramische Faser, wie die Tonerdefaser.

Die Rohre mit der Nennweite unter DN 80 und der Isolierschicht unter 50 mm werden, als Regel, mit den Leitungsteilen isoliert. Rund um das Rohr werden zwei Verkleidungen aufgelegt und mit einem Metallband befestigt. Danach wird ein Blechgehäuse aufgezogen (Bild 6).

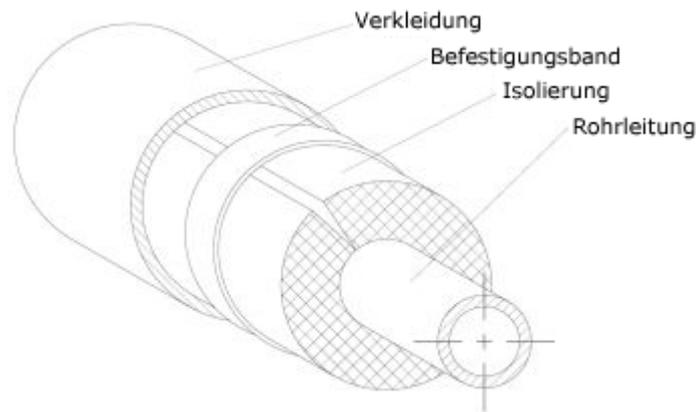


Bild 6. Wärmeisolierung mit den Formteilen

Die Rohre mit der Nennweite über DN 80 sollen mit einem Unterbau (Gerippe) versehen werden (Bild 7). Dieses Gerippe besteht aus den Spannringen, Zwischenstücken, der aus dem weichen Stahl oder dem Blechedelstahl gefertigten Stahlverkleidung. Der Raum zwischen der Rohrleitung und dem Blechgehäuse wird mit dem Isolierstoff eingefüllt.

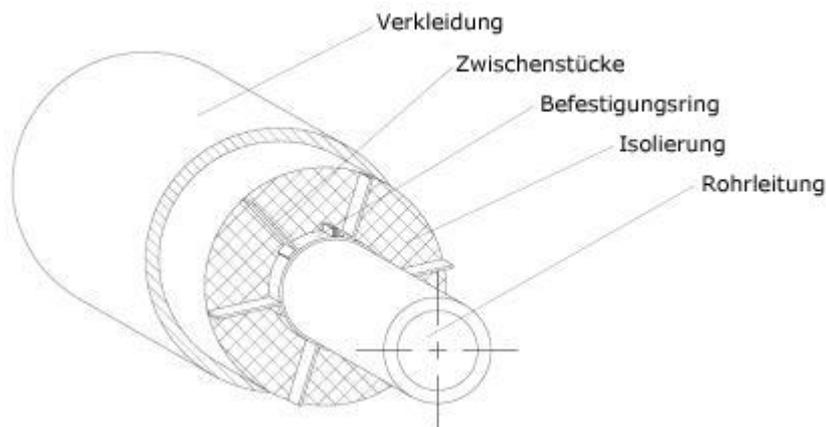


Bild 7 Wärmeisolierung mit dem Unterbau

Die Dicke der Isolationsschicht wird durch die Ermittlung der Kosten für ihre Fertigung, durch die Wärmeverluste berechnet und beträgt von 50 bis 250 mm.

Die Wärmeisolierung soll über die ganze Länge der Rohrleitung aufgetragen werden, einschließlich der Bereiche der Abzweige und der Rohrbögen. Sehr wichtig ist es zu achten, dass es keine ungeschützten Bereiche entstehen, die zu den Wärmeverlusten führen können. Die Flanschverbindungen und die Armatur sind mit den Isolierformelementen zu versehen (Bild 9). Das gewährleistet einen freien Zugang zu der Verbindungsstelle, ohne die Isolierschicht über die ganze Länge der Rohrleitung abzunehmen, wenn die Dichtigkeit verletzt wird. [2]

