

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

Институт природных ресурсов
 Направление подготовки (специальность) 21.03.01 «Нефтегазовое дело»
 профиль «Сооружение и ремонт объектов систем трубопроводного транспорта»
 Кафедра Транспорта и хранения нефти и газа
БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы

«Математическое моделирование гильотинного разрыва трубопровода под водой»

УДК 622.691.4.076

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Б2Б	Арндт А.В.		

Руководитель

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель кафедры ЭПР	Глызина Т. С.	к.х.н		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель кафедры ЭБЖ	Алексеев Н. А.	—		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ТХНГ	Рудаченко А.В.	к.т.н.		

<i>Код результата</i>	<i>Результат обучения (выпускник должен быть готов)</i>
В соответствии с общекультурными, общепрофессиональными и профессиональными компетенциями	
P1	Приобретение профессиональной эрудиции и широкого кругозора в области гуманитарных и естественных наук и использование их в профессиональной деятельности
P2	Уметь анализировать экологические последствия профессиональной деятельности в совокупности с правовыми, социальными и культурными аспектами и обеспечивать соблюдение безопасных условий труда
P3	Уметь самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности
P4	Грамотно решать профессиональные инженерные задачи с использованием современных образовательных и информационных технологий
<i>в области производственно-технологической деятельности</i>	
P5	Управлять технологическими процессами, эксплуатировать и обслуживать оборудование нефтегазовых объектов
P6	внедрять в практическую деятельность инновационные подходы для достижения конкретных результатов
<i>в области организационно-управленческой деятельности</i>	
P7	Эффективно работать индивидуально и в коллективе по междисциплинарной тематике, организовывать работу первичных производственных подразделений, обеспечивать корпоративные интересы и соблюдать корпоративную этику
P8	Осуществлять маркетинговые исследования и участвовать в создании проектов, повышающих эффективность использования ресурсов
<i>в области экспериментально-исследовательской деятельности</i>	
P9	Определять, систематизировать и получать необходимые данные для экспериментально-исследовательской деятельности в нефтегазовой отрасли
P10	Планировать, проводить, анализировать, обрабатывать экспериментальные исследования с интерпретацией полученных результатов с использованием современных методов моделирования и компьютерных технологий
<i>в области проектной деятельности</i>	
P11	Способность применять знания, современные методы и программные средства проектирования для составления проектной и рабочей и технологической документации объектов бурения нефтяных и газовых скважин, добычи, сбора, подготовки, транспорта и хранения углеводородов

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

Институт природных ресурсов
Направление подготовки (специальность) 21.03.01 «Нефтегазовое дело»
профиль «Сооружение и ремонт объектов систем трубопроводного транспорта»
Кафедра Транспорта и хранения нефти и газа

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой
_____ Гусева Н.В.
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Бакалаврской работы

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
2Б2Б	Арндт Александр Владимирович

Тема работы:

«Математическое моделирование гильотинного разрыва трубопровода под водой»

Утверждена приказом директора (дата, номер)	04.04.2016, N 9586/e
---	----------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	17.05.2016
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).

1) Магистральный Газопровод;

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	1)Анализ способов прокладки подводных трубопроводов 2)Анализ аварий на магистральных газопроводах в зависимости от причин их возникновения. 3)Анализ характеристик подводного взрыва. 4)Моделирование цилиндрической ударной волны.			
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>				
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>				
Раздел	Консультант			
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Глызина Т.С., старший преподаватель кафедры ЭПР			
Социальная ответственность	Алексеев Н.А., старший преподаватель кафедры ЭБЖ			
Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику				14.12.2015 г.
Задание выдал руководитель:				
Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ТХНГ	Цимбалюк А.Ф.	к.ф-м.н.		
Задание принял к исполнению студент:				
Группа	ФИО	Подпись	Дата	
2Б2Б	Арндт Александр Владимирович			

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 131 страниц, 31 рисунок, 20 таблиц, 21 источник литературы.

Ключевые слова: магистральный газопровод, подводный разрыв газопровода, ударная волна, авария, математическое моделирование.

Цель работы: эффективное решение задач с максимальным учетом тех факторов, которые присутствуют при эксплуатации трубопроводных систем на современном этапе их развития.

В процессе исследования был произведен анализ различных аварий на газопроводах в зависимости от его местоположения, а так же характеристики разрыва подводного газопровода в зависимости от его вида укладки и глубины заложения.

В результате исследования был произведен расчет распада произвольного разрыва газопровода по методу С.К. Годунова с помощью программы, написанной на языке ФОРТРАН в среде Windows и имеющей дружелюбный к пользователю графический интерфейс.

					<i>Математическое моделирование гильотинного разрыва трубопровода под водой</i>						
Изм.	Лист	Ф.И.О.	Под.	Дата							
Разраб.		Арндт А.В.			<i>Реферат</i>						
Руковод.		Цимбалюк А.Ф.							Литера	Лист	Листов
Консульт.										5	131
Зав. каф.		Рудаченко А. В.							Кафедра транспорта и хранения нефти и газа Группа 2Б2Б		

Vortrag

Die Abschlußqualifikationsarbeit enthält 131 der Seiten, 30 der Zeichnungen, 20 Tabellen, 21 Quelle der Literatur.

Die Stichwörter: die Hauptleitungsgasleitung, den Unterwasserbruch der Gasleitung, die Stosswelle, die Panne, die mathematische Modellierung.

Das Ziel der Arbeit: die wirksame Lösung der Aufgaben mit der maximalen Berücksichtigung jener Faktoren, die im Betriebszustand der Rohrleitungssysteme in der heutigen Etappe ihrer Entwicklung anwesend sind.

Die während der Studie war die Analyse verschiedener Unfälle an den Pipelines abhängig von seiner Lage und Eigenschaften der Kluft der unterwassergasrohrleitung je nach Art und Tiefe der Verlegung.

In einer Studie wurde gefördert Berechnung des Zerfalls willkürlichen Bruch der Gasleitung nach der Methode S. K. Godunova mit Hilfe des Programms, geschrieben in FORTRAN unter Windows und hat eine benutzerfreundliche grafische Oberfläche.

					<i>Математическое моделирование гильотинного разрыва трубопровода под водой</i>			
Изм	Лист	Ф.И.О.	Под.	Дата				
Разраб.		Арднт А.В.			<i>Vortrag</i>	Литера	Лист	Листов
Руковод.		Цимбалюк А.Ф.					6	131
Консульт.						Кафедра транспорта и хранения нефти и газа Группа 2525		
Зав. каф.		Рудаченко А. В.						

Оглавление

Реферат.....	5
Vortrag	6
Сокращения	9
ВВЕДЕНИЕ	10
1. Обзор литературы	14
1.1 Состав сооружений и классификация магистральных газопроводов.....	14
1.2 Категории магистральных газопроводов	17
1.3 Классификация дефектов трубопроводов.....	18
2. Способы прокладки магистральных газопроводов	21
2.1 Разведка дна и грунтов перед прокладкой трубопроводов.....	22
2.2 Основные технологии строительства подводных трубопроводов	29
2.2.1Укладка подводных трубопроводов с поверхности воды.....	36
2.3. Укладка трубопроводов, с положительной плавучестью с поверхности воды	37
3 Общие сведения по авариям на газопроводах	38
3.1 Статистические данные по авариям на газопроводах.....	39
4. Гильотинный разрыв газопровода.	47
4.2 Распространение взрывных и акустических волн	54
4.3 Общая характеристика подводного взрыва.....	56
4.4 Параметры ударной волны.	58
4.5 Газовый пузырь при подводном взрыве.....	61
4.5.1 Взрыв вблизи поверхности.....	65
4.5.2 Подводный взрыв вблизи жесткой границы.	66
4.6. Разрыв магистрального газопровода.	67
5. Моделирование цилиндрической ударной волны.....	69

					<i>Математическое моделирование гильотинного разрыва трубопровода под водой</i>						
Изм.	Лист	Ф.И.О.	Под.	Дата							
Разраб.		Арднт А.В.			<i>Сокращения</i>						
Руковод.		Цимбалюк А.Ф.							Литера	Лист	Листов
Консульт.										7	131
Зав. каф.		Рудаченко А. В.							Кафедра транспорта и хранения нефти и газа Группа 2Б2Б		

5.1. Задача о распаде произвольного разрыва с двучленным уравнением состояния.....	69
5.2 Реализация плоской задачи и верификация метода	81
5.3 Компьютерная программа «FORTRAN»	82
Заключение:	87
6. Производственная безопасность	88
6.1. Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	88
6.2 Экологическая безопасность на магистральных газопроводах	93
6.2.1 Изменение состояния окружающей среды под воздействием газопровода	94
6.2.2 Последствия воздействия и мероприятия по снижению воздействия.	95
6.2.3 Утечка токсичных и вредных веществ и их влияние на человеческие организмы.	101
6.2.4 Мероприятия по охране атмосферы в период эксплуатации газопровода.	105
6.2.5 Аварийно-диспетчерское обслуживание газораспределительных систем	106
6.3. Безопасность на магистральных газопроводах.	108
6.3.1 Оценка предполагаемого ущерба окружающей среде.	113
6.3.2 Границы действия ВУВ при взрыве газа	114
7. «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»	115
Введение.....	115
7.1 Оценка готовности проекта к коммерциализации.....	115
7.2 Календарный план проекта	118
7.2.1 SWOT-анализ.....	120
7.3 Затраты на проведение аварийно-восстановительных работ	121
7.4 Расчёт амортизационных отчислений	123
7.5. Расчет затрат на основные и вспомогательные материалы.....	124
7.5.1 Фонд оплаты труда специалистов	125
Заключение	129
Список использованных источников	130

					Оглавление	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		8

Сокращения

ПП	Подводный переход
СМР	Строительно-монтажные работы
ГРС	Газораспределительная станция
КС	Компрессорная станция
НС	Насосная станция
КРН	коррозионное растрескивание под напряжением
КПП	Камера приема пуска
ЛЭП	Линии электропередач
ЗА	Запорная арматура
МГ	Магистральный газопровод
ВЗ	Взвешивание
СУГ	Сжиженные углеводородные газы
АДС	Аварийно-диспетчерская служба
ТВС	Топливо-воздушная смесь
ПЗП	прибрежно-защитная полоса
ВУВ	взрывная ударная волна
ПГФ	Парогазовая фаза
ПДК	Предельно допустимая концентрация
НКПВ	Нижний концентрационный предел воспламенения
ГСМ	Горюче-смазочные материалы
КР	Контактный разрыв
ВР	веер волн разрежения
УВ	ударная волна
В	Вакуум

					Математическое моделирование гильотинного разрыва трубопровода под водой			
Изм	Лист	Ф.И.О.	Под.	Дата				
Разраб.		Ардт А.В.			Сокращения	Литера	Лист	Листов
Руковод.		Цимбалюк А.Ф.					9	131
Консульт.						Кафедра транспорта и хранения нефти и газа Группа 2Б2Б		
Зав. каф.		Рудаченко А. В.						

ВВЕДЕНИЕ

Трубопроводный транспорт газа, нефти и нефтепродуктов в настоящее время является средством доставки этих продуктов от мест добычи, переработки или получения к местам потребления. Для транспортировки газа и нефти сооружаются трубопроводы длиной в несколько тысяч км. Трубопроводы такой протяжённости пересекают огромное количество разнообразных естественных и искусственных препятствий: малых и больших рек, водохранилищ, озёр, глубоких болот, сложенных слабыми грунтами, автомобильных и железнодорожных дорог.

Трубопроводный транспорт нефти и газа, составляющая часть системы снабжения промышленности, энергетики, транспорта и населения городов и поселков топливом и сырьем. При этом природный газ и сырая нефть транспортируются в основном только по трубопроводам. Однако, в связи с резким уменьшением объемов строительства магистральных трубопроводов в последние годы, внимание к проблемам строительства трубопроводов снизилось, но с уверенностью можно сказать, что в ближайшее время трубопроводный транспорт вновь потребует к себе пристального внимания, так как оборудование стареет и морально и физически соответственно возникнут проблемы ремонта, замены оборудования.

					Математическое моделирование гильотинного разрыва трубопровода под водой		
Изм	Лист	Ф.И.О.	Под.	Дата			
Разраб.		Ардт А.В.			Введение	Литера	Лист
Руковод.		Цимбалюк А.Ф.					10
Консульт.							131
Зав. каф.		Рудаченко А. В.				Кафедра транспорта и хранения нефти и газа Группа 2Б2Б	

Газопровод, несмотря на простоту, сильно отличается от других сложных сооружений, особенной схемой силового фактора, напряженно-деформированным состоянием и масштабностью. Невозможность осмотра и приборного освидетельствования газопроводов при эксплуатации увеличивает вероятность отказов.

Газопроводы в течении протяженного срока эксплуатации испытывают весьма значительные напряжения, близкие к предельным напряжениям. Масштабный фактор современных газопроводов, на данный момент времени и развития технологий не позволяет на 100% исключить отклонения характеристик по прочности металла. Поэтому при отклонении условия от заданного параметра приводят его в состояние, такое как предельное напряжение. Масштабный фактор современных газопроводов, на данный момент времени и развития технологий не позволяет на 100% исключить вероятность появления дефектов при производстве труб, строительстве и эксплуатации вследствие нарушения технологических параметров транспортировки и в дальнейшем изменение прочности магистральных трубопроводов.

С увеличением срока эксплуатации газопроводов с высокими параметрами, такими как протяженность, диаметр, давление и так далее, появляются новые проблемы, одной из которых является оценка остаточного ресурса и увеличения срока эксплуатации. В настоящее время такая проблема приобрела государственное значение, впоследствии это отразилось в постановлении Правительства РФ №241 от 28 марта 2001 года, который был посвящен оценкам остаточных ресурсов и продлению срока эксплуатации. В ОАО «Газпром»

ё					Введение	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		11

данные вопросы были проработаны конкретно к газопроводам.

Основные аспекты проблем:

- **формальный аспект** - газопроводы, отработавшие амортизационный срок (33 года), не проходят по финансовым документам, и службы эксплуатации не имеют на них отчислений; таким образом, для поддержания технического уровня данных газопроводов отсутствуют средства.

- **научный аспект** - газопроводы представляют собой протяженные системы с восстановлением, работающие в условиях переменного нагружения в различных климатических зонах. Как правило, газопроводы входят в Единую систему газоснабжения, т.е. работают в связанных технологических режимах. Поэтому требуется изучение конструктивной и технологической надежности для последующей оценки ресурса.

- **инженерный аспект** - необходимо выполнить комплекс расчетных и инструментальных работ по анализу технического состояния, выявлению потенциально опасных участков, оценки опасности дефектов и непосредственно экспресс оценке ресурса и работоспособности.

Газопроводы отличаются от прочих сооружений, прежде всего протяженностью и энергетическим потенциалом, т.е. в них наиболее сильно проявляются масштабные эффекты статического и энергетического характера. По объему упругой энергии, сосредоточенной в металле труб и сжатом газе, газопроводы не имеют себе равных. В этом газопроводы не знают себе равных. Это основное обстоятельство, которое в большинстве случаев делает их более

ё					Введение	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		12

уязвимыми к внезапным разрушениям. По статистике, в последние годы аварийность газопроводов по причине коррозии и при коррозионном растрескивании под напряжением (КРН) металла сохраняется на высоком уровне. Большинство аварий в последние годы требуют комплексную исследовательскую работу связи КРН с условиями эксплуатации в коррозионных средах (состав и pH среды, температура, поляризационный потенциал) и различными металлургическими факторами (состав, структура, свойства, способы производства стали, чистота по неметаллическим включениям, способ термообработки). При анализе базы данных большинства аварий выделены общие признаки, сопутствующие КРН. Стресс-коррозия чаще всего наблюдается в заболоченных, глинистых и суглинистых грунтах, на участках с переменным увлажнением. Большая часть аварий возникают на склонах холмов, подводных переходах или в близости к обводненной местности, которая проходит или вдоль трубопровода или с пересечением его. Так же в основном КРН образуется и развивается в месте дефектов изоляционного покрытия где имеется неограниченный доступ грунта к телу трубы, или воды, а эффект защиты ЭХЗ недостаточный.

ё					Введение	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		13

1. Обзор литературы

1.1 Состав сооружений и классификация магистральных газопроводов

Газопровод сооружают постоянного или переменного диаметра в одну или несколько ниток, которые укладывают параллельно. При чем параллельные газопроводы можно сооружать как на всем протяжении от начальной до конечной точки газопровода, так и на отдельных его участках. Трубопроводы, уложенные на отдельных участках, параллельно основному газопроводу для увеличения пропускной способности и надежности его работы, называются лупингами. [1]

По трассе газопровода через каждые 20-25 км. Устанавливают линейные крановые узлы, включающие в себя запорные устройства (краны), обводные линии и продувочные свечи. Кроме того, крановые узлы устанавливают на всех отводах от газопровода переходах через водные преграды (на обоих берегах рек, озер), перемычках между газопроводами и вблизи мест подключения КС. Используя эти узлы можно отключать участки газопровода, освобождать их от газа (через свечи) продувать, заполнять газом и включать их в работу после выполнения ремонтных работ. Обычно в местах установки линейных крановых узлов предусматривается устройства для визуального и дистанционного замера давления, заливки метанола внутрь газопровода, контроля прохождения очистных поршней (сигнализаторы прохождения поршня), телеизмерения и

					Математическое моделирование гильотинного разрыва трубопровода под водой			
Изм	Лист	Ф.И.О.	Под.	Дата				
Разраб.		Арднт А.В.			Состав сооружений и классификация магистральных газопроводов	Литера	Лист	Листов
Руковод.		Цимбалюк А.Ф.					14	131
Консульт.						Кафедра транспорта и хранения нефти и газа Группа 2Б2Б		
Зав. каф.		Рудаченко А. В.						

телеуправления. Технологическая обвязка линейных крановых узлов различна и определяется диаметром газопровода и конструкцией запорного устройства

Для сбора и удаления конденсата из газопровода в наиболее низких его местах предусматривается установка конденсатосборников. Кроме того, для отчистки внутренней поверхности газопровода (от механических примесей) в определенных пунктах, обычно на каждой КС, предусматривают устройства позволяющие запускать и принимать (улавливать) очистные поршни. Здесь же сооружают емкости для приема конденсата, а также установки для его очистки и перекачки чистого конденсата на базу хранения или пункты налива в железнодорожные или автомобильные цистерны [1].

Указанные сооружения в соответствии с требованиями пожарной безопасности оборудуют противопожарными средствами. Для предохранении от эрозионного разрушения почвы вдоль трассы газопровода предусматриваются противоэрозионные сооружения: укрепление береговых рек, озер, оврагов, в местах прохождения газопроводов, организационный отвод ливневых и паводковых вод. Для предохранения металла труб от почвенной коррозии используют установки катодной и протекторной защиты, а от блуждающих токов – установки электродренажной защиты. Число, тип и места их установки определяют расчетным путем [1].

Вдоль трассы газопровода сооружают линии технологической связи, объекты телемеханики, позволяющие осуществлять оперативное руководство процессом транспорта газа и собирать основные параметры работы, как самого газопровода, так и его сооружений.

					Состав сооружений и классификация магистральных газопроводов	Лист
						15
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

Вдоль трассы газопровода в определенных пунктах строят дома линейных обходчиков, которые имеют телефонную связь с ближайшими КС, ЛЭС, а также между собой. Вблизи этих домов организуют аварийно-ремонтные пункты (АРЦ), на которых имеется определенный запас оборудования, материалов, реагентов на случай проведения профилактических и аварийных работ. В наиболее труднодоступных местах для обслуживания трассы устраивают постоянные вдоль трассовые дороги и взлетно-посадочные площадки для вертолетов [1].

Для питания электроэнергией различных вдоль трассовых установок (станций катодной защиты, объектов телемеханики) сооружают линии электропередач. В местах, где затруднено их строительство, устанавливают автономные источники электроэнергии (термоэлектродвигательные, газовые двигатели), работающие на газовом топливе. Для заливки метанола, а газопровод по трассе газопровода устанавливают метанольные установки [1].

					Состав сооружений и классификация магистральных газопроводов	Лист
						16
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

1.2 Категории магистральных газопроводов

Магистральные газопроводы в зависимости от рабочего давления делят на два класса: первый – при рабочем давлении от 2,5 до 10 Мпа включительно; второй – при рабочем давлении от 1,2 до 2,5 Мпа включительно. Кроме того, в зависимости от способа прокладки, диаметра и характеристики местности которую они пересекают их подразделяют на категории по СНиП 2,05 06-85 предусматривает категории магистральных газопроводов **В** (высшая) **I, II, III IV** (низшая). Магистральные газопроводы диаметром менее 1200 мм относят к категориям **I- IV**, а диаметром 1200 мм и более – категориям **I- III**. На наиболее сложных (болота, водные, преграды) и ответственных участках трассы категория магистральных газопроводов повышается. Например, для участков подключения КС, узлов пуска и приема очистных устройств, переходов через водные преграды шириной по зеркалу воды в межень 25 м и более СНиП устанавливает категорию **I**. К категории **В** относятся газопроводы, сооружаемые внутри зданий и на территориях **КС и ГРС**. При проектировании допускается категорию отдельных участков газопровода повышать на одну категорию, против установленной СНиПОм, при соответствующем обосновании [1].

					Состав сооружений и классификация магистральных газопроводов	Лист
						17
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

1.3 Классификация дефектов трубопроводов

Согласно инструкции по оценке дефектов труб. Дефекты подразделяются на 3 основных типа. Таблица 1.2.1. [2]

Таблица 1.3.1 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 1.3.2. Виды 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.
риски	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.
Трещины	Дефект в виде разрыва металла стенки трубы.
Дефект поверхности	Дефекты проката поверхности трубы, не выводящие толщину стенки за предельные размеры по ГОСТ.
Трещиноподобный дефект	Дефект в виде одиночных трещин или участков с трещинами, рост которых определяется воздействием на металл напряжения.

Продолжение Таблицы 1.3.2	
Несплошность плоскостного типа	Различные не провары, не сплавления, трещины.
аномалия	Различны поры, шлаковые включения подрезы, чешуйчатость и т.д.
смещение кромки	Несовпадение расстояний внутренних и внешних стенок сварных труб.
косой стык	Когда трубы расположены под углом к друг к другу.

					Состав сооружений и классификация магистральных газопроводов	Лист
						20
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

2. Способы прокладки магистральных газопроводов

Магистральные газопроводы по способу прокладки делят на подземные, наземные и надземные [2].

При подземной прокладке газопровод укладывают в грунт ,при этом глубина его заложения до верха должна быть не менее:

Таблица 2.1

При условном диаметре менее 1000 мм	0.8
При условном диаметре 1000 мм и более (до 1400)	1
На болотах или торфяных грунтах подлежащих осушению	1.1
В песчаных барханах	1
В скальных грунтах , болотистой местности при отсутствии проезда автотранспорта и сельскохозяйственных машин.	0.6
На пахотных и орошаемых землях	1

Ширина траншеи по низу зависит от диаметра газопровода:

Таблица 2.2

До 700 мм	Dy+300
700 мм и более	1,5 Dy
От 1200 до 1400 мм с откосом траншеи более 1:0.5	Dy+500

Примечание Dy –условный диаметр газопровода.

					Математическое моделирование гильотинного разрыва трубопровода под водой			
Изм	Лист	Ф.И.О.	Под.	Дата				
Разраб.		Ардт А.В.			Способы прокладки магистральных газопроводов	Литера	Лист	Листов
Руковод.		Цимбалюк А.Ф.					21	131
Консульт.						Кафедра транспорта и хранения нефти и газа Группа 2Б2Б		
Зав. каф.		Рудаченко А. В.						

2.1 Разведка дна и грунтов перед прокладкой трубопроводов

Прокладка и обеспечение устойчивости трубопроводов на морском дне требуют, возможно, лучших знаний морфологии дна и природы и поведения грунтов [3].

Детальная разведка всего маршрута укладки трубопровода должна осуществляться с охватом «коридора» шириной 500 - 600 м.

Первоначальный ориентировочный маршрут для укладки трубопровода намечают, основываясь на батиметрических картах и общем знании морфологии дна.

Возможную трассу уточняют точной батиметрической съемкой, дающей возможность получить детализированные карты с изобатами с интервалом 1 м.

Разведка должна охватить участок шириной около 600 м с центром на теоретическом пути прокладки трубопровода.

Вообще необходимо выполнить следующее:

- центральный батиметрический профиль вдоль теоретического пути прокладки трубопровода;
- два боковых профиля шириной 100 - 150 м по обе стороны центрального профиля;
- два боковых профиля шириной 300 м по обе стороны центрального профиля;
- несколько поперечных профилей, чтобы вновь провести измерения и проверить полученную точность.

					Способы прокладки магистральных газопроводов	Лист
						22
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

Для того чтобы достичь точности в 1 м на батиметрические поднятия на глубине от 100 до 150 м, необходимо следующее:

- использование прецизионного эхолота;
- частая калибровка на месте (влияние течений, температуры и солености);
- синхронная запись крена, тоннажа и качки судна;
- синхронная запись приливов и отливов.

Батиметрические данные следует дополнить точной морфологической съемкой, особенно в зонах значительной неровности дна. К тому же следует попытаться определить природу рельефа или обнаруженных препятствий.

Обычно строятся два профиля до 120 м по обе стороны от теоретической трассы посредством бокового гидролокатора с эффективной дальностью 150 м, чтобы перекрыть площадь участка, обследованного эхолотом [3].

Наблюдения должны позволить:

- идентифицировать рельеф в пределах 0,5 - 1 м;
- выявить различия в литологической природе поверхностных грунтов (методом обратного рассеяния энергии).

Визуальное наблюдение с помощью телевизионной камеры, перемещаемой у дна или установленной на подводной лодке, с целью идентификации природы некоторых отмеченных аномалий.

Этот тип непосредственного наблюдения ограничивается, однако, зонами значительных неровностей, обнаруженных вышеупомянутыми косвенными методами (эхолотом и боковым гидролокатором).

Поиск ферромагнитных препятствий (обломки судов, якоря, кабели и т.д.), лежащих в грунте на небольшой глубине и имеющих размер менее 3 м, можно

					Способы прокладки магистральных газопроводов	Лист
						23
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

производить магнитометром с высокой разрешающей способностью одновременно с боковым гидролокатором [3].

Проблема устойчивости трубопровода зависит только от самых верхних слоев морского дна (несколько метров) и поэтому необходимо дать хорошее определение верхних пластов, хотя бы и за счет глубины исследования. Однако не нужно забывать, что знания подстилающих геологических структур повышает понимание геологами явлений, происходящих на поверхности и, следовательно, улучшают интерпретацию.

Обычно добиваются следующего [3]:

- проникновения на глубину 30 и более м.
- разрешающей способности порядка 1 - 2 м.

Эти задачи можно решить различными приборами:

- спаркером с относительно низкой энергией излучения, обеспечивающим разрешающую способность около 2 м и проникновение на несколько десятков метров;
- бумером («Юнибумом») с разрешающей способностью около 1,5 - 2 м и проникающей способностью в несколько десятков метров;
- донными зондами с чрезвычайно высокой разрешающей способностью (около 1 м), но с проникновением от нескольких метров (пески) до 20 - 30 м (мягкие грунты).

Например, записывают три профиля:

- центральный профиль;
- два боковых профиля, отстоящих на 300 м от центрального профиля в обе стороны.

Заметим, что запись должна производиться синхронно без взаимного влияния.

					Способы прокладки магистральных газопроводов	Лист
						24
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

- с одной стороны, эхолота и сейсмических приборов (центральный профиль и ± 300 м боковые профили);
- с другой стороны, эхолота, бокового гидролокатора и магнитометра (± 120 м боковые профили).

Основная цель разведки поверхности грунтов перед прокладкой трубопроводов заключается:

- в идентификации породы, гранулометрического распределения зерен и т.д. грунтов;
- определение их ожигаемости и склонности к образованию размывов, которые приведут к потере устойчивости.

Размер исследуемой зоны идентичен зоне геофизической разведки.

Требуемая глубина не превышает нескольких метров (от 3 до 5) и может зависеть от глубины, на которой собираются уложить трубопровод и которая обычно зависит от удаленности от берега.

Частота отбора кернов вдоль маршрута трубопровода зависит от геологических критериев, основанных на результатах сейсмической разведки. Обычно принимают следующие значения:

- 1 керн на 1 км пути;
- или 1 керн на каждые 2 - 3 км пути в зонах, где сейсмические профили не выявили неровностей.

Применяемая техника зависит от природы поверхностных грунтов:

- гравитационные или керноотборники с неподвижным поршнем типа «Кулленберг» используются наиболее широко и позволяют углубляться на 2-5 м и более в рыхлых отложениях (рыхлые пески и мягкие грунты);

					Способы прокладки магистральных газопроводов	Лист
						25
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

несмотря на разрушения, керны остаются достаточно представительными для общих измерений (идентификации и оценки прочности грунтов на сдвиг);

- виброкерноотборники (электрические или электрогидравлические) необходимы для плотных пород (плотные пески или консолидированные глины);
- погружные роторные керноотборники необходимы для разведки скалистого дна, где знание прочности грунта на сдвиг совершенно необходимо, чтобы оценить возможности рытья траншеи и укладки труб.

Лабораторные идентификации и определение трения трубопровода о дно (трение пары бетон-грунт) и т.д. требуют отбора значительного количества образцов нарушенных пород, например, драгой.

Геотехнические характеристики, требующиеся для расчета устойчивости трубопроводов, обычно определяются в лаборатории на образцах, подвергшихся той или иной степени разрушения.

Однако, в случае песков, расчет несущей способности особенно зависит от плотности в массиве, которую невозможно измерить на образцах, так как они всегда имеют повреждения. В случае песков измерения на месте всегда необходимы и всегда желательны при любой природе осадочных пород [4].

Из простых и быстрых методов можно использовать следующие методы:

- измеритель давления на устройстве типа «Кулленберг». Однако замечено, что корреляция между предельным давлением P_j и плотностью на месте не всегда очевидна, что исключает удовлетворительную оценку внутреннего угла трения;

					Способы прокладки магистральных газопроводов	Лист
						26
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

- динамический пенетрометр, который также можно использовать на подобном устройстве, хотя работоспособной модели этого типа пока что нет;
- статический пенетрометр (устройство легкого типа).

Определяют плотность ожиженного грунта и проверяют опасность всплывания трубопровода.

В песках ожижение может появиться в результате вибрации труб или циклических нагрузок (в результате воздействия волн). Можно, однако, сделать допущение, что эта опасность существует только в очень рыхлых песках с гранулометрическим составом менее 0,3 - 0,4 мм и относительно низкой проницаемостью.

Трубу, лежащую на грунте, тянут [3]:

- или вдоль, чтобы измерить трение, возникающее при прокладке трубопровода около берега;
- или поперек, чтобы измерить сопротивление к боковому перемещению трубопровода на дне под действием всех элементов.

					Способы прокладки магистральных газопроводов	Лист
						27
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

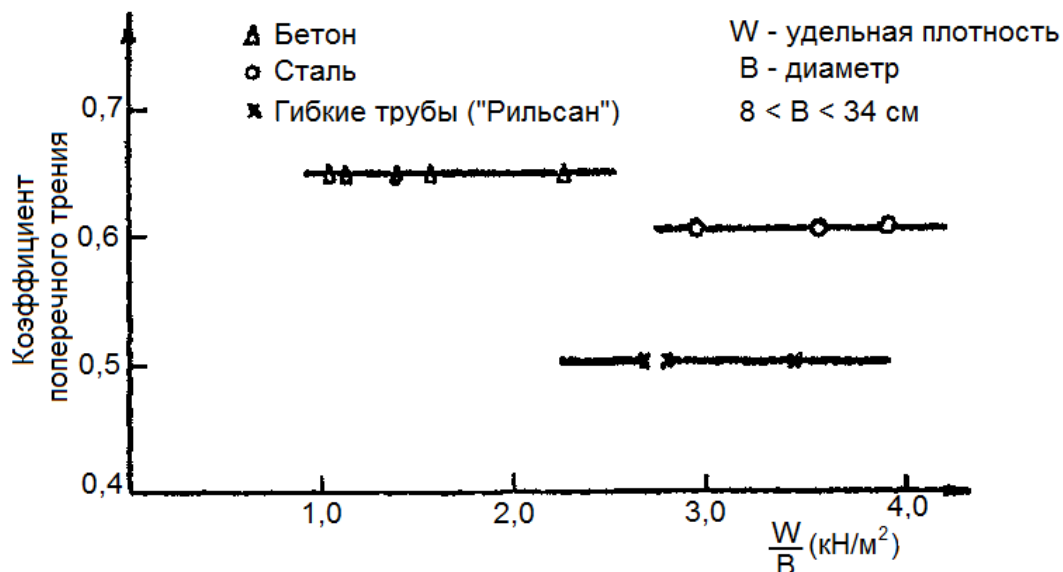


Рис. 2.1.1. Поперечное трение различных трубопроводов об известковый песок (результаты Французского института нефти).



Рис. 2.1.2. Продольное трение различных трубопроводов об известковый песок.

На рис. 2.1.1. и 2.1.2. приведены результаты опытов по продольному и поперечному трению на известковом песке.

Скорость эрозии осадочных отложений - одна из наиболее сложных характеристик разрушения поверхностного слоя. Эту скорость можно измерить в

лаборатории, что дает, по крайней мере, одну значимую величину, зависящую от природы поверхностных отложений.

2.2 Основные технологии строительства подводных трубопроводов

При строительстве газопровода (морского) применяются множество способов его укладки, которые напрямую зависят от некоторых факторов определяющие сам процесс строительства газопровода в море [5].

В современном мире существует две основные схемы укладки трубопроводов по дну. Это методом протаскивания и заглублением с поверхности воды.

Данные две схемы обладают большим количеством методов и их фактическим осуществлением. Сущность метода протаскивания состоит в последующем [5]:

- На заранее подготовленном побережье или крае водоема устанавливают спусковую дорожку, в которую опускается подготовленный трубопровод, в дальнейшем который перемещают с берега под воду по ней. Под дорожкой подразумевают либо заранее выравненное дно или траншея.
- На заранее подготовленном побережье около спусковой дорожки подготавливают к укладке трубопровод, протяженность которого не должна, быть менее длинны траншеи или выровненного дна, при условии, что трубопровод будет уложен без заглубления.
- Укладка трубопровода на заранее подготовленное дно или спусковую дорожку.

					Способы прокладки магистральных газопроводов	Лист
						29
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

- Испытание на прочность внутренним давлением уложенного трубопровода.
- Прокладка троса по направлению движения трубопровода.
- Протаскивание трубопровода под усилием, специальными технологическими средствами, такими как трактора, лебедка или же трубоукладочным судном.
- Далее производится комплексное обследование уже уложенного трубопровода, которое осуществляется водолазами или специальными приборами.
- Далее закрепляют трубопровод заранее уложенный, специальными приспособлениями, такими как анкерные болты, грузы, или просто засыпкой грунта. В различных случаях определяют необходимость закрепления различными способами.
- Производство повторного испытание на прочность внутренним давлением трубопровода.

Далее рассмотрим различные схемы укладки трубопроводов методом протаскивания через водную преграду (озеро, река, различные проливы). Подводные переходы могут быть различной шириной как сотни метров и до нескольких километров. В зависимости от этого реализуются разные схемы [5].

Первая схема:

При ширине водной преграды, не препятствующей протаскиванию всей длины трубопровода. При условии, что тяговое усилие должно быть таким, что процесс проходил без остановки.

					Способы прокладки магистральных газопроводов	Лист
						30
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

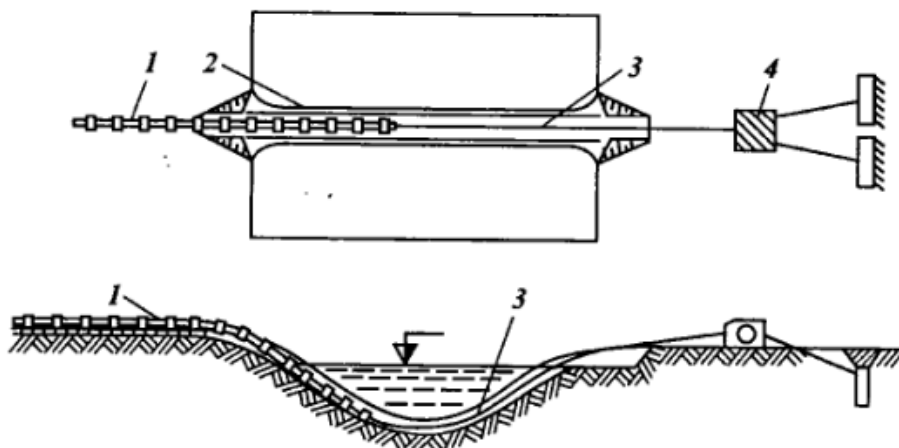


Рис. 2.2.1. Протаскивание трубопровода через водную преграду.

1-трубопровод, 2-траншея, 3-трос, 4-лебедка.

При протаскивании трубопровода по данной схеме длина протаскиваемого трубопровода должна быть ограничена размерами площадки по обеим сторонам берега и ограничена тяговым усилием или созданием тягового усилия. Опыт проведения работ по данной схеме показывает, что при использовании нескольких тягачей тяжело добиться синхронной работы [5].

Например, при использовании более 5 тягачей одновременно на одном тросе не особо увеличивает усилие из-за сложности синхронизации работы. На практике показывается, что именно из-за этого происходят остановки протаскивания. Поэтому нужно правильно согласовывать действие машинистов, чтобы создавалось плавное, одновременное усилие, так как наибольшее усилие создается как раз в момент, когда тягач начинает трогаться с места. Поэтому проводят тренировочное движение, заодно проверяется прочность крепления и троса. Лебедка намного упрощает этот процесс при протаскивании трубопровода.

					Способы прокладки магистральных газопроводов	Лист
						31
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

Вторая схема.

При проведении работ по протаскиванию осуществляют тяговое усилие под углом с помощью блоков. Эту схему в основном используют при условиях что на берегу возможно разместить уже готовый трубопровод, а на противоположном берегу выполняют установку лебедки с поворотным блоком.

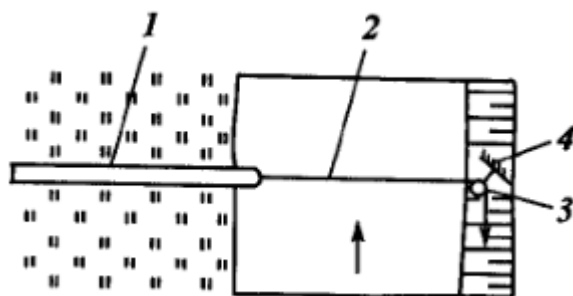


Рис. 2.2.2. Протаскивание трубопровода через водную преграду.

На данном рисунке видно, что трос (2) проходящий через поворотный блок (3) изменяет свое направление при протяжке трубопровода (1). При таком способе уделяю большое внимание поворотному блоку. Так же если лебедку невозможно установить на противоположном берегу, можно осуществить протаскивание с этого же берега, таким образом, на противоположном берегу производят установку блока который меняет направление движения тяги на 180° . Далее этот трос протягивают по дну водоема в траншеи и закрепляют его к лебедке только уже на первом берегу [5]. (Рис. 2.2.3.)

					Способы прокладки магистральных газопроводов	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		32

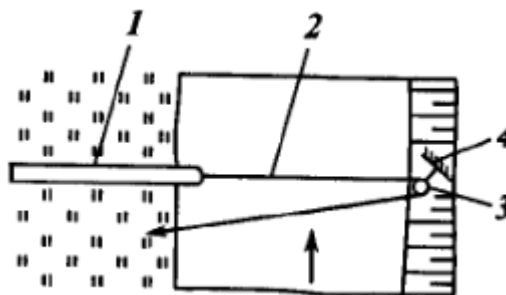


Рис. 2.2.3. Протаскивание трубопровода через водную преграду.

1-трубопровод, 2-трос, 3-поворотный блок, 4-анкерная опора.