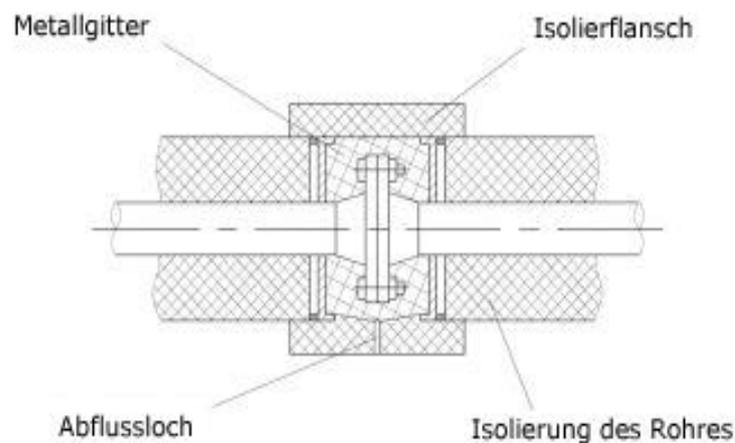


Bild 8 Wärmeisolierung der Flanschverbindung

Wenn die Rohrisolation richtig ausgeführt worden ist, werden zahlreiche Aufgaben gelöst, wie:

- keine großen Temperaturabfälle in dem Durchflussmedium und als Folge, die Energiesparung.
- die Temperaturabfälle in den Gasleitungen unter dem Taupunkt sind vermieden. Als Folge, keine Kondensatbildung, die zur Korrosion führen kann.
- in den Dampfleitungen keine Kondensatbildung.

Druckabfall in den Rohrleitungssystemen und Berechnung des Hydraulikwiderstands der Rohrleitung

Die Rohrleitung wird berechnet, um den für die Bekämpfung des entstandenen hydraulischen Widerstands benötigten Druck zu bestimmen. Dies ist erforderlich, um eine richtige Anlage für die Pumpflüssigkeit oder das Gasmedium auszuwählen. [2]

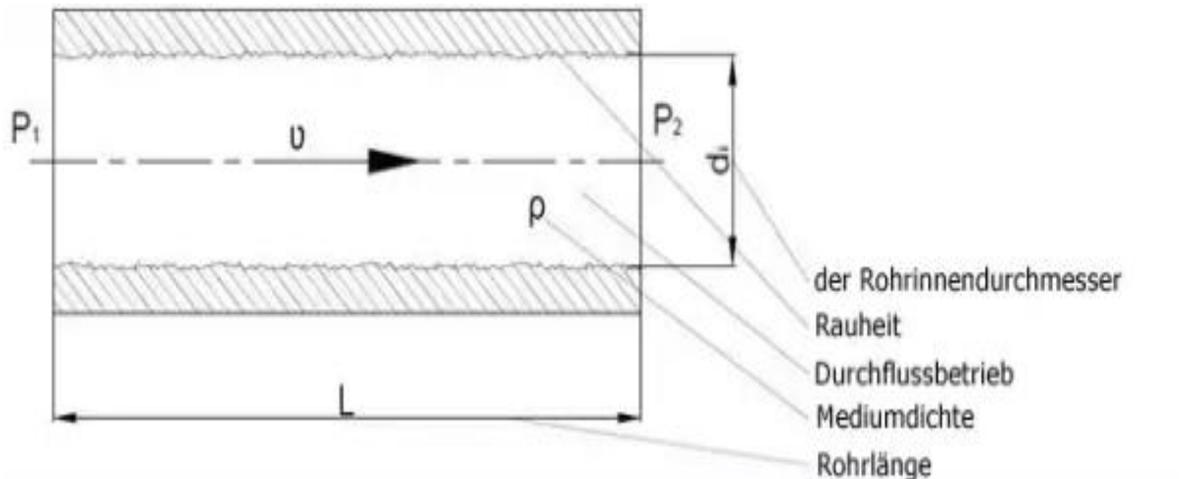


Bild 9 Die Faktoren, die den Druckabfall in der Rohrleitung bestimmen

Der Druckabfall kann nach folgender Formel ermittelt werden:

$$\Delta P = \lambda * \left(\frac{1}{D_1} \right) * \frac{\rho}{2} * v^2$$

ΔP – die Druckdifferenz in der Rohrstrecke, Pa

l – die Länge der Rohrstrecke, m

λ – der Reibungskoeffizient

$d1$ – der Rohrdurchmesser, m

ρ – die Dichte des Pumpmediums, kg/m³

v – Stromgeschwindigkeit, m/sek.