Третья схема:

При небольших размерах площадки, протаскивание трубопровода осуществляется с наращиванием трубопровода (2) из заранее подготовленных секций (1), при этом спусковую дорожку делают исходя из длины плетей. Протаскивания осуществляют с помощью троса (3)

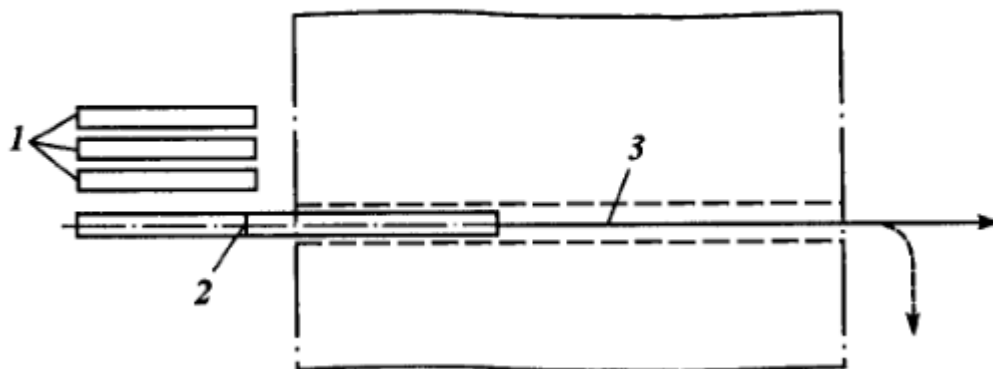


Рис. 2.2.4. Схема протаскивания трубопровода с наращивание секций.

Четвертая схема.

Прокладка осуществляется с одновременной закачкой вовнутрь воды. Данный способ в основном применяется при протяжке нефтепроводов.

					Способы прокладки магистральных газопроводов	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		33

Пятая схема.

Используют при условии что длинны лебёдки не хватает до противоположного берега, при этом невозможно выполнить перестановку тяговой лебедки на берегу, поэтому их закрепляют на баржах, которая закрепляется якорной системой одним или несколькими якорями или якорями различной массой в зависимости от тягового усилия. Если грунт слабый используют якорные сваи, которые забивают в дно. Количество якорных опор выбирается исходя из протяженности водного перехода [5].

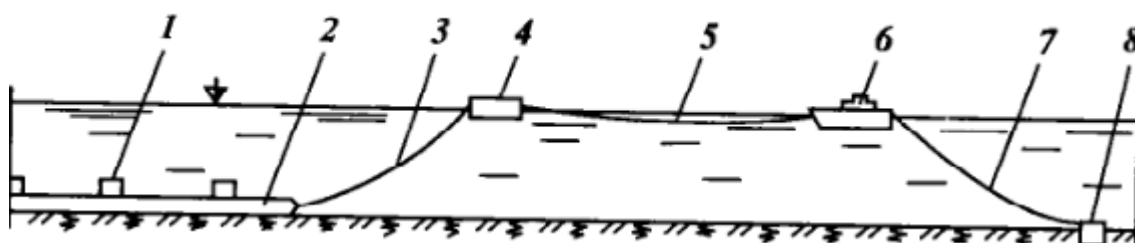


Рис. 2.2.5. Схема протаскивания трубопровода

1-понтон, 2-трубопровод, 3-трос, 4-поддерживающая баржа, 5-трос, 6-баржа с лебедкой, 7-якорный трос, 8-якорные сваи.

Шестая схема. Применяется при условии, что ширина преграды больше канатоемкости лебёдки, при данной схеме применяют прикрепление дополнительной лебедки или тянущего электрического барабана [5].



Рис.2.2.6. схема протягивания трубопровода.

1-трубопровод, 2-трос, 3,4-соединительные звенья, 5-лебедка, 6-анкерная опора, 7-вспомогательная лебедка.

Седьмая схема. Как и предыдущие две схемы, когда ширина водоема превышает длину лебедки, но вместо перепасовки троса производится пропусканием троса через блок и подтягивание второй линии. С условием, что дополнительная лебедка обладает достаточной мощностью для протяжки троса после заполнения основного барабана тяговой лебедки [5].

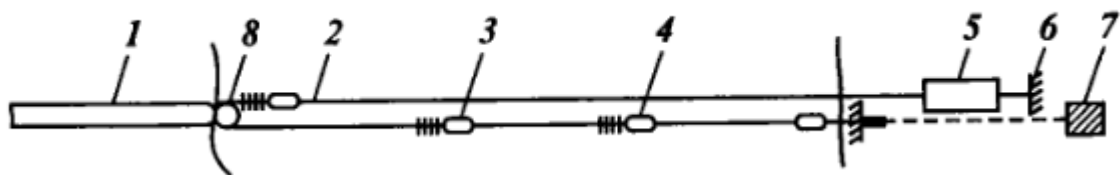


Рис. 2.2.7. Схема протяжки трубопровода.

1-трубопровод, 2-трос, 3,4-соединительные звенья, 5-тяговые лебедка, 6-анкерная опора, 7-вспомогательная лебедка, 8-блок на оголовке трубопровода.

Данные методы прокладки трубопроводов обладают преимуществами, такими как исключения воздействия на трубопровод льда, волн и самое основное это то что нет необходимости искривлять трубопровод более чем искривление рельефа дна. Данное преимущество позволяет сохранение трубопровода и его защитных покрытий [5].

2.2.1 Укладка подводных трубопроводов с поверхности воды

Данный способ является наиболее часто встречающимся, однако отмечу важное условие, в любом случае размещение трубопровода должно быть, возможно, на поверхности воды. Выполнено это может только при трех условиях:

- Если трубопровод не обладает отрицательной плавучестью.
- Если трубопровод обладает отрицательной текучесть, но положительную плавучесть ему обеспечивают понтоны.
- Если трубопровод опускается на воду с трубоукладочных барж.

Так же при строительстве трубопроводов на северных морях нужно обеспечить свободной поверхности воды, без льда. В противном случае прокладка невозможна [5].

					Способы прокладки магистральных газопроводов	Лист
						36
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

2.3. Укладка трубопроводов, с положительной плавучестью с поверхности воды

Способ, с помощью которого осуществлялась укладка подводных трубопроводов.

Для погружения трубопровода необходимо создать отрицательную плавучесть во второй части трубопровода, для того чтобы он начал погружаться, образуя переходную кривую, то есть участок между плавающей частью и часть погруженную под воду [5].

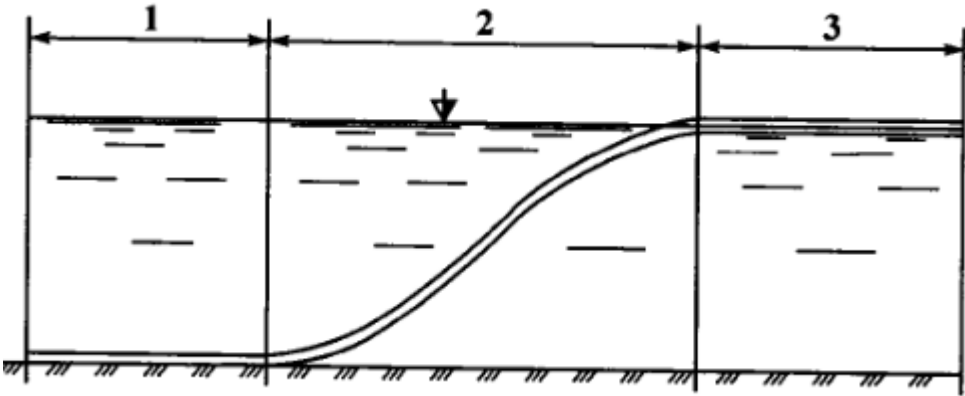


Рис. 2.3.1. Укладка трубопровода с поверхности воды

3 Общие сведения по авариям на газопроводах

Основная часть трубопроводной системы Российской Федерации построена в 1970-1980 года прошлого века ,поэтому износ линейной часть трубопроводов составляет около 50 %.

Безопасность эксплуатации трубопроводного транспорта важнейшая раздел, при котором нужно учитывать большинство факторов для предотвращения возникновения аварий. Большая часть дефектов на трубопроводах возникают вследствие механических повреждений, нахождение и определение степень опасность которых является трудоемким процессом и ведет за собой большие материальные потери. Для выявления дефектов в настоящее время используют эффективную диагностику, такие как ультразвуковые и магнитные снаряды дефектоскопы, они существенно сокращают затраты при диагностировании трубопроводов.

Основные возможные развития сценариев при авариях на газопроводах, в основном связаны с разрывом трубы на полное сечение и истечения газа в атмосферу в критическом режиме (со скоростью звука) с обоих концов (вверх и вниз по потоку). Длина разрыва трубы и вероятность возгорания газа имеют связь, как с технологическими параметрами трубопровода, так и характеристиками грунта, такими как плотность, каменные включения. Для трубопроводов с большими диаметрами от 1200 до 1400 мм. Протяженность

					Математическое моделирование гильотинного разрыва трубопровода под водой					
Изм	Лист	Ф.И.О.	Под.	Дата						
Разраб.		Арднт А.В.			Аварии на газопроводах			Литера	Лист	Листов
Руковод.		Цимбалюк А.Ф.							38	131
Консульт.								Кафедра транспорта и хранения нефти и газа Группа 2Б2Б		
Зав. каф.		Рудаченко А. В.								

разрыва составляет 50 -70 мм. Горение газа протекает в двух режимах.

Первый режим представляет собой две струи пламени, ориентирующиеся к оси газопровода. Второй режим столб огня вертикальной ориентацией похожей на горение в котловане. Это характерно газопроводам малого диаметра. Количество горящего газа напрямую зависит от диаметра трубопровода, давления, расстановка запорной арматуры и надежность срабатывания. По статистике при аварии потеря газа составляет от 2.5 до 3 миллионов кубометров. [6].

3.1 Статистические данные по авариям на газопроводах

Известные аварии на газопроводах по РФ.

В январе 2002 года 20 числа на газопроводе между Челябинском и Петрозаводском на 266 км. Произошел разрыв газопровода с последующим возгоранием [6].

В январе 2006 года 26 числа на магистральном газопроводе между Аскай-Гурмесом и Грозным произошел разрыв газопровода с последующим выбросом газа без возгорания.

В феврале 2006 года 26 числа на магистральном газопроводе на 117 км. ООО Тюменьтрансгаз произошел разрыв трубопровода с последующим возгоранием.

В ноябре 2006 года 24 числа на 10 км. На Магистральном газопроводе между городами Моздок и Тбилиси произошел разрыв трубопровода с возгоранием газа.

					Аварии на газопроводах	Лист
						39
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

В июле 2007 года 26 числа во Всеволожском районе произошло разрушения магистрального газопровода, с последующим возгоранием газа. В феврале 2008 года 17 числа на магистральном газопроводе в Новгородской области произошло разрушение трубопровода с дальнейшим возгорании.

В октябре 2010 года 20 числа на месторождении Ханжеское в Ямало-Ненецком автономном округе произошло разрушение газопровода произошедшем вследствие взрыва на крановом узле.

В сентябре 2011 года 29 числа произошло разрушение магистрального газопровода Калуга-Белоусова, с возгоранием газа.

В декабре 2012 года 28 декабря в Тверской области произошло разрушение магистрального газопровода Ухта-Торжок с возгоранием газа. [6].

Представляю таблицу анализа причин в соответствии с публикации Ростехнадзора по Российской Федерации [6].

					Аварии на газопроводах	Лист
						40
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

Таблица 2.4.1. анализ причин аварий.

Причина	Год						
	2	2	2	2	2	2	2
	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	1	1	1	1
	7	8	9	0	1	2	3
Брак изделия	1	1	0	0	0	3	1
Брак строительства	3	4	7	2	2	6	3
Ошибка персонала при эксплуатации	5	0	1	0	1	0	0
Износ оборудования	0	0	0	0	1	0	0
Воздействие стихийных явлений природного характера	0	0	0	0	1	0	0
Механические воздействия	-	1	1	1	4	1	3
Итого	16	21	16	9	14	16	9

					Аварии на газопроводах	Лист
						41
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

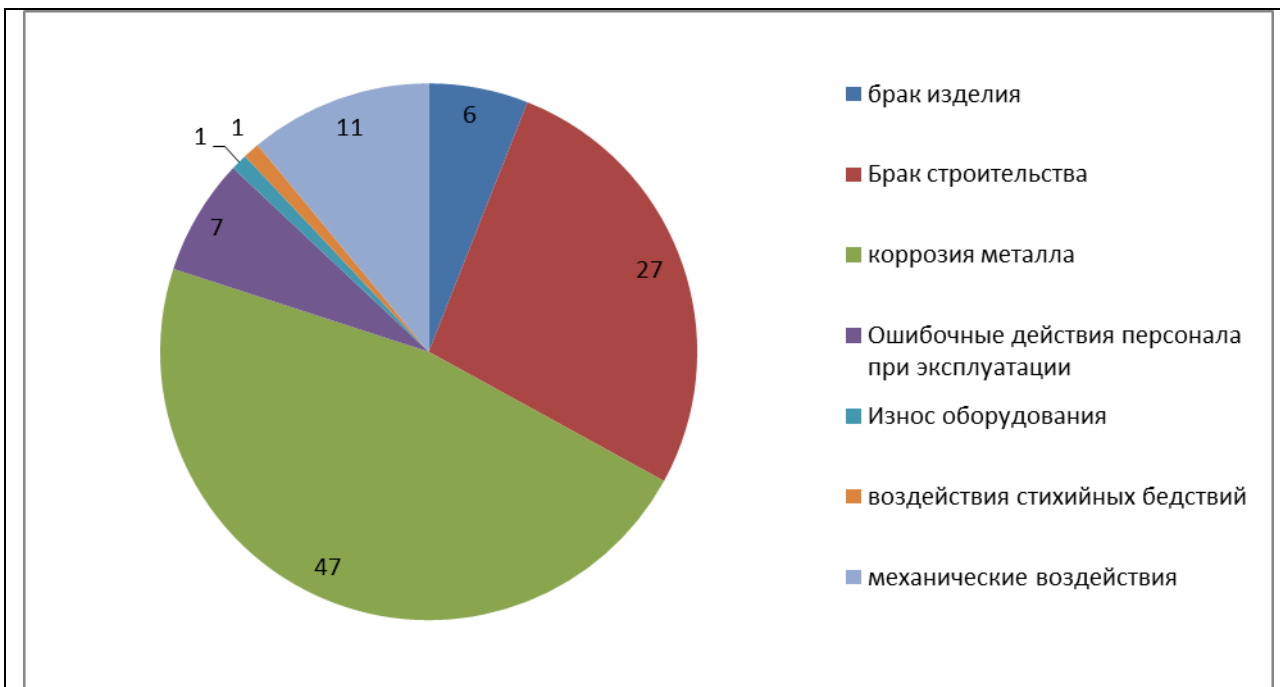


Рис 2.4.1 Распределение причин аварий на магистральных газопроводах с 2007 по 2013 год.

Таблица 2.4.2. Статистика аварий и дефектов.

Год	Аварийность		Дефектность		
	Общая протяженность газопроводов	Число аварий	Интенсивность (км в год)	Число дефектов	Интенсивность (км в год)
1991	132.14	36	0.27	470	3.56
1992	135.11	25	0.19	405	3
1993	138.08	30	0.22	322	2.33
1994	139.30	28	0.2	588	4.22
1995	140.80	30	0.21	509	3.61
1996	145.16	35	0.24	411	2.83
1997	146.72	39	0.27	520	3.54
1998	148.23	35	0.24	595	4.01
1999	148.80	23	0.18	1096	7.37
2000	148.90	33	0.22	1006	6.71
2001	148.90	31	0.21	2060	14.07
2002	151.62	32	0.21	1453	5.58
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата	Аварии на газопроводах Лист 42

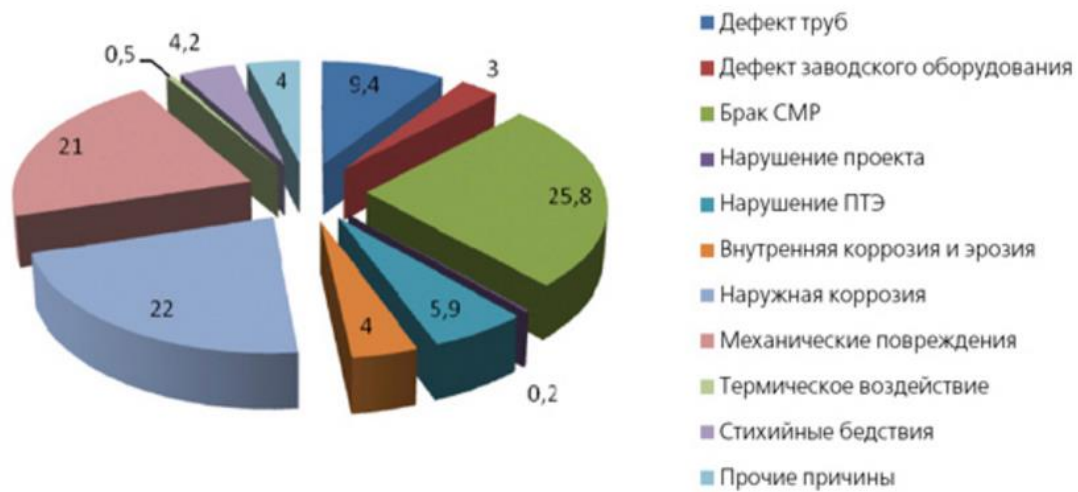


Рис. 3.4.2. Распределение аварий на линейной части различных диаметров по причине возникновения.

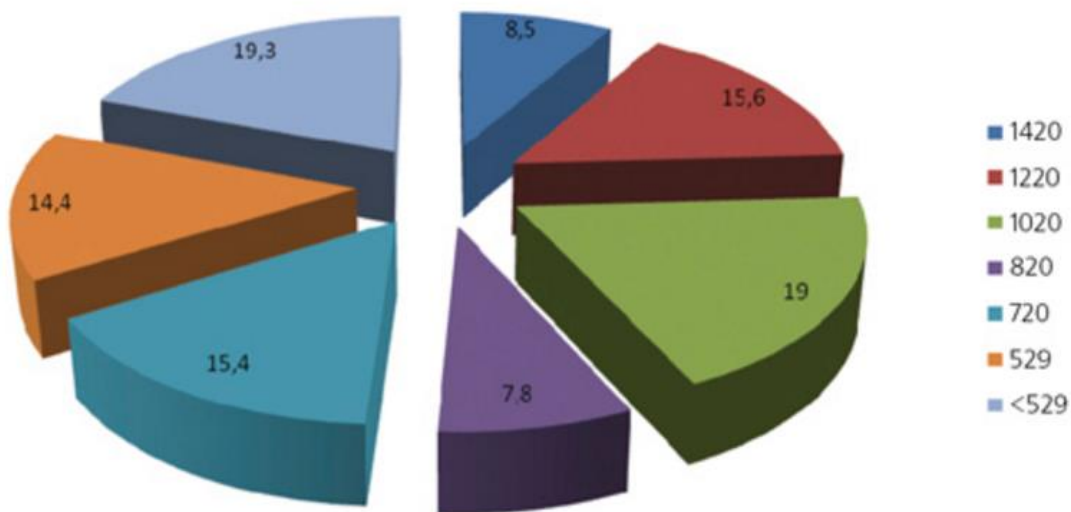


Рис. 3.4.3. Распределение аварий по линейной части газопроводов различных диаметров.

					Аварии на газопроводах	Лист
						43
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

Из приведенных данных видно, что большая часть аварий произошла из-за коррозии, строительного брака, механических повреждений.

Анализ статистических данных показывает, что интенсивность аварии на магистральных газопроводах определяется общим техническим прогрессом в отрасли, но и многими рядами факторов:

- Климатических
- Эксплуатации конкретного участка
- Климатическими
- Инженерно-техническими
- Общей хозяйственной активностью в регионе

Наибольшую опасность представляют аварии газопроводов:

- Вблизи компрессорных станций (до 5 км) вследствие нестационарных динамических нагрузок.
- На узлах подключения.
- Участки подводных переходов.
- Участки, проходящие вблизи населенных пунктов [6]. Далее был рассмотрен риск возникновения разрыва трубопровода с выбросом газа [21].

					Аварии на газопроводах	Лист
						44
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

Таблица 2.4.3. Вероятность аварий в зависимости от дефекта.

Наименование	Вероятность события
Ошибка персонала	0,000004
Пластическая деформация	0,00002
Риска	0,000001
Задир	0,000002
Вмятина	0,000014
Царапина	0,00079
Плен	0,00002
Расслоение	0,00003
Неметаллические включения	0,0000001
Трещина	0,00002
Пора	0,00002
Не провар корня шва	0,00003
Механические воздействия	0,00001
Коррозия	0,00001
Блуждающие токи	0,00002

					Аварии на газопроводах	Лист
						45
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

Из результата численного анализа можно построить график зависимости причин аварий от вероятности события.

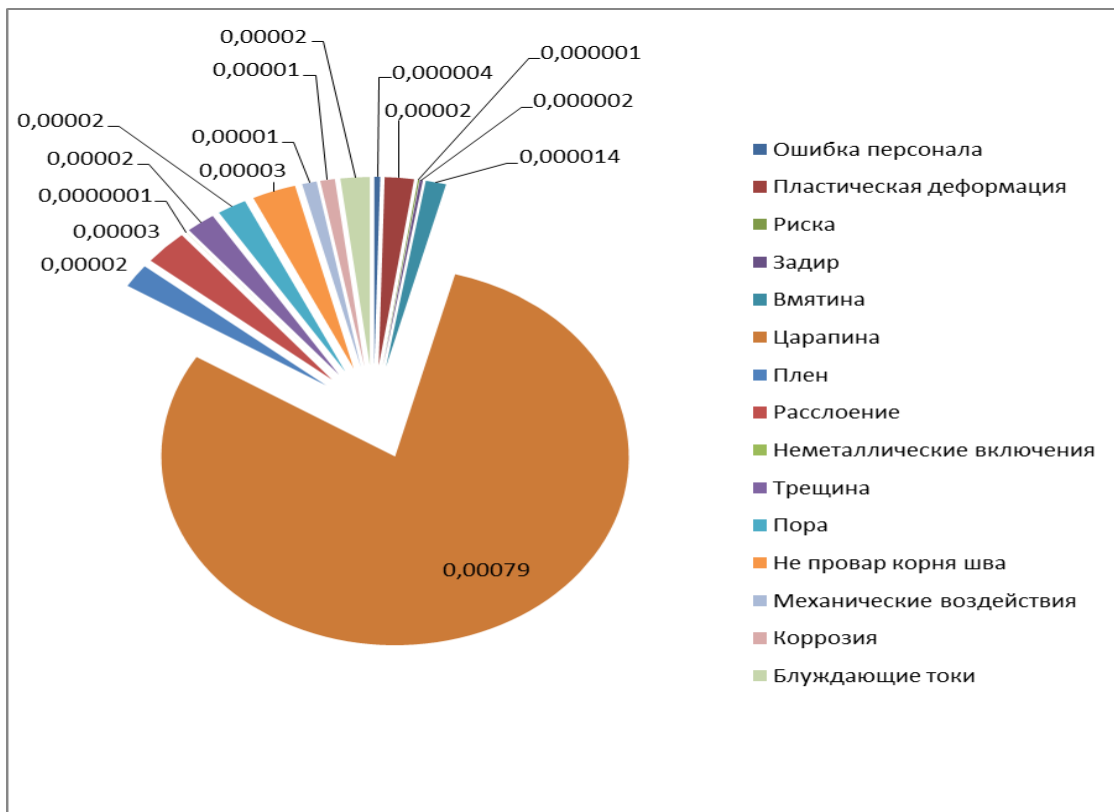


Рисунок 3.4.4. Зависимость вероятности события от вида дефекта.

Из данной диаграммы видно, что основной причиной разрыва газопровода являются царапины, остальные виды дефектов заметно от них отстают, поэтому особо внимание следует уделять именно этим дефектам.

					Аварии на газопроводах	Лист
						46
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

4. Гильотинный разрыв газопровода.

Основные факторы, при разрыве газопровода на полное сечение (гильотинный разрыв) реализуются по четырем сценарием:

1. Возникновение сжимающей воздушной волны с расширением природного газа в атмосфере, выбрасываемым из разрушенного газопровода под большим давлением из его объема при воздействии избыточного давления и импульса, получаемого от разлета частей труб (фрагментов) и обломков грунта.
2. Горение газовоздушной смеси, которая формируется не менее 10 минут после разрушения, за образованием сжатых волн воздушной смеси за счет процесса распространение пламени на открытом пространстве.
3. Образование огненного шара, возникшее на первых стадиях истечения газа разрушенного трубопровода с дальнейшим появлением возгорания газовоздушной смеси за время не более 60 секунд после разрушения газопровода.
4. Горение газовоздушной смеси с воздействием теплового поля от пламени, при горении струй газа, вырывающиеся из разрушенной части трубопровода.[7]

					Математическое моделирование гильотинного разрыва трубопровода под водой		
Изм	Лист	Ф.И.О.	Под.	Дата			
Разраб.		Ардт А.В.			Гильотинный разрыв газопровода	Литера	Лист
Руковод.		Цимбалюк А.Ф.					47
Консульт.							131
Зав. каф.		Рудаченко А. В.				Кафедра транспорта и хранения нефти и газа Группа 2Б2Б	

Возможные формы факельного горения.

- 1) Котлованный факел – выброс грунта в форме котлована.

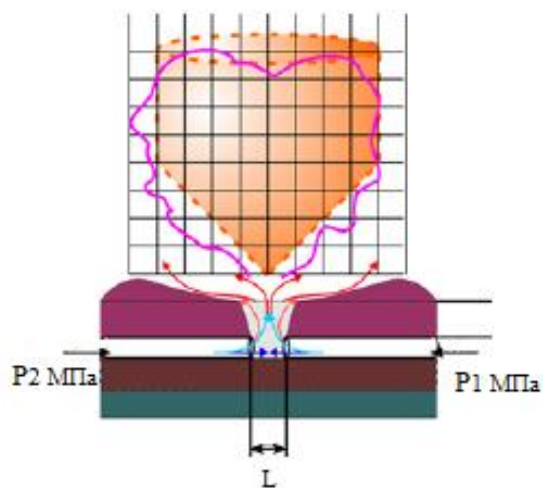


Рис. 4.1. Котлованный факел.

- 2) Симметричный факел - это когда симметричное расположение осей разрушенного участка трубы и влияния скоростных струй газа, которые приподняты над поверхностью земли без образования воронки. [7]

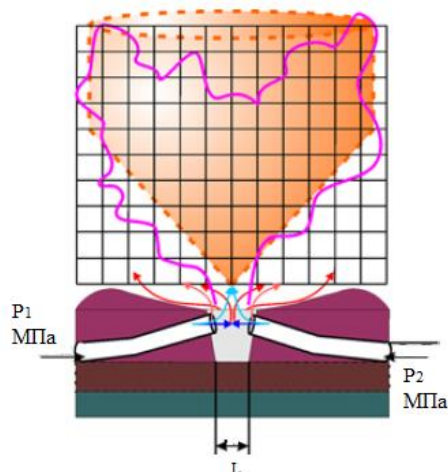


Рис. 4.2. Симметричный факел.

					Гильотинный разрыв газопровода	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		48

3) Асимметрический фактор - асимметричное расположение труб

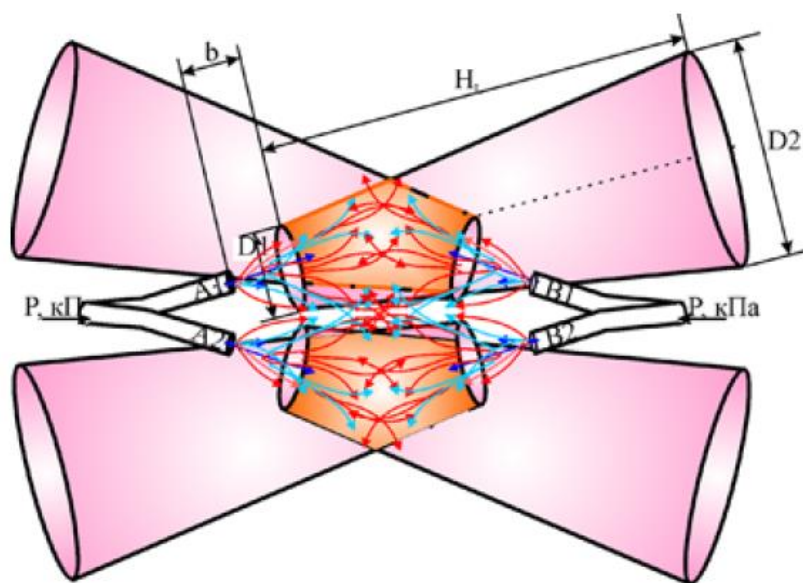


Рис. 4.3. Асимметрический факел.

Теперь рассмотрим конкретные факторы, влияющие на такой тип разрыва.

Во-первых, нужно рассмотреть группу факторов, которые непосредственно в этом участвуют. Наличие подводных переходов морских, речных и влияние явлений природы, таких как наводнения или землетрясения, присутствие запорной арматуры, эрозионные процессы и переходы через различные коммуникации, например дороги, или другие трубопроводы.

Во-вторых, рассмотрим вторую группу факторов влияющие на развитие сценариев при аварии, это пересечение трубопровода с ЛЭП или кабелями связи так же с автодорогами или железными дорогами и характеристика грунтов в которых залегает трубопровод, но развитие сценариев при авариях носят случайный характер и определяются сочетанием многих факторов,

					Гильотинный разрыв газопровода	Лист
						49
Изм.	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

например, таких как вид грунта, время года и самое главное это наличие вблизи источников возгорания. [7]

Первый фактор: Грунт.

Грунт оказывает влияние на вероятность возникновения аварии и на развитие различных сценариев.

Граница грунтов складывается, как правило, не четко. Для примера можно выделить участок, определенной длины L (переходная зона) при этом дать ему высокое значение λ [7].

$$\lambda = \lambda_{\text{пер}} * K$$

(1)

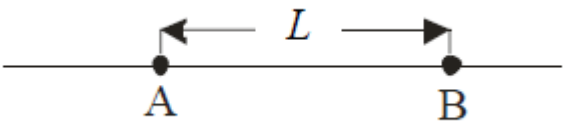


Рис. 4.4.Участок длиной АВ.

K - коэффициент, определяемый по результатам анализа данных о ЧС. Граница грунтов значительно влияет на сценарий факельного горения и разделяется в отношении от полной группы событий ($P_{\text{фг}} = 1$)

Но данное деление на данный момент в процессе разработки.

Второй фактор: Запорная арматура.

Запорная арматура является местом повышенной опасности для возникновения разрыва магистрального газопровода (МГ). При рассмотрении этого фактора нужно опираться на статистические данные, которые

показывают что вероятность аварии около 40 % именно на запорной арматуре. Фазы горения, на которых определяются характеристиками грунта [7].

$$\frac{P_{за}}{3A}$$

Рис. 4.5.Участок с запорной арматурой.

Третий фактор: Пересечение с другими газопроводами.

При пересечении с газопроводами увеличивается вероятность возникновения разрыва магистрального газопровода (МГ), вследствие того что разрыв на данном участке пресекающий магистральный газопровод может привести за собой разрыв второго магистрального газопровода что существенно увеличивает величину ущерба для участка [7].

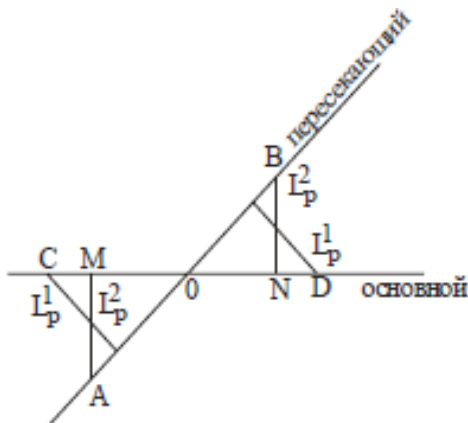


Рис. 4.6.Участок с пересечение с другими газопроводами.

Приведем пример (рис.3.6). Пусть АВ - участок, пересекающий магистральный газопровод, разрыв которого может оказать воздействие на основной газопровод (МГ). CD – это участок основного магистрального

газопровода и MN основной магистральный газопровод на который может быть оказано влияние разрыва пересекающим его газопроводом [7].

Выберем сетку и обозначим точки C, M, N, D.

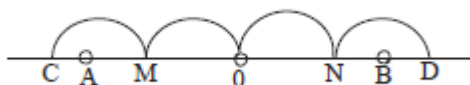


Рис. 4.7. Сетка с обозначением.

В центре то есть в точке O приписываем вероятность возникновения аварии на отрезке MN основного магистрального газопровода и так же вероятность разрыва при аварии на отрезке пресекающем его газопровода AB. Вероятность разрыва на данной схеме будет следующая:

$$P_c = P_{|MN+AB|} = a * |MN| + a * \frac{L_p^1}{\sin \alpha} = 2a * \frac{L_p^2}{\tan \alpha} + a * \frac{L_p^2}{\sin \alpha} = a * L_p^2 * \left(\frac{2 \cos \alpha}{\sin \alpha} + \frac{1}{\sin \alpha} \right) = a L_p^2 * \left(1 + \frac{2 \cos \alpha}{\sin \alpha} \right) \quad (2)$$

Четвертый фактор. Пересечение с ЛЭП.

Разрыв Магистрального газопровода вблизи от линий электропередач, обычно приводит к их разрушению и падению. При обрыве в месте произошедшей аварии магистрального газопровода обычно приводит к воспламенению и дальнейшему взрыву газа за счет появления искры от ЛЭП. Такое обстоятельство влечет за собой изменение сценария в неопределенном направлении в зависимости от окружающих магистральный газопровод условий. Данный фактор значительно увеличивает ущерб нанесенный разрывом магистрального газопровода [7].

					Гильотинный разрыв газопровода	Лист
						52
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

Есть определенной расстояние, при котором разрыв магистрального газопровода влечет за собой опрокидывание опор ЛЭП и взрыва газовоздушной смеси.

Пятый фактор. Перенесение с автомобильными или железнодорожными магистралями.

При пересечении магистрального газопровода с автомобильными или железнодорожными магистралями влияние оказывается нагрузками от транспортных средств на развитие чрезвычайной ситуации.

Можно предположить, что после выхода газовоздушной смеси может произойти возгорание при возникновении искры. Это так же значительно влияет на оказываемый ущерб от разрыва [7].

4.2 Распространение взрывных и акустических волн

На распространение акустической волны под водой, значительное влияние оказывает свойство среды (например, морской). В морской среде имеется неоднородность акустических свойств. С глубиной изменяется как температура, так и соленость в ней. При этом в ней содержится известковые твердые частицы и пузырьки газа. Так же неоднородность морских вод усугубляется наличием турбулентных потоков и течений [8].

Вертикальное распределение температуры в морской среде оказывает наибольшее влияние на акустические свойства среды, который еще к тому же меняется в соответствии с суточным и сезонным уменьшением или увеличением количества тепла которое поступает в свою очередь от солнца [8].

Температура на поверхности океанов характеризуется колебанием и достигает от 0,2 до 0,4 °С, а годовые колебания от 8 до 18 °С. Распределение температуры различается в разных районах океана и зависит от различных причин. Глубина одна из причин распределения температуры. В глубокие моря делят на 3 основных слоя это поверхностный слой, слой температурных скачков и глубоководный слой. Поверхностный слой характеризуется подверженностью суточных и сезонных изменений. Глубинный слой не подвержен суточным и сезонным изменениям температуры, а слой температурного скачка характеризуется резкими перепадами температур. Глубина залегания слоя и температура слоя зависит от интенсивности нагрева верхнего слоя [8].

					Гильотинный разрыв газопровода	Лист
						54
Изм.	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

Второй не менее важной характеристикой является соленость морской воды, определяемая количеством растворенных минеральных веществ в воде, выражаемая в граммах на килограмм воды. Соленость морской воды составляет около 35 ‰. В мировом океане соленость колеблется от 33 до 37 ‰ [8].

В зависимости от глубины соленость меняется от 1,5 километров, ниже этого уровня она постоянная. На распространение солености по глубине влияют различные факторы, такие как испарение поверхности, осадки и таяния льдов. Так же значительно меняется соленость при смешении морей и океанов. Соленость воды значительно влияет на её сжимаемость, чем выше соленость, тем меньше сжимаемость.

Еще одним важнейшим фактором для распространения ударных волн является гидростатическое давление вышележащих слоев. На различной глубине слои воды подвергаются воздействию гидростатического давления вышележащих слоев. Вследствие изменения температуры гидростатическое давление и соленость меняются. Меняется и плотность морской воды при нагреве, при повышении температуры плотность воды уменьшается и возрастает гидростатическое давление и соленость. Изменение сжимаемости главный фактор распространения ударных волн [8].

Затухание волн при распространении в океане происходит как за счет сферического расхождения волнового фронта, но и из-за поглощения энергии в воде и рассеяния ее на неоднородностях. Поглощение волн в водной среде в основном вследствие внутреннего трения и теплопроводности, а так же это связано со сдвиговой и объемной вязкостью. Сила сдвиговой вязкостью

					Гильотинный разрыв газопровода	Лист
						55
Изм.	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

возникает при скольжении одного слоя относительно другого. При быстрых процессах сжатия и разряжения в воде, происходящее распространение акустической волны, происходит искажения структуры молекул воды. На восстановление искаженной структуры требуется определенное время равное 10^{-11} секунд [8].

Потери на теплопроводность обусловлена тем, что распространение акустической волны в водной среде не является полностью адиабатическим. Часть энергии идет на неизбежное нагревание водной среды. Существенное затухание так же обусловлено рассеянием его поверхностью и дном океана, это приводит к появлению на поверхности воздушных пузырьков [8].

Рельеф дна не является идеальной отражательной границей. При наличии на дне незначительных неровностей делает волну с большей интенсивностью рассеивания во всех направлениях не зависимо от угла падения акустических волн.

4.3 Общая характеристика подводного взрыва

Для рассмотрения характеристики подводного взрыва необходимо рассмотреть общие положения, которые касаются взрывного процесса. По взрыву, можно определить с какой скоростью протекают изменения физического или химического состояния данного вещества из потенциальной энергии в кинематическую энергию сжатых газов. При возникновении взрыва работа, которая совершается, обуславливает быстрое расширение газообразных продуктов взрыва.

При взрыве сопровождается распространение ударной волны, под

					Гильотинный разрыв газопровода	Лист
						56
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

воздействием начального импульса. То есть из центра распространяется во всех направлениях ударная волна, оставляя позади себя раскаленные газы под высоким давлением и огромной температурой до нескольких тысяч градусов [9].

Нагревание газообразных продуктов взрывчатых веществ и паров воды сопровождается выделением энергии с электромагнитным излучением с большим диапазоном длин волн. При детонации волна достигает границы между зарядом и водой, она переходит в воду при этом создавая интенсивную ударную волну. У границы раздела образуется вторичная ударная волна, с движением в обратном направлении к центру в газообразных продуктах, но после отражения вторичная ударная волна движется в обратном направлении к границе газового пузыря. Такой процесс повторяется неоднократно с последующим затуханием [9].

					Гильотинный разрыв газопровода	Лист
						57
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

4.4 Параметры ударной волны.

Главным параметром ударной волны является давление. После произведенного взрыва в произвольных точках давление мгновенно возрастает до максимального значения в момент прихода фронта ударной волны в эту точку. Прохождении ударной волны происходит по экспоненциальному закону.

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

Характер спада давления в ударной волне возникающих на глубине 150-200м. Отмечено то что после того как давление упадет до $\frac{1}{10}$ своего начального значения P_m , спад становится более медленный и происходит приблизительно по закону [9]:

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

Для зарядов, взорванных на больших глубинах (до 8000м) рассмотрим следующий характер изменения давления в ударной волне. В отличие от случая взрывов на мелководья, спад давления в хвостовой части ударной волны при взрывах на больших глубинах происходит более быстро [9] Это изображено на рисунке:

					Гильотинный разрыв газопровода	Лист
						58
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

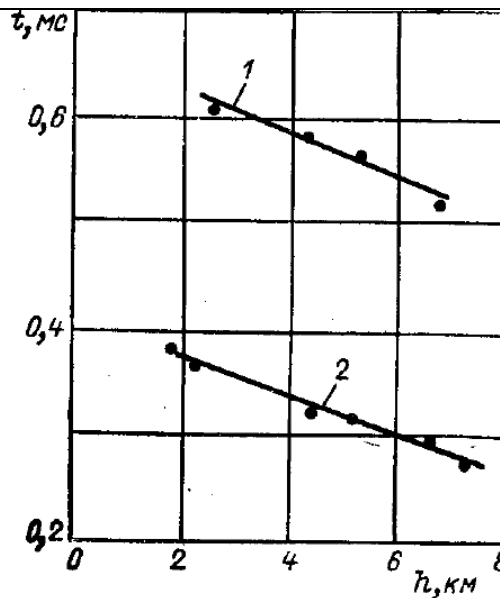


Рис. 3.4.1. Зависимость продолжительности воздействия ударной волны от глубины.