Der Hydraulikwiderstand kann infolge der diversen Faktoren entstehen. Es gibt zwei Hauptgruppen: Reibungs- und Lokalwiderstand.

Der Hydraulikwiderstand kann infolge der diversen Faktoren entstehen. Es gibt zwei Hauptgruppen: Reibungs- und Lokalwiderstand.

Der Reibungswiderstand entsteht durch die Unebenheiten und Rauigkeiten auf der Oberfläche der Rohrleitung, die mit dem Pumpmedium kontaktiert. Beim Fluss der Flüssigkeit entsteht zwischen der Flüssigkeit und der Rohrwand die Reibung, die den Bremseffekt hervorruft und die Energie zur Bekämpfung fordert. Der entstehende Widerstand hängt von dem Fluss des Pumpmediums ab.

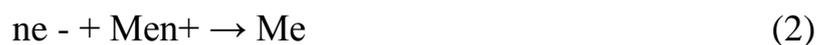
Bei der laminaren Strömung und der entsprechend niedrigen Reynoldsschen Zahl (Re), gekennzeichnet durch die Gleichmäßigkeit und die fehlende Vermischung der Nebenströme der Flüssigkeit und des Gases, ist der Einfluss der Rauigkeit nicht groß. Das ist damit verbunden, dass die am Rand liegende zähe Unterschicht des Pumpmediums oft dicker ist, als die Schicht, die durch die Unebenheiten und Absätze auf der Oberfläche der Rohrleitung entsteht. Bei solchen Bedingungen ist die Rohrleitung hydraulisch glatt.

Bei der Erhöhung der Reynoldsschen Zahl (Re) wird die Dicke der am Rand liegenden zähen Unterschicht reduziert, infolgedessen kann die Unterschicht die Unebenheiten nicht mehr überdecken, der Einfluss der Rauigkeit auf den Hydraulikwiderstand wird größer und wird sowohl von der Reynoldsschen Zahl, als auch von der mittelmäßigen Höhe der Absätze auf der Oberfläche der Rohrleitung abhängig.

Weitere Erhöhung der Reynoldsschen Zahl überführt das Pumpmedium in die verwirbelte Strömung, bei der die zähe Unterschicht komplett zerstört wird, und die erzeugte Reibung hängt von dem Rauheitswert ab. [42]

Korrosion von erdverlegten Rohrleitungen

Korrosion an Metallen kann verstanden werden, als ein Prozess, welcher Beschädigungen der Metalloberfläche durch chemische Reaktionen mit Bestandteilen aus dem umgebenden Medium bewirken kann [2]. Zum besseren Verständnis der chemischen Korrosionsvorgänge werden zunächst einige Grundlagen der elektrochemischen Kinetik erläutert. Wird eine Metallelektrode (Me) in eine elektrisch leitende Lösung (Elektrolyt) gebracht, die bereits eine bestimmte Konzentration $C_{Me^{n+}}$ von Me^{n+} -Ionen enthält, so finden folgende chemischen Teilreaktionen statt:



Die erste Teilreaktion (1) entspricht einer Abgabe von Metallionen an die Elektrolytlösung und damit Auflösung der Metallelektrode an dieser Stelle. Beim zweiten Teil (2) verbinden sich die unter (1) entstandenen freien Elektronen mit positiven Ionen aus der Lösung und scheiden als Metallatome an der Elektrode wieder ab. Beide Prozesse laufen unterschiedlich stark ab, bis sich zwischen der Oberfläche der Metallelektrode und dem Elektrolyt (Phasengrenze Metall-Elektrolyt) ein elektrisches Potential ausbildet und sich damit ein Gleichgewicht zwischen den Teilreaktionen einstellt. Für jedes Metall-Elektrolyt-Paar, auch Halbzelle genannt, kann mit Hilfe der sog. ernst-Gleichung das zugehörige Gleichgewichtspotential (Ruhepotential) nach folgender Formel berechnet werden. Hierbei ist $C_{Me^{n+}}$ die zuvor genannte Konzentration der Metallionen im Elektrolyt, gemessen in mol/l. ist das für das verwendete Metall charakteristische Standardpotential, welches sich bei einer festgelegten Ionenkonzentration von 1 mol/l einstellt. R ist die universelle Gaskonstante und ist die Größe der absoluten Temperatur in Kelvin (298K). Die Anzahl der pro Reaktionsschritt ausgetauschten Elektronen wird durch n angegeben. ist die Faraday-Konstante (96485 C mol^{-1}) [2]. Das Ruhepotential setzt sich aus einem konstanten Teil und einem