На рис. 3.4.1 представлены результаты эксперимента по определению продолжительности воздействия ударной волны в зависимости от глубины и зарядов разной массы [9]. Из данного эксперимента были выведены эмпирические зависимости максимального давления для P_m и постоянной времени a_0 , от массы заряды ω и расстояния от места взрыва R :

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

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

На более близких расстояниях спад давления идет более быстро в соответствии с креном $\left(\frac{R}{\omega^{\frac{1}{3}}} \right)^{-1,5}$, Широкое развитие этих методов было дано в трудах М.В. Кирпичева, Л.И. Седова и др. [9].

					Гильотинный разрыв газопровода	Лист
						59
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

Закон подобия при подводных взрывах основан на том, что с течением времени общий характер ударной волны не меняется.

Пусть в некоторой точке M_1 на расстояние R_1 от места взрыва заряда массой ω_1 в момент времени t_1 давление равно p_1 , а в точке M_2 на расстоянии R_2 от места взрыва заряда массой ω_2 в момент времени t_2 давление будет равно p_2 [9].

Рассматриваемые два физических явления- взрыв различной массы зарядов если характеризуют их величины давления в оправленных точках, могут быть получены одна из другой линейным преобразованием:

$$P_2 = a_1 p_1, \quad (5)$$

где a_1 - коэффициент подобия для давления.

При этом расстоянии и время соответственно преобразуются также по линейному закону с одним и тем же коэффициентом подобия а [9].

$$R_2 = a * R_1; t_2 = at_1. \quad (5)$$

Для рассмотренных выше подводных взрывов в качестве базовой величины примем линейный размер заряда l . Если размер первого заряда l_1 , а второго l_2 то аналогично соотношению имеем:

$$l_2 = al_1 \quad (6)$$

Таким образом , при рассмотрении явлений подводного взрыва зарядов различной массы в качестве приведенного расстояния и времени берут соответственно величины $R/\omega^{1/3}$ и $t/\omega^{1/3}$ [9].

					Гильотинный разрыв газопровода	Лист
						60
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

Таким образом, изменение давления в ударной волне с расстоянием происходит быстрее, чем в сферической акустической волне, в которой спад давления обратно пропорционален расстоянию. Это объясняется потерями энергии ударной волны на необратимые процессы. [9]

4.5 Газовый пузырь при подводном взрыве.

Впоследствии взрыва в воде за ударной волной происходит образование газового пузыря, который участвует в сложных динамических процессах, совершает колебания и перемещается в направлении к поверхности. Скорость перемещения газообразного пузыря в морской воде гораздо меньше скорости звука. Вследствие этого я представлю движение газового пузыря с хорошим приближением. Ускорение потока жидкости в радиальных направлениях оказывается более чем значительна силы тяжести, из чего можно сделать вывод что можно не принимать при рассмотрении в задачах касающихся газовых пузырей [9].

Основные отношения, которые относятся к колебаниям газового пузыря. При быстрых колебаниях пузыря происходит изменение давления внутри самого пузыря, считается происходящей по адиабатическому закону. [9]

$$\frac{P}{P_{\Pi}} = \left(\frac{r_{\Pi}}{r}\right)^{3\gamma} \quad (7)$$

Обозначения.

P_{Π} - давление внутри пузыря в некоторое время t , при радиусе пузыря

$r(t) = r_{\Pi}$ показана на рисунке **Рис. 3.5.1.** γ - отношение удельных теплоемкостей для газообразных продуктов от взрыва.

					Гильотинный разрыв газопровода	Лист
						61
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

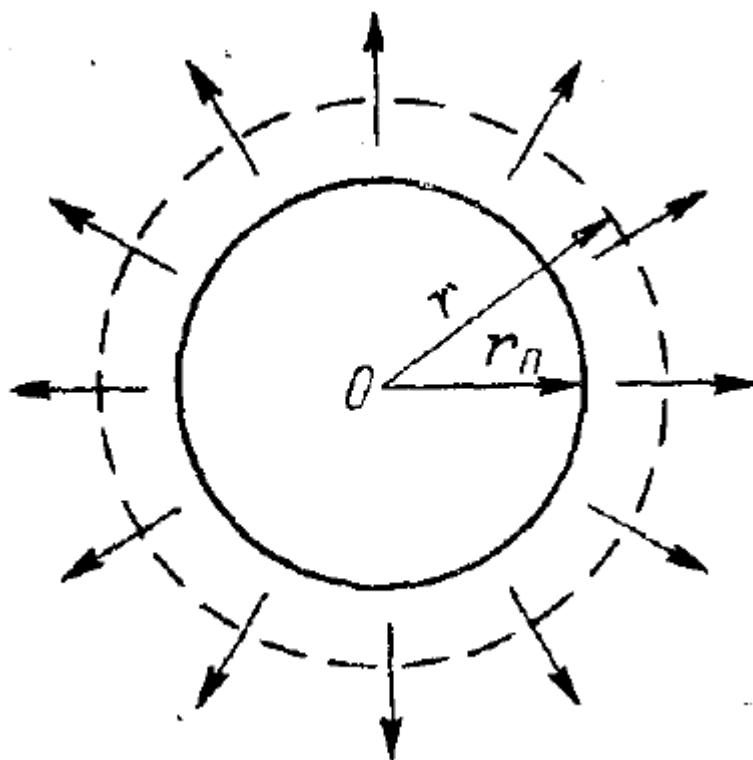


Рис.3.5.1.Пульсация газового пузыря.

Радиус пузыря $r(t)$ описывается уравнением.

$$r(t) * d^2 * \frac{r(t)}{dt^2} + \frac{3}{2} * \left(\frac{dr(t)}{dt} \right)^2 = (p - p_{h_0}) * \frac{1}{p} \quad (11)$$

Обозначения:

P -давление внутри пузыря, Па.

P -плотность воды, кг/м³

p_{h_0} -гидростатическое давление, Па.

					Гильотинный разрыв газопровода	Лист
						62
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

По мере того когда пузырь газа расширяется, давление внутри него уменьшается и в дальнейшем становится равным давлению p_{h_0} в жидкости. [9]

Для нахождения максимального радиуса используем формулу (11)

$$r_{max} = \left(\frac{5p_n}{2p_{h_0}} \right)^{\frac{1}{3}} * r \quad (11)$$

Скорость подъема газового пузыря рассчитывается по формуле:

$$m u = \frac{4}{3} * \pi * \rho * g \int_u^t (R(\tau))^3 * d\tau \quad (12)$$

Обозначение:

m- Эффективная масса, пропорциональная массе воды в объеме пузыря; u- средняя скорость подъема пузыря м/с; g- сила тяжести, м/с.

Сила выталкивания пузыря, приводит к быстрому нарастанию импульса в момент, когда размеры пузыря становятся близкими к максимальным. В этот момент импульс, направленный вертикально, оказывается распределённым в относительно большом объеме воды, поскольку эффективная масса пузыря велика. Наоборот, в период сжатия при минимальных размерах пузыря импульс концентрируется в малой области, так как эффективная масса пузыря мала. Это и приводит возрастанию скорости его движения в вертикальном направлении [9].

					Гильотинный разрыв газопровода	Лист
						63
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

После взрыва заряда сферической формы образуется газовый пузырь, который можно принять за сферу. При всплытии пузыря под влиянием силы тяжести его сферической форма нарушается, и он приобретает дискообразную тороидальную форму. В этом случае газовый пузырь может потерять устойчивость и разрушиться на более мелкие пузырьки. Отклонение от сферической формы пузыря может быть обусловлено и другими причинами; например, цилиндрической формой заряда, близостью свободной поверхности моря, дна или других преград [9].

					Гильотинный разрыв газопровода	Лист
						64
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

4.5.1 Взрыв вблизи поверхности.

При взрыве у поверхности воды наблюдается явления, как возмущение свободной поверхности, выброс воды в форме различных фонтанов, а так же образование вблизи поверхности области кавитации. Возникновение этих явлений обусловлено наличием границы раздела между водной средой и атмосферой. Ударная волна, вызванная подводным взрывом, достигая границы раздела с менее плотной средой, частично переходит в эту среду, а частично отражается, образуя волну разрежения.

Возникновение волны разрежения обуславливается тем, что в воздухе при падении вызванной подводным взрывом ударной волны на границу раздела водной среды и воздуха не может образоваться сколько-нибудь значительного давления. Действительно на границе раздела сред должно выполняться равенство нормальных скоростей частиц воды и воздуха [9].

Возникшая волна разрежения, распространяется в направлении, противоположном направлению падающей ударной волны, и складываясь с ней, образует область пониженного давления. Это приводит к возникновению в жидкости растягивающих усилий. Образующиеся в жидкости разрывы сплошности сопровождается появлением малых пузырьков, пульсация которых вызывает химические реакции свечение, излучение звука. Эти явления называются кавитацией.

Жидкости, не содержащие примесей, способны выдерживать без разрыва сплошности высокие растягивающие напряжения. Так, дистиллированная вода, не содержащая примесей, выдерживает растягивающие напряжения до $25 \cdot 10^6$

					Гильотинный разрыв газопровода	Лист
						65
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

Па. Однако в естественных водоемах вода, не является однородной, а содержит большое количество взвешенных частиц и множество воздушных пузырьков которые образует космического излучения и волнения моря, поэтому возникновения кавитации в естественных водоемах происходит при значительно меньших растягивающих напряжений [9].

4.5.2 Подводный взрыв вблизи жесткой границы.

Ударная волна, возникшая при подводном взрыве заряда, достигая жесткой границы (или подводной преграды), отражается от нее. Процесс ударной волны от поверхности жесткой границы зависит как от угла падения, так и от интенсивности падающей волны [9].

При малых углах падения между поверхностью границы и фронтом падающей ударной волны для волны любой амплитуды будет осуществляться регулярное отражение, при котором точка пересечения падающего и отраженного фронтов ударной волны находится на самой отражающей поверхности. Существует допустимые и предельные углы отражения [9].

В случае если возникшая отраженная волна изменяет течение жидкости за падающей волной еще до того момента, когда фронт падающей волны достигнет отражающей поверхности. В результате отраженный фронт пересекается с падающим фронтом на некотором расстоянии от поверхности. Между точкой пересечения и поверхностью образуется фронт третьей ударной волны, распространяющейся вдоль стенки [9].

					Гильотинный разрыв газопровода	Лист
						66
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

4.6. Разрыв магистрального газопровода.

При разрыве магистрального трубопровода под водой сжатый газ под высоким давлением вырывается в окружающую среду, формируя ударную волну, которая может негативно повлиять на параллельно проложенный трубопровод или другие коммуникации. Для того чтобы оценить последствия от сжатой волны на другие технологические объекты или объекты морской инфраструктуры была разработана методика позволяющая определить влияние факторов на протекания процессов при разрыве подводного газопровода [10].

При разрушении газопровода газ начинает вырываться в окружающую среду под действием разности давлений (газ-жидкость). В приближенной области формируется волна сжатия, которая распространяется со скоростью звука в жидкости (около 1500м/с) при давлении газопровода 10 МПа скорость звука в газе будет около 400- 450 м/с. После того как газопровод разорвался часть потенциальной энергии от газа переходит в кинетическую энергию воды [10].

Начало разрушению газопровода в большинстве случаев начинается от трещины, при расширении которой происходит раскрытие её и образуется взаимодействие газа и воды.

					Гильотинный разрыв газопровода	Лист
						67
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

Формирование сжатой волны в воде при учете всех особенностей разрушение трубопровода [10].

1 стадия: Образование трещины и рост её впоследствии коррозии до критического размера.

2 стадия: Быстрый рост трещины с различной скоростью с последующим раскрытия металла трубы. Скорость раскрытия трещины зависит от напряжения трубы.

3 стадия: Раскрытие трещины и начало вырывания газа в водную среду, и формирование сжимающей волны и идущей за ней волной скоростного напора

					Гильотинный разрыв газопровода	Лист
						68
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

5. Моделирование цилиндрической ударной волны

Для численного моделирования распространения цилиндрической ударной волны, образующейся после гильотинного разрыва подводного газопровода, будем использовать метод Годунова [17]. Основным элементом этого метода является задача о распаде произвольного разрыва

5.1. Задача о распаде произвольного разрыва с двучленным уравнением состояния

Будем рассматривать плоское одномерное движение газа, которое описывается системой интегральных уравнений (законов сохранения массы, импульса, энергии и закон изменения энтропии) и скалярного двучленного уравнения состояния:

$$\begin{aligned} \oint_L \rho dx - \rho u dt &= 0, \\ \oint_L \rho u dx - (p + \rho u^2) dt &= 0, \\ \oint_L E dx - (E + 2p) u dt &= 0, \\ \oint_L S dx - \rho u S dt &\geq 0, \end{aligned} \quad (1)$$

$$E = \rho(2e + u^2) = \frac{2(p - c_0^2(\rho - \rho_0))}{\rho(\gamma - 1)} + \rho u^2, \quad e = \frac{p - c_0^2(\rho - \rho_0)}{\rho(\gamma - 1)},$$

$$p_0 = \frac{1}{\gamma} \rho_0 c_0^2.$$

Здесь L – произвольный замкнутый контур, в плоскости переменных x, t

					Математическое моделирование гильотинного разрыва трубопровода под водой				
Изм	Лист	Ф.И.О.	Под.	Дата					
Разраб.		Арндт А.В.			Задача о распаде произвольного разрыва с двучленным уравнением состояния		Литера	Лист	Листов
Руковод.		Цимбалюк А.Ф.						69	131
Консульт.							Кафедра транспорта и хранения нефти и газа Группа 2Б2Б		
Зав. каф.		Рудаченко А. В.							

(геометрическая координата, время), e – удельная (отнесенная к единице массы) внутренняя энергия, p – давление, ρ – плотность, u – скорость, c – скорость звука, γ – показатель адиабаты, E – полная энергия среды, ρ_0, c_0 – некоторые характерные давление, плотность и скорость звука, определяющие термодинамику сжимаемой сплошной среды. Это может быть вода, металл при высоких давлениях. При $\rho_0 = 1, c_0 = 0$ имеет место модель политропного газа.

В частности, для воды в [13,15] приводятся следующие значения определяющих констант:

$$\rho_0 = 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}, p_0 = 3047 \text{ бар} = 3,047 \cdot 10^8 \text{ Па}, \gamma = 7,15, c_0 = 1,476 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Система (1) допускает существование разрывных решений (ударных волн и контактных разрывов). В каждой точке разрыва выполнены соотношения Рэнкина-Гюгонио:

$$\begin{aligned} [\rho]D - [\rho u] &= 0, \\ [\rho u]D - [(p + \rho u^2)] &= 0, \\ [\rho(e + u^2/2)]D - [\rho u(e + u^2/2) + pu] &= 0, \end{aligned} \quad (2)$$

Здесь $[]$ – разность значений параметров до и после разрыва, D – скорость движения разрыва.

Пусть в момент времени $t=0$ слева от плоскости $x = 0$ находится сжимаемые среды, подчиняющиеся различным уравнениям состояния, с параметрами $(\rho_0, c_0, p, u, \rho)_1$, а справа – $(\rho_0, c_0, p, u, \rho)_2$. В случае если начальные параметры не являются решением (2), данный разрыв в последующие моменты времени существовать не может и распадается. Данная задача

					Задача о распаде произвольного разрыва с двучленным уравнением состояния	Лист
						70
Изм.	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

является автомодельной, то есть ее решение зависит от одной переменной $\xi = x / t$:

$$u = u(\xi), p = p(\xi), \rho = \rho(\xi), e = e(\xi).$$

Для случая политропного газа ее решение можно найти в курсах газовой динамики [11, 12], а для случая сжимаемой среды, описываемой двучленным уравнением состояния в [13]. Ниже приводится краткое описание итерационного алгоритма решения задачи, предложенного в [13] и распространенного на случай различных сред по обе стороны разрыва. Обозначения максимально приближены к исходному варианту [13].

На рис.5.1 приведены возможные варианты распада произвольного разрыва. На нижнем фрагменте рисунка показана предельная конфигурация с областью вакуума, которая обычно в силу ее экстравагантности исключается из рассмотрения.

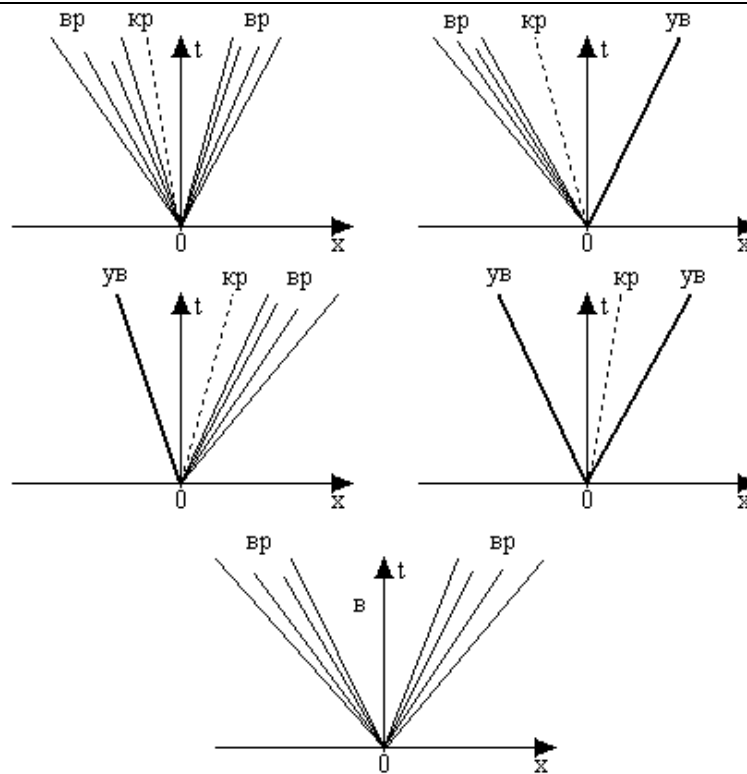


Рис.5.1.1.

Варианты распада произвольного разрыва

(КР – контактный разрыв, ВР – веер волн разрежения, УВ – ударная волна, В - вакуум).

Обозначим постоянные значения скорости и давления в областях слева и справа от контактного разрыва обозначим как P и U , а различные значения плотности и, следовательно, внутренней энергии, как R_1, E_1 - для левой и R_2, E_2 - для правой области. Приведем без вывода ряд сведений из газовой динамики.

В веерах волн разрежения, параметры потока непрерывны вместе со своими производными, и имеет место решение Римана:

					Задача о распаде произвольного разрыва с двучленным уравнением состояния	Лист
						72
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

$$U - u_i \pm \frac{2c_i}{\gamma_i - 1} \left[1 - \left(\frac{P + p_{0,i}}{p_1 + p_{0,i}} \right)^{\frac{\gamma_i - 1}{2\gamma_i}} \right] = R_{\pm} = \text{const}, \quad \sigma(S) = \frac{\gamma_i (p_1 + p_{0,i})}{\rho^{\gamma}} = \text{const}, \quad (3)$$

здесь $R_{\pm}$ - инварианты Римана, $\sigma(S)$ – энтропийная функция, знак плюс берется для левой, а минус правой волны разрежения.

Проинтегрируем (3) для левого веера:

$$U - u_1 - \frac{2c_1}{\gamma_1 - 1} \left[1 - \left(\frac{P + p_{0,1}}{p_1 + p_{0,1}} \right)^{\frac{\gamma_1 - 1}{2\gamma_1}} \right] = 0,$$

В общем случае для веера волн разрежения можно записать:

$$U - u_i + (-1)^i \frac{2c_i}{\gamma_i - 1} \left[1 - \left(\frac{P + p_{0,i}}{p_i + p_{0,i}} \right)^{\frac{\gamma_i - 1}{2\gamma_i}} \right] = 0, \quad i = 1, 2.. \quad (4)$$

Вводя массовые скорости $-a_i$:

$$U - u_i - (-1)^i \frac{P - p_i}{a_i} = 0, \quad i = 1, 2. \quad (5)$$

где:

$$a_i = \frac{\gamma_i - 1}{2\gamma_i} \rho_i c_i \frac{1 - \frac{P + p_{0,i}}{p_i + p_0}}{1 - \left(\frac{P + p_{0,i}}{p_i + p_{0,i}} \right)^{\frac{\gamma_i - 1}{2\gamma_i}}}. \quad (6)$$

Если P и U известны, то значения плотности слева и справа от контактного разрыва можно определить по формулам:

$$R_i = \gamma \frac{P}{(c_i^*)^2}, \quad (7)$$

$$c_i^* = c_i - (-1)^i \frac{\gamma - 1}{2} (u_i - U).$$

c_i^* - представляет скорость крайней характеристики, примыкающей (в случае левой волны разрежения) к зоне 3 постоянных параметров.

					Задача о распаде произвольного разрыва с двучленным уравнением состояния	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		73

В случае ударной волны, на ней выполняются соотношения (2). Из них, используя уравнение состояния (1) можно получить зависимости (5), в которых массовые скорости определяются выражениями:

$$a_i = \sqrt{\rho_i \left[\frac{\gamma_i + 1}{2} (P + p_{0,i}) + \frac{\gamma_i - 1}{2} (p_i + p_{0,i}) \right]}. \quad (8)$$

$$U - u_i - (-1)^i \frac{P - p_i}{a_i} = 0, \quad i = 1, 2. \quad (5)$$

Значение для плотности ρ при прохождении газа через ударную волну определяется адиабатой Гюгонио:

$$R_i = \rho_i \frac{(\gamma_i + 1)(P + p_{0,i}) + (\gamma_i - 1)(p_i + p_{0,i})}{(\gamma_i - 1)(P + p_{0,i}) + (\gamma_i + 1)(p_i + p_{0,i})}. \quad (9)$$

Таким образом, имеем два в общем случае нелинейных уравнения для двух неизвестных U и P (5). Исключая из полученных соотношений, скорость контактного разрыва U , получаем основное уравнение (в общем случае нелинейное) для определения давления P :

$$F(P) \equiv f(P, p_1, \rho_1) + f(P, p_2, \rho_2) = u_1 - u_2, \quad (10)$$

где функцию F , ее первую и вторую производную можно записать как:

$$f(P, p_i, \rho_i, \gamma_i) = \begin{cases} \frac{P - p_i}{\rho_i c_i \sqrt{\frac{\gamma_i + 1}{2\gamma_i} \pi_i + \frac{\gamma_i - 1}{2\gamma_i}}}, & P \geq p_i, \\ \frac{2}{\gamma_i - 1} c_i \left(\pi_i^{\frac{\gamma_i - 1}{2\gamma_i}} - 1 \right), & P < p_i, \end{cases} \quad (11)$$

$$\pi_i = \frac{P + p_{0,i}}{p_i + p_{0,i}}, \quad c_i = \sqrt{\gamma_i \frac{p_i + p_{0,i}}{\rho_i}}.$$

					Задача о распаде произвольного разрыва с двучленным уравнением состояния	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		74

$$f'(P, p_i, \rho_i, \gamma_i) = \begin{cases} \frac{(\gamma_i + 1)\pi_i + (3\gamma_i - 1)}{4\gamma_i \rho_i c_i \sqrt{\left(\frac{\gamma_i + 1}{2\gamma_i}\pi_i + \frac{\gamma_i - 1}{2\gamma_i}\right)^3}}, & P \geq p_i, \\ \frac{1}{\gamma_i (P + p_{0,i})} c_i \pi_i^{\frac{\gamma_i - 1}{2\gamma_i}}, & P < p_i. \end{cases} \quad (12)$$

$$f''(P, p_i, \rho_i, \gamma_i) = \begin{cases} -\frac{(\gamma_i + 1)[(\gamma_i + 1)\pi_i + (7\gamma_i - 1)]}{16\gamma_i \rho_i^2 c_i^3 \sqrt{\left(\frac{\gamma_i + 1}{2\gamma_i}\pi_i + \frac{\gamma_i - 1}{2\gamma_i}\right)^5}}, & P \geq p_i, \\ -\frac{(\gamma_i + 1)}{2\gamma_i^2 (P + p_{0,i})^2} c_i \pi_i^{\frac{\gamma_i - 1}{2\gamma_i}}, & P < p_i. \end{cases} \quad (13)$$

В случае, когда $p_1 \neq p_2 \neq 0$, график функции $F(P)$ схематично изображен на рис.5.2. Не нарушая общности, предположим, что $p_1 \leq p_2$, в случае невыполнения этого условия положительное направление оси x меняется на противоположное.

Зная значения функции $F(P)$ в точках $P = 0, p_1, p_2$ можно еще до решения уравнения (10) определить, какая из конфигураций, приведенных на рис.5.1, возникает при распаде разрыва. Следуя авторам алгоритма, обозначим эти значения следующим образом:

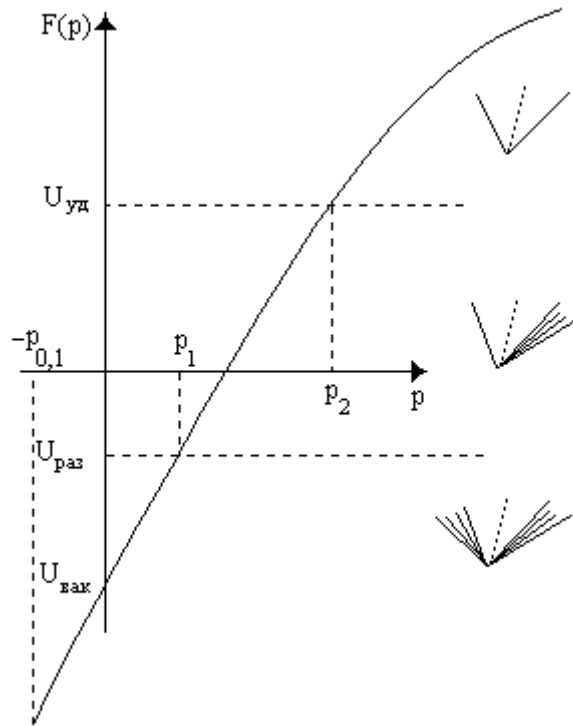


рис.5.1.2.

$$\begin{aligned}
 F(p_2) = U_{уд} &= \frac{p_2 - p_1}{\sqrt{\rho_1 \left[\frac{\gamma_2 + 1}{2} (p_2 + p_{0,2}) + \frac{\gamma_1 - 1}{2} (p_1 + p_{0,1}) \right]}} \geq 0, \\
 F(p_1) = U_{раз} &= -\frac{2c_2}{\gamma_1 - 1} \left[1 - \frac{(p_1 + p_{0,1})^{\frac{\gamma_1 - 1}{2\gamma_1}}}{(p_2 + p_{0,2})^{\frac{\gamma_2 - 1}{2\gamma_2}}} \right] \leq 0, \\
 F(-p_{0,1}) = U_{вак} &= -\frac{2c_1}{\gamma_1 - 1} - \frac{2c_2}{\gamma_2 - 1}.
 \end{aligned} \tag{14}$$

Отметим, что они зависят только от начальных значений параметров по разные стороны от распада.

Из графика функции $F(P)$ следует:

1. Если $u_1 - u_2 \geq U_{y\partial}$. Тогда $P > p_2$ и, следовательно, $P > p_1$. Вправо и влево распространяются ударные волны (1,1).

2. Если $U_{раз} < u_1 - u_2 < U_{y\partial}$. Тогда $p_1 < P < p_2$. Влево–ударная волна, вправо–волна разрежения (0,1).

3. Если $U_{вак} < u_1 - u_2 < U_{раз}$. Тогда $-p_0 < P < p_1$, возникают две волны разрежения (0,0).

4. Если $u_1 - u_2 < U_{вак}$. Возникает область вакуума, в которой следует полагать $P = -p_0, R = 0$. Скорость контактного разрыва отсутствует, а уравнение (10) вещественных корней не имеет.

Таким образом, в первых 3-х случаях, уравнение (10) всегда имеет единственный корень.

Уравнение (10) нелинейное и, его решение может быть получено численно. Авторы алгоритма предлагают использовать для этого итерационный метод касательных Ньютона:

$$P^{(k)} = P^{(k-1)} - \frac{f(P^{(k-1)}, p_1, \rho_1) + f(P^{(k-1)}, p_2, \rho_2) - (u_1 - u_2)}{f'(P^{(k-1)}, p_1, \rho_1) + f'(P^{(k-1)}, p_2, \rho_2)}. \quad (15)$$

Здесь k – номер итерации.

Так как $F(P)$ является выпуклой функцией, т.е. при всех $P > 0$:

$$f'(P, p_i, \rho_i) > 0, f''(P, p_i, \rho_i) < 0, \quad (16)$$

					Задача о распаде произвольного разрыва с двучленным уравнением состояния	Лист
						77
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

то начальное приближение авторы рекомендуют выбирать из условия:

$$F(P^{(0)}) < u_1 - u_2. \quad (17)$$

В качестве одного из возможных алгоритмов расчета начального приближения $P^{(0)}$ берется «звуковой распад разрыва», то есть решение линеаризованного уравнения (10):

$$\frac{P - p_1}{\sqrt{\rho_1 \left(\frac{\gamma_1 + 1}{2} P + \frac{\gamma_1 - 1}{2} p_1 + \gamma_1 p_{0,1} \right)}} + \frac{P - p_2}{\sqrt{\rho_2 \left(\frac{\gamma_2 + 1}{2} P + \frac{\gamma_2 - 1}{2} p_2 + \gamma_2 p_{0,2} \right)}} = u_1 - u_2,$$

в этом случае начальное приближение определяется как:

$$P^{(0)} = \frac{p_1(\rho c)_2 + p_2(\rho c)_1 + (u_1 - u_2)(\rho c)_1(\rho c)_2}{(\rho c)_1 + (\rho c)_2}. \quad (18)$$

Для завершения описания алгоритма решения задачи о распаде произвольного разрыва остается привести формулы для других величин, описывающих возможные конфигурации, указанные на рис.2. Все они могут быть легко найдены после того, как вычислено давление P на контактном разрыве. Для скорости контактного разрыва U имеем

$$U = \frac{a_1 u_1 + a_2 u_2 + p_1 - p_2}{a_1 + a_2},$$

где a_1, a_2 – массовые скорости, вычисленные на последней итерации.

Если левая волна является ударной, то ее скорость

$$D_1 = u_1 - \frac{a_1}{\rho_1}, \quad (21)$$

а плотность R_1 вычисляется по адиабате Гюгонио:

					Задача о распаде произвольного разрыва с двучленным уравнением состояния	Лист
						78
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

$$R_1 = \rho_1 \frac{(\gamma_1 + 1)(P + p_0) + (\gamma_1 - 1)(p_1 + p_0)}{(\gamma_1 - 1)(P + p_0) + (\gamma_1 + 1)(p_1 + p_0)} = \frac{\rho_1 a_1}{a_1 - \rho_1(u_1 - U)} \quad \square$$

Если левая волна является волной разрежения, то скорости крайних характеристик, ее ограничивающих, вычисляются по формулам

$$D_1 = u_1 - c_1, \quad D_1^* = U - c_1^*, \quad (22)$$

где $c_1^* = c_1 + \frac{\gamma_1 - 1}{2}(u_1 - U)$, а плотность R_1 в области слева от контактного разрыва – по формуле

$$R_1 = \gamma_1 \frac{P + p_0}{(c_1^*)^2}.$$

Аналогичные формулы выписываются для правой волны. Если она является ударной волной, то

$$D_2 = u_2 + \frac{a_2}{\rho_2}, \quad (23)$$

$$R_2 = \frac{\rho_2 a_2}{a_2 + \rho_2(u_2 - U)}$$

а если волной разрежения, то

$$D_2 = u_2 + c_2, \quad D_2^* = U + c_2^*, \quad (24)$$

$$c_2^* = c_2 - \frac{\gamma_2 - 1}{2}(u_2 - U),$$

$$R_2 = \gamma_2 \frac{P + p_0}{(c_2^*)^2}.$$

Пусть W – скорость движения грани разностной ячейки. Как вычисляются параметры на грани. Случаи $W < D_1, W > D_1^*$ тривиальны и не

					Задача о распаде произвольного разрыва с двучленным уравнением состояния	Лист
						79
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

рассматриваются. Рассмотрим случай $D_1 < W < D_1^*$, тогда

для левого ВР выполняется:

$$u_1 - U + \frac{2}{\gamma_1 - 1}(c_1 - C_w) = 0, W = U - C_w, R_w = \rho_1 \left(\frac{P_w}{P_1} \right)^{\frac{1}{\gamma_1}}$$

$$u_1 - W - C_w + \frac{2}{\gamma_1 - 1}(c_1 - C_w) = 0, U = W + C_w,$$

$$u_1 - W + \frac{2}{\gamma_1 - 1}c_1 = C_w \left(1 + \frac{2}{\gamma_1 - 1} \right) = C_w \frac{\gamma_1 + 1}{\gamma_1 - 1},$$

$$C_w = \frac{\gamma_1 - 1}{\gamma_1 + 1} \left(u_1 - W + \frac{2}{\gamma_1 - 1}c_1 \right) = \frac{\gamma_1 - 1}{\gamma_1 + 1} \left(u_1 - W + \frac{2}{\gamma_1 - 1}c_1 \right),$$

$$C_w = \frac{[2c_1 + (u_1 - W)(\gamma_1 - 1)]}{\gamma_1 + 1}$$

для правого ВР веера:

$$u_2 - U - \frac{2}{\gamma_2 - 1}(c_2 - C_w) = 0, W = U + C_w,$$

$$u_2 - W + C_w - \frac{2c_2}{\gamma_2 - 1} + \frac{2}{\gamma_2 - 1}C_w = 0,$$

$$C_w + \frac{2}{\gamma_2 - 1}C_w = -u_2 + W + \frac{2c_2}{\gamma_2 - 1},$$

$$\frac{\gamma_2 + 1}{\gamma_2 - 1}C_w = W - u_2 + \frac{2c_2}{\gamma_2 - 1},$$

$$C_w = \frac{\gamma_2 - 1}{\gamma_2 + 1} \left(W - u_2 + \frac{2c_2}{\gamma_2 - 1} \right),$$

$$C_w = \frac{[2c_2 + (\gamma_2 - 1)(W - u_2)]}{\gamma_2 + 1} = \frac{[2c_2 - \gamma_2 - 1)(u_2 - W)]}{\gamma_2 + 1}.$$

					Задача о распаде произвольного разрыва с двучленным уравнением состояния	Лист
						80
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

5.2 Реализация плоской задачи и верификация метода

Введем в плоскости t, x сетку (рис.5.3). Условимся обозначать верхним полуцелым индексом параметры на новом временном слое, а нижним на старом. Целыми индексами и большими буквами будем обозначать параметры на «боковых гранях». Проинтегрируем (1) по расчетной ячейке в предположении постоянства параметров на гранях:

$$\begin{aligned}\rho^{i-\frac{1}{2}}(x^i - x^{i-1}) &= \rho_{i-\frac{1}{2}}(x_i - x_{i-1}) + (\bar{M}_{i-1} - \bar{M}_i)\tau, \\ \rho u^{i-\frac{1}{2}}(x^i - x^{i-1}) &= \rho u_{i-\frac{1}{2}}(x_i - x_{i-1}) + (\bar{J}_{i-1} - \bar{J}_i)\tau, \\ \rho E^{i-\frac{1}{2}}(x^i - x^{i-1}) &= \rho E_{i-\frac{1}{2}}(x_i - x_{i-1}) + (\bar{E}_{i-1} - \bar{E}_i)\tau.\end{aligned}\tag{25}$$

$$\begin{aligned}\bar{M}_i &= [R(U - W)]_i, \\ \bar{J}_i &= [P + RU^2]_i = P_i + (MU)_i, \\ \bar{E}_i &= [R(E + U^2)U + PU]_i = (E + U^2)_i M_i + (PU)_i,\end{aligned}\tag{26}$$

Для вычисления больших величин (26) используется распад разрыва. При расчете давления в ячейке на новом слое используется уравнение состояния:

$$\begin{aligned}E - \rho u^2 &= \frac{2(p - c_0^2(\rho - \rho_0))}{(\gamma - 1)}, \\ p - c_0^2(\rho - \rho_0) &= \frac{(\gamma - 1)}{2}(E - \rho u^2), \\ p &= \frac{(\gamma - 1)}{2}(E - \rho u^2) + c_0^2(\rho - \rho_0).\end{aligned}\tag{27}$$

Шаг по времени τ вычисляется из условия устойчивости Куранта (необходимо, что бы возмущение из узла сетки со старого слоя не доходило до

					Задача о распаде произвольного разрыва с двучленным уравнением состояния	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		81

соседних узлов сетки на новом слое).

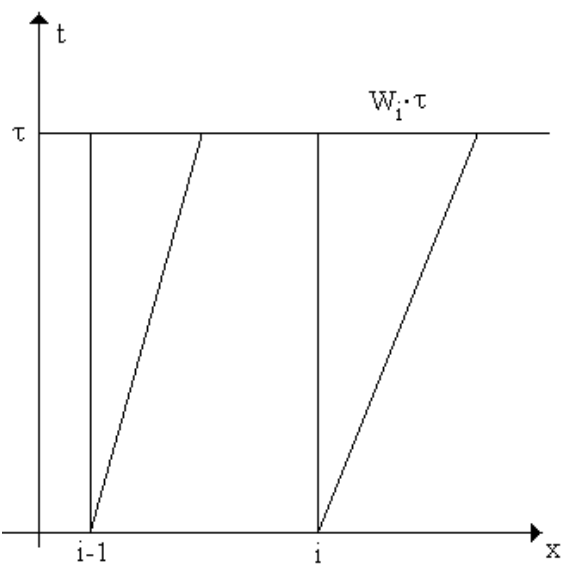


Рис. 5.2.3 Разностная сетка.

5.3 Компьютерная программа «FORTRAN»

1. Программный комплекс GOD_1D_W1

Расчет истечения газа при гильотинном разрыве с использованием метода С. К. Годунова, был реализован в компьютерной программе GOD_1D_W1 для решения одномерных уравнений газовой динамики различными вариантами.

Запуск программы осуществляется посредством исполняемого файла (GOD_1D_W1.exe). Файл, состоящий из названия программы и имеющий расширение .DAN – содержит названия всех файлов исходных данных и управляющих параметров программы. Файл с расширением .res – массивы данных, в виде удобном для их обработки в пакете Exel. Расширение .nag указывает на файл тепловой нагрузки, заданной в виде массивов значений от времени. Для удобства пользователя алгоритм ввода исходных данных так же

был максимально унифицирован. В частности, ввод параметров ВП практически одинаков во всех программах. Поэтому опишем его применительно к программе GOD_1D_W1. Значения всех параметров содержатся в файле параметров. В качестве примера приведем файл GOD_1D_W1.DAN.(Таблица 5.3.1).

Таблица 5.3.1 Данные для программы GOD_1D_W1

<i>значение</i>	<i>вводимая величина</i>
Слева	
.10000E+07	Давление, Па.
.10000E+06	Плотность, кг/ м ³ .
0.00001	Скорость, м/с.
Справа	
.10000E+05	Давление, Па.
.10000E+05	Плотность, кг/ м ³ .
0.00001	Скорость, м/с.
7.15000	Показатель адиабаты газа.
.14760E+14	Скорость звука в среде, м/с.
.30470E+19	При давлении,Па.
1.00000	Длина области расчета
0.45000	Демпфер шага по времени
0.00010	Относительная точность по Р
100	Число расчетных ячеек <1000
0.20000	Время расчета
1	Цвет
1	Тип значка
10000E+03	Максимальное значение на графике

Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Институт природных ресурсов
Кафедра транспорта и хранения нефти и газа
Программа тестирования разностных схем
GOD_1D_W1 для решения одномерных уравнений
газовой динамики различными вариантами
метода С.К.Годунова двучленное уравнение состояния
Авторы: Цимбалюк А.Ф., доц., к.ф.-м.н. м/т 8-905-990-1080 e-mail: afctqu@yandex.ru
Арндт А.В. студент гр. 2Б2Б
версия N 01-001 от 9.06.2014
Нажмите на любую клавишу

Рис 5.3.1 Титульный лист программы GOD_1D_W1

Данный файл можно редактировать посредством системы меню. На рис. 5.3.2 представлена последовательность действий по внесению исходных данных.