veränderlichem, von der Temperatur, der Anzahl ausgetauschter Elektronen n und der Konzentration positiver Metallionen $C_{Me^{n+}}$ abhängigem Teil zusammen. Werte für E sind in der Fachliteratur in speziellen Tabellen für unterschiedliche Metallarten aufgelistet [44]. Änderungen die durch den variablen Teil der Nernstgleichung entstehen, können in der Praxis durch das Messen des Ruhepotentials festgestellt werden. Dabei ist zu beachten, dass alle Literaturwerte für das Ruhepotential sich auf eine Wasserstoffelektrode beziehen. Bei praktischen Messungen wird in der Regel eine robuste Bezugselektrode eingesetzt, die ein relativ konstantes eigenes Ruhepotential besitzt. Unter Laborbedingungen hat sich eine sog. Kalomelelektrode bewährt. Das Funktionsprinzip dieser Elektrode basiert darauf, dass unabhängig vom Elektrolytmedium der zu messenden Halbzelle, eine eigene Halbzelle aufgebaut wird, welche eine relativ konstante, bekannte Metallionenkonzentration besitzt. Die Elektrode dieser Halbzelle besteht aus Quecksilber, welches von festem Hg_2Cl_2 (Kalomel) umgeben ist. Als Elektrolytlösung fungiert in der Regel eine mit Hg_2Cl_2 gesättigte KCl -Lösung. Der Ionenaustausch zwischen den Halbzellen findet durch ein Diaphragma statt [45].

Bild 10 veranschaulicht diese Angaben am Beispiel eines unterirdisch verlegten Rohres. Grundsätzlich besteht ein solches Rohr aus elektrisch gut leitendem Metall welches gegen den Erdboden hin isoliert ist. Die Eigenschaften von Rohren, Umhüllungen und Erdböden werden im nächsten Kapitel näher erläutert. In diesem Fall sei angenommen, dass das Rohr an zwei Stellen Defekte in der Umhüllung besitzt und dort somit jeweils eine Phasengrenze Metall-Erdboden besteht. Aufgrund der Abmessungen des Rohres können an der jeweiligen Phasengrenze unterschiedliche Umgebungsbedingungen vorliegen. So kommt es vor, dass an einer Elektrode ein zusätzliches chemisches Element wie z.B. Sauerstoff angrenzen kann. Es entsteht eine so genannte Mischelektrode, die zur Ausbildung verschiedener Ruhepotentiale führen kann. Angenommen dies sei hier der Fall, dann entsteht unten links in der Bild 10 eine Phasengrenze mit einem

Ruhepotential von und oben rechts eine mit . Es bilden sich also zwei Halbzellen aus, die unterschiedliche Ruhepotentiale besitzen.