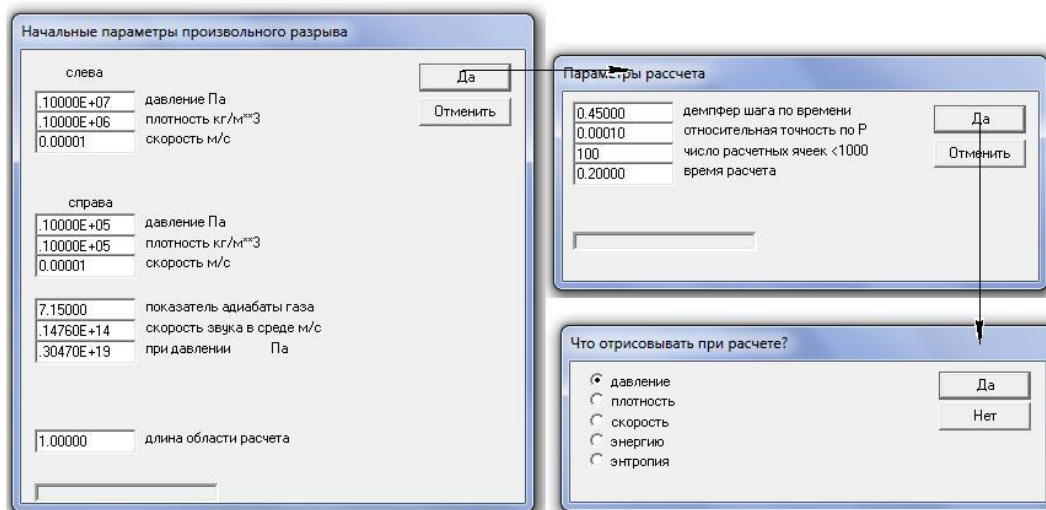


Рис 5.3.2 Последовательность действий по внесению исходных данных.

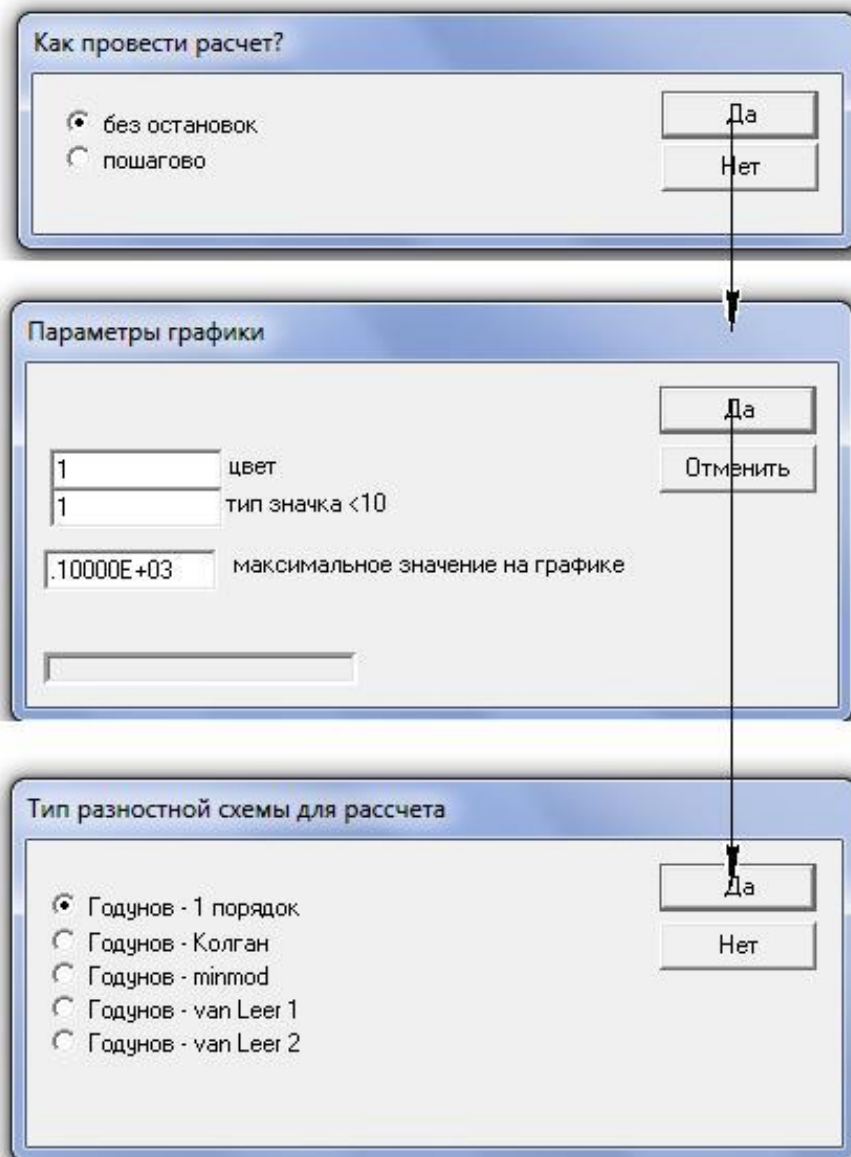


Рис 5.3.3 Последовательность действий по внесению исходных данных

После окончания ввода эти значения выводятся на экран в виде значков (рис. 5.3.3), после чего производится построение монотонной сплайн-аппроксимации, которая также в виде графика выводится на экран.

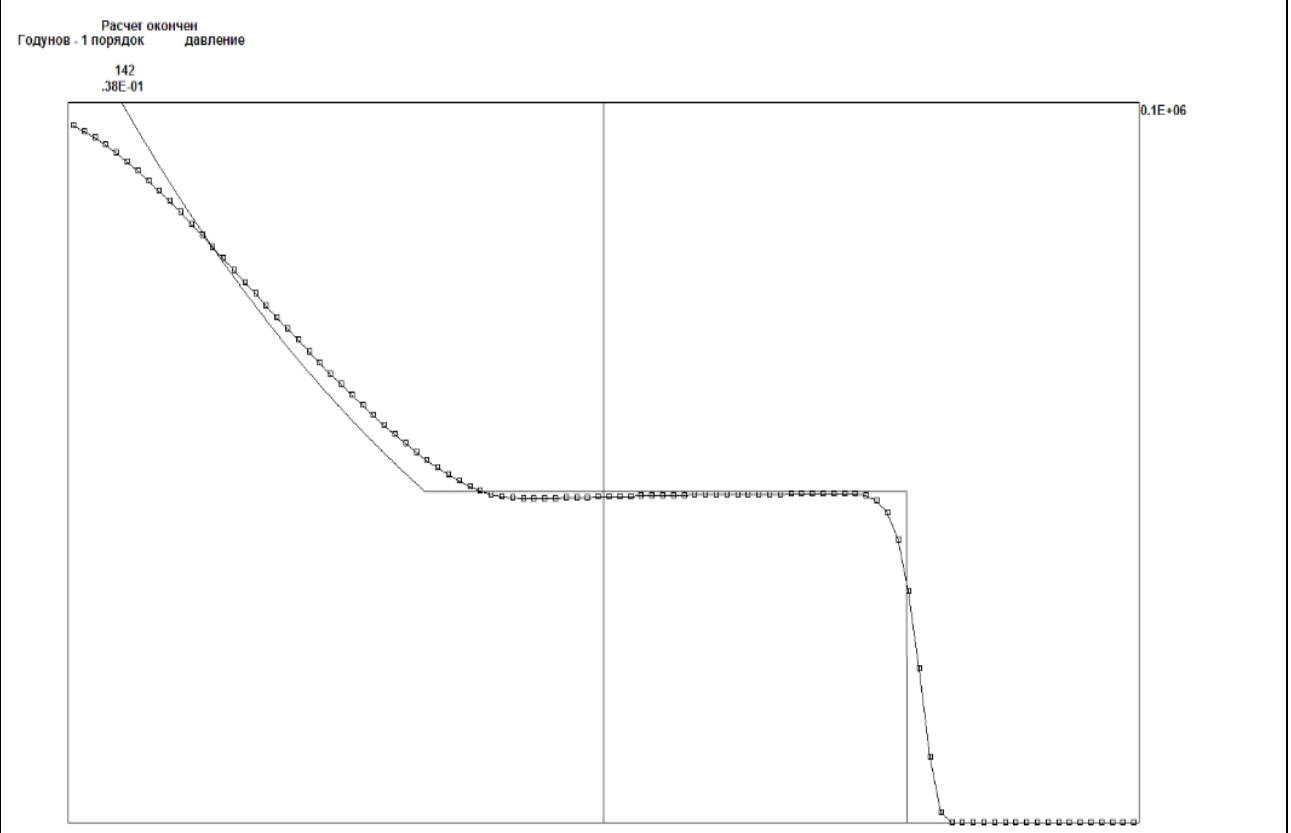


Рис. 5.3.4 конечная зависимость.

Заключение:

В данном разделе рассмотрено плоское одномерное движение газа, описанное системой интегральных уравнений (Законов сохранения массы, импульса, энергии с учетом закона изменения энтропии) и скалярного двучленного уравнения. Так же представлено решение задачи о распаде произвольного разрыва подводного с учетом двух различных сред (газа и жидкости), описываемых двучленным уравнением состояния. Предложена постановка задачи о моделировании аварии подводного газопровода с использованием метода С.К. Годунова.

					Задача о распаде произвольного разрыва с двучленным уравнением состояния	Лист
						87
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

6. Производственная безопасность

Надежная и эффективная работа магистральных газопроводов зависит от характеристик надежности, которые закладываются на стадии проектирования и строительства и поддерживаются на стадии эксплуатации путем технического обслуживания и ремонта.

6.1. Анализ опасных и вредных производственных факторов

Вредными производственными факторами называются факторы, отрицательно влияющие на работоспособность или вызывающие профессиональные заболевания и другие неблагоприятные последствия.

Согласно ГОСТ 12.0.003-74 опасные и вредные факторы по природе действия подразделяются на химические, физические, биологические и психофизиологические. В данном случае биологический фактор можно исключить. К химическому фактору относят воздействия на организм человека токсических веществ через органы дыхания.

1. Термическое воздействие на человека

Термическое воздействие на человека связано с перегревом и последующими биохимическими изменениями верхних слоев кожи. Человек ощущает сильную (едва переносимую) боль, когда температура верхнего слоя кожного покрова (-0,1 мм) повышается до 45 °С. Время достижения "порога боли" τ , с, связано с плотностью теплового потока q , кВт/м

					Математическое моделирование гильотинного разрыва трубопровода под водой		
Изм	Лист	Ф.И.О.	Под.	Дата			
Разраб.		Ардт А.В.			Социальная ответственность	Литера	Лист
Руковод.		Цимбалюк А.Ф.					88
Консульт.		Алексеев Н.А.				Кафедра транспорта и хранения нефти и газа Группа 2Б2Б	
Зав. каф.		Рудаченко А. В.					
						Листов	131

При плотности теплового потока менее 1,7 кВт/м² боль не ощущается даже при длительном тепловом воздействии. Степень термического воздействия зависит от величины теплового потока и длительности теплового излучения. При относительно слабом термическом воздействии будет повреждаться только верхний слой кожи (эпидермис) на глубину около 1 мм (ожог I степени – покраснение кожи). Увеличение плотности теплового потока или длительности излучения приводит к воздействию на нижний слой кожи – дерму (ожог II степени – появление волдырей) и подкожный слой (ожог III степени). Здоровые взрослые люди и подростки выживают, если ожоги II и III степени охватывают менее 20% поверхности тела. Выживаемость пострадавших даже при интенсивной медицинской помощи резко снижается, если ожоги II и III степени составляют 50% и более от поверхности тела.

2. Повышенный уровень шума

Источниками шума в полевых условиях являются звуки, вызванные в результате производственной деятельности объектов. Действие шума на человека определяется влиянием на слуховой аппарат и многие другие органы и системы организма, в том числе и нервную систему.

- Громкость ниже 80 дБ обычно не влияет на органы слуха.
- Длительное действие шума > 85 дБ в соответствии с нормативными документами и ГОСТ 12.1.003-83 (1999) ССБТ. Приводит к постоянному повышению порога слуха, к повышению давления.

Средства коллективной защиты разрабатываются согласно СНиП П-12-77:

- Снижение шума в источнике (применение звукоизолирующих средств);

					Социальная ответственность	Лист
						89
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

- Глушители.
- Средства индивидуальной защиты:
- Ушные вкладыши;
- Противошумный шлем;
- Наушники

3. Повышенная загазованность воздуха рабочей среды

При ремонте, перехода газопровода через водную преграду, основным опасным производственным факторам является: химический испарение, утечка, вредных веществ при выбросе газа, такие как метан, одорант, газоконденсат описанные в пункте (5.2.3)

При производстве таких видов работ, имеют место случаи получения тяжелых травм. Как правило, это связано с не соблюдение правил техники безопасности рабочих при производстве работ.

В качестве коллективного средства защиты используются вентиляционные установки. В качестве индивидуальных средств защиты применяют респираторы и марлевые повязки.

4. Повреждения в результате контакта с насекомыми

В районах, где имеются кровососущие насекомые в большом количестве (клещи, комары, мошки и т.д.), работники должны быть оснащены соответствующими средствами защиты, а так же накомарниками.

В полевых условиях наиболее опасны укусы энцефалитного клеща. Поэтому нужно уделять особое внимание профилактике энцефалита. Основное

					Социальная ответственность	Лист
						90
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

профилактическое мероприятие – противоэнцефалитные прививки, которые создают у человека устойчивый иммунитет к вирусу. Также, при проведении ремонтов необходимо:

- иметь противоэнцефалитную одежду;
- проводить осмотр одежды и тела 3-4 раза в день.

При заболевании энцефалитом происходит поражение центральной нервной системы.

5. Механическое воздействие

Механическое воздействие на человека происходит при обрушении зданий и сооружений, падении деревьев и столбов, ударе тела о препятствие (землю) при отбрасывании ударной волной и образующимися при взрыве осколками. Случаи поражения человека при обрушении зданий, падении деревьев имеют вероятностный характер и могут быть оценены только по усредненным статистическим данным.

6. Барическое воздействие на человека

При разрыве газопровода образуется ударная волна, характеризующаяся избыточным давлением ΔP_F , кПа, и импульсом фазы сжатия $+ I$, кПа*с, негативно воздействующая на человека.

					Социальная ответственность	Лист
						91
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

Приведу общую характеристику барического воздействия взрыва на человека, к Па [18]

Таблица 6.1. Воздействие взрыва на человека.

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

6.2 Экологическая безопасность на магистральных газопроводах

Наиболее опасные воздействия на окружающую среду оказываются при порывах газопровода. Порыв газопровода возникает в связи с дефектами, коррозии, механических повреждениях, а так же стихийных бедствиях.

Самый опасный вид аварии на газопроводе это неуправляемое истечение газа в атмосферу. То есть в месте повреждения идет выброс газа под давлением в окружающую среду. Аварии, связанные с природным газом, который содержит в большей части, метан имеет относительно локальный характер. Наибольший ущерб наносится тепловым воздействием от ударной волны.[19]

Выброс газа существенно не оказывает влияния на окружающую среду если принимать характер аварии как кратковременный выброс газа, газ способен рассеиваться и быстро уходить в верхние слои атмосферы и отсутствует токсикологическое воздействие на живые организмы и окружающую среду, но если же порыв будет с дальнейшим возгоранием ущерб будет более значительным.

Предотвращение аварийных ситуаций на газопроводе предусмотренные проектной документацией проводят следующие мероприятия:[19]

- На все оборудование должны быть сертификаты завода изготовителя и Ростехнадзора.
- Монтаж газопровода выполняют специализированная организация.
- Производится контроль сварных швов.
- Производятся осмотры линейной части с определенной периодичностью в соответствии с нормативно технической документации, направленные

					Социальная ответственность	Лист
						93
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

на предупреждения возникновения внештатной ситуации.

- Выброс газа существенно не оказывает влияния на окружающую среду, если принимать характер аварии как кратковременный выброс газа, газ способен рассеиваться и быстро уходить в верхние слои атмосферы и отсутствует токсикологическое воздействие на живые организмы и окружающую среду.

6.2.1 Изменение состояния окружающей среды под воздействием газопровода

Для того чтобы газопровод не оказывал заметного влияния на экологию района необходимо: [19]

- Проведений мероприятий по охране и рациональном использовании земельных ресурсов, для сведения к минимуму воздействия на земельные ресурсы.
- Загрязнение атмосферы при транспортировке природного газа не происходит, но при строительстве газопровода происходит кратковременное воздействие на атмосферу по всей длине трассы.
- Строительство и эксплуатация газопровода не влияет на состояние водную среду (подземные воды).
- Проведение мероприятий по сбору, транспортировке, обезвреживании, размещении отходов, которые оказывающие воздействие на окружающую среду впоследствии их утилизации будет максимально снижены. При эксплуатации загрязнения отходами не происходит.
- Поскольку выброс газа существенно не оказывает влияния на окружающую среду, если принимать характер аварии как

					Социальная ответственность	Лист
						94
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

кратковременный выброс газа, газ способен рассеиваться и быстро уходить в верхние слои атмосферы и отсутствует токсикологическое воздействие на живые организмы и окружающую среду, авария губительного воздействия не оказывает.

Из выше сказанного можно сделать вывод что строительство и эксплуатация не оказывает заметного влияния на экологическую ситуацию.

6.2.2 Последствия воздействия и мероприятия по снижению воздействия.

Последствиями негативного воздействия на почвенно-растительный покров являются:

- изменение рельефа;
- уничтожение растительности;
- развитие безлесных ландшафтов.

Для снижения воздействия на поверхность земель в период производства работ проектной документацией предусмотрены следующие мероприятия: [19]

- первоочередное строительство внутриплощадочных проездов;
- проезд строительной техники только в пределах зоны производства работ;
- своевременная уборка мусора и отходов для исключения загрязнения территории отходами производства;
- запрещение использования неисправных, пожароопасных транспортных и строительно-монтажных средств;
- применение строительных материалов, имеющих сертификат качества;

					Социальная ответственность	Лист
						95
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

- для исключения разлива ГСМ заправка техники осуществляется на временной площадке с твердым покрытием и обваловкой, после завершения работ площадка демонтируется;
- размещение отвалов грунта в пределах границ зоны производства работ;
- выполнение работ, связанных с повышенной пожароопасностью, специалистами соответствующей квалификации;
- планировка зоны производства после окончания работ для сохранения направления естественного поверхностного стока воды;
- рекультивация нарушенных земель.

Для снижения суммарных выбросов загрязняющих веществ в атмосферу в период строительства предусмотрено: [19]

- применение в процессе производства работ веществ, строительных материалов, имеющих сертификаты качества;
- запрещение разведения костров и сжигания в них любых видов материалов и отходов;
- проведение периодического экологического контроля выбросов автотранспорта и строительной техники силами подрядчика;
- исключение использования при ремонте материалов и веществ, выделяющих в атмосферу токсичные и канцерогенные вещества, неприятные запахи и т. д.;
- оперативное реагирование на все случаи нарушения природоохранного законодательства.

Проектной документацией предлагаются следующие природоохранные мероприятия, направленные на защиту атмосферного воздуха в зоне

					Социальная ответственность	Лист
						96
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

производства работ:

- контроль топливной системы механизмов, а также системы регулировки подачи топлива, обеспечивающих полное его сгорание (силами подрядчика) для удержания значений выбросов загрязняющих веществ от автотранспорта и строительной техники в расчетных пределах;
- допуск к эксплуатации машин и механизмов в исправном состоянии, контроль над состоянием технических средств, способных вызвать загорание естественной растительности.