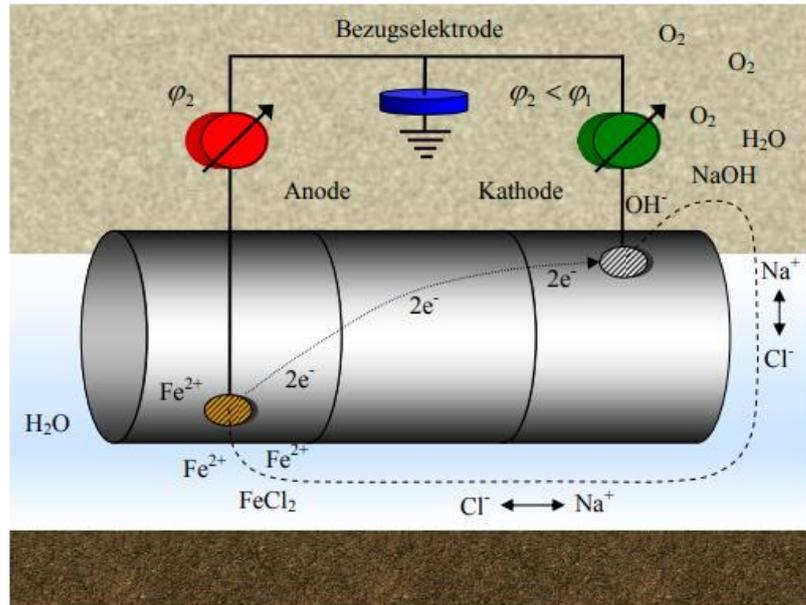


Bild 10: Korrosion an einem unterirdisch verlegten Rohr.

Passiver Korrosionsschutz

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich insbesondere mit erdverlegten Rohrleitungen für den Gastransport. Diese Leitungen müssen hohen inneren Gasdrücken standhalten und werden daher aus Stahl gefertigt. Die Wandstärke wird dabei in Abhängigkeit vom späteren Betriebsdruck in der Größenordnung zwischen 3 und 30 mm hergestellt [44]. Wie im vorangegangenen Kapitel gezeigt worden ist, kann Stahl unter bestimmten Umständen korrodieren, d.h. die Wanddicke nimmt ab, so dass seine Belastungsgrenzen erreicht werden und dadurch eine Gefahr für die Umwelt entstehen könnte. Zur Minimierung von Korrosionseinflüssen werden Stahlrohre daher werkseitig mit einer schützenden Umhüllungsschicht versehen. Bild 11 zeigt den Aufbau einer solchen Schutzschicht, die als sog. passiver Korrosionsschutz dient, d.h. einen elektrisch leitenden Kontakt des Stahlrohrs mit dem umgebenden Erdboden verhindert.

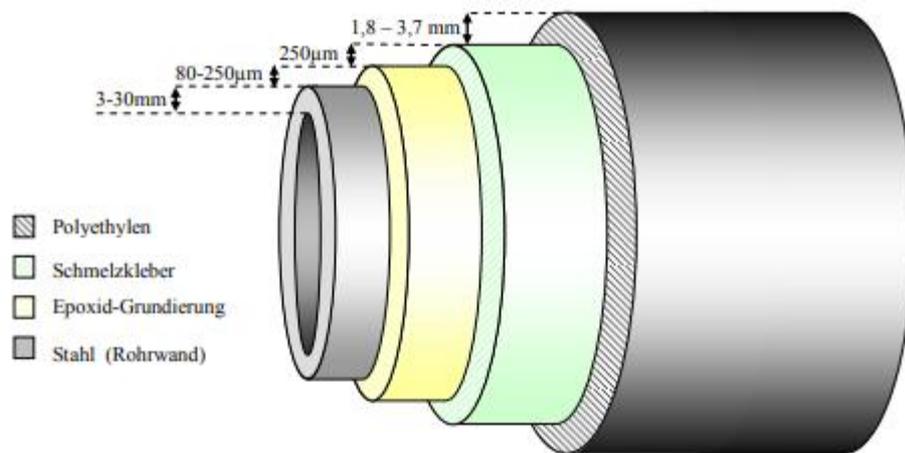


Bild 11 Passiver Korrosionsschutz durch Umhüllung

Nach dem heutigen Stand der Technik produzierte Rohrleitungen besitzen an ihrer äußeren Stahloberfläche eine Epoxidharz-Grundierung, über die anschließend mittels eines speziellen Schmelzklebers eine Nennweitenabhängige ca. 1.8-3.7mm dicke Polyethylenschicht angebracht wird. Eine solche Beschichtung gewährleistet

in unbeschädigtem Zustand eine gute elektrische Isolation und eine hohe Resistenz gegen chemische Belastungen. Mechanische Einwirkungen, insbesondere senkrecht zur Rohroberfläche können dagegen aufgrund der viel geringeren Festigkeit gegenüber Stahl zu Beschädigungen führen. Solche Beschädigungen können z.B. bereits bei Verlegearbeiten durch Maschinen oder auch später, bei Bauarbeiten in der Nähe der Rohrleitung, durch Kratzer von Baggerschaufeln entstehen.