Загрязнение атмосферы происходит только в период производства работ и является временным. [19]

В целях защиты поверхностных и подземных вод от загрязнения на период производства работ предусмотрены следующие мероприятия:

- соблюдение требований, предусмотренных Водным Кодексом Российской Федерации (в ред. от 21 октября 2013 г. N 282-ФЗ);
- соблюдение условий водопользования на основании заключенных договоров и решений на право пользования водным объектом;
- соблюдение правил выполнения работ в охранной зоне магистральных трубопроводов;
- планировка строительной полосы после окончания работ для сохранения естественного стока поверхностных и талых вод;
- проезд строительной техники в пределах зоны производства работ;
- оборудование рабочих мест и бытовых помещений контейнерами для бытовых отходов для предотвращения загрязнения поверхности земли, контейнеры для мусора размещены на площадке складирования

					Социальная ответственность	Лист
						97
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

материалов;

- своевременный вывоз промышленных отходов и бытовых отходов с площадки производства работ на санкционированную свалку или полигон;
- запрещена мойка машин и механизмов на строительной площадке;
- заправка машин и механизмов на специально оборудованной площадке с твердым покрытием за пределами ВЗ и ПЗП;
- применение строительных материалов, имеющих сертификат качества.

Для исключения нежелательных последствий на окружающую среду предусмотрены следующие мероприятия: [19]

1. Исключен слив воды на водосборную площадь без отстаивания, поскольку в котлован с водой могут поступить загрязняющие вещества, попавшие в трубопровод при транспортировке и монтаже. Загрязняющие вещества представлены частицами грунта, песка и незначительного количества продуктов коррозии металла. Удаление взвесей предусмотрено отстаиванием воды во временном котловане. После отстаивания качество воды в котловане будет практически соответствовать ее исходному состоянию, так как процесс испытаний происходит без изменения температуры и химического состава воды, а содержащиеся в воде взвешенные вещества легко выпадают в осадок при естественном отстаивании.[19]

2. Предполагаемая концентрация взвешенных веществ в воде, сливаемой в котлован после проведения гидравлических испытаний, составит 641,89 г/м³, после отстаивания - не более 64,189 г/м³. Отстоявшуюся воду решено слить на водосборную площадь в пониженное место. Перед сбросом воды из котлована

					Социальная ответственность	Лист
						98
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

на водосборную площадь следует провести анализы на содержание взвешенных веществ и оксида железа.[19]

3. Для исключения фильтрации воды через стенки котлована предусмотрена гидроизоляция днища и стенок полиэтиленовой пленкой, с последующим вывозом на полигон.[19]

4. После окончания работ по забору воды предусмотрено восстановление береговой линии реки.[19]

5. Котлован для слива воды после гидроиспытаний, размещен на строительной полосе. После опорожнения котлован предусмотрено засыпать местным грунтом, поверхность земли рекультивировать. [19]

6. Очищенная вода после отстаивания сливается в лоток из половины трубы Ду 1420 мм, в котором просверлены отверстия для постепенного слива воды на водосборную площадь в пониженную местность. [19]

7. С целью предупреждения загрязнения воды, используемой для гидравлических испытаний, в процессе ремонта необходимо принимать меры, исключающие попадание внутрь трубопровода воды, снега, грунта и посторонних предметов. Не допускается разгрузка труб на неподготовленную площадку и волочение их по земле. Для предотвращения загрязнения внутренней полости труб следует устанавливать временные заглушки на отдельные трубы или секции (плети) при их длительном хранении на стройплощадке.[19]

					Социальная ответственность	Лист
						99
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

8. Всасывающая линия насоса, подающего воду в трубопровод, оборудована сетчатым фильтром, исключающим попадание в полость трубопровода песка, ила, торфа или посторонних предметов из водного объекта.[19]

9. После окончания работ прямки и отводящие каналы засыпать местным грунтом, поверхность земли рекультивировать.[19]

Для снижения отрицательного воздействия хранения топлива на площадке не предусмотрено. Заправку строительной техники решено выполнять из транспортных средств “с колес” на специально оборудованной для этого временной площадке заправки. Топливозаправщик будет находиться на площадке заправки в течение 1 часа один раз в три-четыре дня в течение всего периода проведения работ. Для исключения фильтрации временная площадка имеет твердое покрытие из дорожных плит. Для исключения растекания при случайном проливе топлива площадка обвалована, покрытие из плит устроено с уклоном к центральному лотку для самотечного стока случайно пролитого топлива в герметичную металлическую емкость объемом 1 м³. После наполнения емкость следует вывезти на очистные сооружения. [19]

					Социальная ответственность	Лист
						100
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

6.2.3 Утечка токсичных и вредных веществ и их влияние на человеческие организмы.

Природный газ бесцветен, значительно легче воздуха, малотоксичен, если не содержит вредных примесей более допустимых норм.

Если природный газ очищен в соответствии с требованиями ОСТ 51.81—82, «Газы горючие природные, подаваемые в магистральные газопроводы», его свойства мало отличаются от свойств метана.

Примеси тяжелых углеводородов изменяют свойства природного газа: повышают его плотность; снижают температуру воспламенения (НКПВ), следовательно, и допустимое объемное содержание газа в воздухе рабочей зоны; при значительном их содержании в газе придают ему запах бензина; снижают минимальную энергию зажигания.

Метан по санитарным нормам относится к 4-у классу опасности (малоопасные вредные вещества со значением ПДК в пересчете на С) – 300 мг/м³. Концентрационные пределы воспламенения в воздухе – 5–15% (по объему), температура воспламенения 645⁰С. Минимальная энергия зажигания, определяемая по методике ВНИИПО – 0,15 мДж.

Газоконденсат в газопроводе нестабилен. Упругость его паров при данной температуре равна давлению в газопроводе. При выпуске газоконденсата в емкость с более низким давлением или при его утечке из газопровода выделяются пары более легких углеводородов.

					Социальная ответственность	Лист
						101
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

Нестабильный газоконденсат содержит пропан-бутан и даже этан и пентан, определяющие высокую упругость его паров. Стабильные газоконденсаты в основном состоят из тяжелых углеводородов (пентан и вышекипящие – Cs) и 2–3 % более низкокипящих углеводородов (пропан и бутан).

Нестабильный и не полностью стабилизированный газоконденсат вследствие выделения из него в атмосферу паров тяжелых углеводородов повышает пожаро и газовзрывоопасность.

Высокая газовзрывоопасность газоконденсата характеризуется низкими значениями НКПВ их паров в воздухе, устойчивостью к рассеиванию тяжелых паров в атмосфере и сравнительно большой скоростью распространения пламени в паровоздушных смесях.

Пределы воспламенения и температура воспламенения паров газоконденсата значительно ниже, чем у природного газа; они тем ниже, чем больше плотность газоконденсата. Пары тяжелых углеводородов, выделяемые при стабилизации, а затем при испарении газоконденсата значительно тяжелее воздуха. Поэтому в безветренную погоду они стелются по поверхности земли, скапливаются в низких местах по рельефу местности и медленно рассеиваются, создавая иногда на большой территории скопление взрывоопасных смесей паров и воздуха с очень низким значением НКПВ. НКПВ паров стабильных газоконденсатов обычно равен 1,1–1,3 % (по объему)

Вредность паров газоконденсатов и сжиженных газов, если они не содержат непредельные углеводороды, сравнительно невелика. По степени

					Социальная ответственность	Лист
						102
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

воздействия на организм человека они относятся к 4 классу опасности (вещества малоопасные). Их ПДК в воздухе составляет так же, как для метана — 300 мг/м³ (в пересчете на С)

Газоконденсаты могут оказывать вредное воздействие на кожу человека, вызывая заболевания (сухость кожи, появление трещин, а иногда дерматиты, экземы и т. п.). Особенно опасно их попадание на слизистые оболочки. Газоконденсат, попавший на тело, следует смывать теплой водой с мылом. При утечке нестабильного газоконденсата происходит сильное местное охлаждение самой струи, а также металла и тел, на которые она попадает. Попадание струи газоконденсата на кожу тела человека может вызвать ее обморожение.

Одорант. В качестве одорантов, в основном, применяются меркаптаны, в частности этилмеркаптан (C₂H₅SH), обладающий следующими свойствами: плотность 0,839; температура кипения 37°C; концентрационные пределы воспламенения паров в воздухе 2,8-18,2 % (по объему); относится ко 2-му классу опасности (вещества высоко опасные), ПДК в воздухе рабочей зоны по санитарным нормам 1 мг/м³; температура воспламенения с воздухом 299°C; плотность паров при 0°C и 0,1 МПа (760 мм рт. ст.) 2 ,77 кгс/м³; упругость паров при 20°C 0,06 МПа (440 мм рт. ст.)

Меркаптаны в малых концентрациях вызывают головную боль и тошноту. В больших концентрациях они действуют на центральную нервную систему, вызывая судороги, паралич и смерть от остановки дыхания. Их действие сходно с действием сероводорода.

					Социальная ответственность	Лист
						103
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

Очень низка ПДК меркаптанов в воздухе населенных мест, например для метилмеркаптана она установлена равной $9 \cdot 10^{-6}$ мг/м³ (т. е. наименьшая из всех ПДК по санитарным нормам).

Меркаптаны с окислами металлов и щелочами образуют меркаптиды, которые при воздействии воздуха склонны к самовозгоранию (как пирофорные соединения).

Одорирование природного газа не делает его более токсичным. Расчетный расход этилмеркаптана при одоризации газа для бытового потребления 16 мг/м³ газа.

Сероводород. Сероводород (H₂S) бесцветный газ с запахом тухлых яиц. Плотность 1,54 кг/м³, по отношению к воздуху 1,19. Температура воспламенения 290 °С. Хорошо растворяется в воде. В водном растворе является слабой кислотой. Горит синеватым пламенем с образованием воды и сернистого газа (SO₂). Взрывоопасен, концентрационные пределы воспламенения 4,3–45,5 % (по объему).

Сероводород – сильный нервный яд, вызывающий смерть от остановки дыхания. На дыхательные пути и глаза действует раздражающе. Растворенный в воде при попадании на кожу человека вызывает покраснение и экзему.

Ощутимый запах сероводорода в воздухе отмечается при 1,4–2,3 мг/м³, значительный запах при 4 мг/м³; при 7–11 мг/м³ – запах тягостный. При более высоких концентрациях запах менее сильный, наступает привыкание.

Нахождение человека в атмосфере, содержащей 90–100 мг/м³

					Социальная ответственность	Лист
						104
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

сероводорода, в течение 4 ч вызывает головную боль, слезотечение, светобоязнь. При концентрации 200–280 мг/м³ наблюдается жжение в глазах, раздражение слизистых оболочек глаз и зева, металлический вкус во рту, усталость, головные боли, тошнота.

6.2.4 Мероприятия по охране атмосферы в период эксплуатации газопровода.

Процесс транспортировки природного газа исключает его попадание в атмосферу.

Основные задачи по повышению надежности газопровода относят:

- Технологический надзор над качеством ремонта газопровода.
- Плановый контроль коррозии
- Комплексное обследование мест пересечения с коммуникациями.
- Составление планов ремонта изоляционного покрытия.
- Наличие указателей на запорной арматуре.
- Периодический обход газопровода.

Оборудование газопровода может являться источником утечек, из-за недостаточной герметичности. Утечке на газопроводе не являются регламентной работой газопровода, и является аварийной ситуацией. Запрещается эксплуатация негерметичных задвижек. Утечки обнаруживаются обслуживающим персоналом при осмотре и немедленно устраняются. Выбросы при утечках от неплотной запорной арматуры не учитываются.

					Социальная ответственность	Лист
						105
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

6.2.5 Аварийно-диспетчерское обслуживание газораспределительных систем

1. Аварийное обслуживание газораспределительных систем производится круглосуточно АДС газораспределительной организации (эксплуатационной организации газораспределительной сети) .

2. На объектах СУГ и в организациях, имеющих собственную газовую службу, работы по аварийному обслуживанию выполняются персоналом этих организаций с привлечением, при необходимости, АДС в соответствии с планом локализации и ликвидации аварий .

Организации, имеющие собственную газовую службу, должны оказывать АДС практическую помощь в соответствии с согласованным с АДС планом взаимодействия [20].

3. При локализации и ликвидации аварий и аварийных ситуаций (инцидентов) персонал АДС выполняет работы, связанные с устранением непосредственной угрозы жизни и здоровью людей.

4. Структура, состав выполняемых работ, численность и квалификация персонала, материально-техническая оснащенность, объем эксплуатационной документации АДС определяется Положением, разрабатываемым с учетом технического состояния и условий эксплуатации обслуживаемой газораспределительной системы и утверждаемым техническим руководством эксплуатационной организации в установленном порядке.

5. Деятельность АДС и производство работ газовых служб предприятий по локализации и ликвидации аварий и аварийных ситуаций должны

					Социальная ответственность	Лист
						106
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

осуществляться в соответствии с требованиями ПБ 12-529, настоящего ОСТ и других действующих нормативно-технических документов, утвержденных в установленном порядке .

Организация, осуществляющая аварийное обслуживание, должна иметь необходимый аварийный запас материалов и технических изделий. [20]

6. Все действия персонала АДС по отключению и включению газопроводов, ГРП, потребителей, производству аварийных работ, изменению режимов работы системы в целом или отдельных ее элементов должны фиксироваться в оперативном журнале АДС.

Тренировочные занятия АДС с оценкой действия персонала проводятся в сроки, установленные ПБ 12-529. Проведение тренировочных занятий должно регистрироваться в специальном журнале. [20]

7. АДС должна ежемесячно проводить анализ аварийных заявок, поступивших за истекший месяц, анализировать причины аварий и несчастных случаев, обобщать опыт работы и корректировать план локализации и ликвидации аварий, а также разрабатывать мероприятия по устранению причин возникновения аварийных ситуаций и обеспечению оптимальных режимов работы газораспределительных систем.

					Социальная ответственность	Лист
						107
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

6.3. Безопасность на магистральных газопроводах.

Чрезвычайные ситуации на трубопроводном транспорте могут возникнуть по различным причинам, например:

- *паводковые наводнения;*
- *лесные пожары;*
- *террористические акты;*
- *по причинам техногенного характера (аварии) и др.*

Аварии могут привести к чрезвычайным ситуациям.

Возможными причинами аварий могут быть:

- *ошибочные действия персонала при производстве работ;*
- *отказ приборов контроля и сигнализации;*
- *отказ электрооборудования и исчезновение электроэнергии;*
- *производство ремонтных работ без соблюдения необходимых организационно-технических мероприятий;*
- *старение оборудования (моральный или физический износ);*
- *коррозия оборудования;*
- *гидравлический удар;*

факторы внешнего воздействия (ураганы, удары молнией и др.). Одними из примеров чрезвычайных ситуаций могут быть пожары или взрывы при проведении работ в газоопасных местах при капитальном ремонте магистрального газопровода. Данные пожары и взрывы относятся к чрезвычайным ситуациям техногенного характера.

По данным «Отраслевое руководство по анализу и управлению риском, связанным с техногенным воздействием на человека и окружающую среду при сооружении и эксплуатации объектов добычи, транспорта, хранения и переработки углеводородного сырья с целью повышения их надежности и

					Социальная ответственность	Лист
						108
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

безопасности, М., 1996 г.». При разрушении магистральных газопроводов происходит воспламенение газа непосредственно в месте разрыва. Как следствие этого возникает пожар в 50-55 % случаев.

Независимо от характера разгерметизации образующееся облако ТВС в 20 % случаях рассеивается без воспламенения. В остальных 80 % случаев происходит воспламенение облака ТВС.

При разгерметизации газопровода происходит выброс большого количества природного газа в окружающее пространство с образованием топливно-воздушной смеси.

При этом возможно воспламенение образовавшегося облака топливно-воздушной смеси. При воспламенении облака топливно-воздушной смеси, возможно, его взрывное превращение и возникновение воздушной ударной волны (ВУВ). В соответствии с ГОСТ Р 22.0.07-95 поражающими факторами источника техногенной ЧС – воздушной ударной волны являются:

- избыточное давление во фронте ударной волны (ΔP), Па;
- импульс фазы сжатия (I_+), Па*с.

Природный газ на 80-98 % состоит из метана. Поэтому удельная теплота сгорания природного газа ($Q_{сг}$) определена с помощью удельной теплоты сгорания метана и равна $Q_{сг}=4,79 \cdot 10^7$ Дж/кг.

Общая масса горючих паров (газов) взрывоопасного парогазового облака m , приведенная к единой удельной энергии сгорания, равной 46000 кДж/кг определяется по формуле:

$$m = \frac{E}{4,6 \cdot 10^4} \quad (1)$$

где E - общий энергетический потенциал взрывоопасности (полная

					Социальная ответственность	Лист
						109
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

энергия сгорания ПГФ, поступившей в окружающую среду при аварийной разгерметизации), кДж.

Общий энергетический потенциал взрывоопасности определяется по формуле:

$$E = E1' + E2', \quad (2)$$

где $E1'$ - сумма энергий адиабатического расширения A (кДж) и сгорания ПГФ, находящейся в блоке, кДж;

$E2'$ - энергия сгорания ПГФ, поступившей к разгерметизированному участку от смежных участков (газопроводов), кДж:

$$E1' = G1'q' + A, \quad (3)$$

где $G1'$ - масса ПГФ, имеющейся непосредственно в газопроводе, кг;

q' - удельная теплота сгорания соответственно ПГФ (47857 кДж/кг);

A - энергия сжатой ПГФ, содержащейся непосредственно в газопроводе, кДж.

$$E2' = G2' \cdot q', \quad (4)$$

где $G2'$ - масса ПГФ, поступившая от смежных участков, кг;

q' - удельная теплота сгорания соответственно ПГФ (47857 кДж/кг).

Масса ПГФ, имеющейся непосредственно в газопроводе определяется по формуле:

$$G1' = V0' \cdot \rho0', \quad (5)$$

где $V0'$ - объем ПГФ, приведенный к нормальным условиям ($P0 = 0,1$ МПа).

$\rho0'$ - плотность ПГФ, приведенный к нормальным условиям ($P0 = 0,1$ МПа).

					Социальная ответственность	Лист
						110
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

$$V_0' = \frac{P}{P_0} \cdot \frac{V'}{T_1} \cdot T \quad (6)$$

где P , - соответственно давления в газопроводе и атмосферное давление (6,4 МПа и 0,1 МПа соответственно);

V' - геометрические объемы ПГФ в газопроводе, м³;

T_1 - регламентированная температуры ПГФ в газопроводе, (293 K);

T - абсолютная температура среды ПГФ, K:

Геометрический объём ПГФ в газопроводе, ограниченном кранами общей протяженностью 8329,1 м. содержащем проектируемый участок.

$$T = T_1 \left(\frac{P_0}{P} \right)^{\frac{k-1}{k}} \quad (7)$$

$$p_0 = p \left(\frac{P_0}{P} \right)^{\frac{1}{k}} \quad (8)$$

где ρ - плотность ПГФ при нормальных условиях ($\rho = 0,683$ кг/м³);

k - показатель адиабаты (1,2).

$$T = 293 * \left(\frac{0,1}{6,4} \right)^{\frac{1,2-1}{1,2}} = 146,5 \text{ K.} \quad (9)$$

$$p_0 = 0,7 * \left(\frac{0,1}{6,4} \right)^{\frac{1}{1,2}} = 0,022 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2}. \quad (11)$$

$$V_0 = \left(\frac{6,4}{0,1} \right) * \left(\frac{1634,6}{293} \right) * 146,5 = 52307,2 \text{ М}^3. \quad (12)$$

$$G_1 = V_0 * p_0 = 52307,2 * 0,022 = 1150,8 \text{ Кг.} \quad (13)$$

Энергия сжатой ПГФ рассчитывается по формуле:

$$A = \frac{1}{k-1} * PV \left(\frac{P_0}{P} \right)^{\frac{k-1}{k}} \quad (14)$$

$$A = \frac{1}{1,2-1} * 6,4 * 1634,6 * \left(\frac{0,1}{6,4} \right)^{\frac{1,2-1}{1,2}} = 25154 \text{ кДж.} \quad (15)$$

					Социальная ответственность	Лист
						111
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

$$E_1 = G_1 * q + A = 1150,8 * 47857 + 25154 = 55098989,6 \text{ кДж.} \quad (16)$$

Масса ПГФ, поступившая от смежных участков, определяется по формуле:

$$G_2' = \rho_i' \cdot w_i' \cdot S_i' \cdot t_i, \quad (17)$$

где $\rho_i' \cdot w_i' \cdot S_i'$ – производительность газопровода – 178 800 м³/час);

t_i – время с момента разгерметизации до полного закрытия запорной арматуры (согласно СТО Газпром 2 4.1-212 2008 время перекрытия крана составляет, 84 сек. = 0,023 часа).

$$G_2 = 178800 * 0,23 * 0,683 = 2808,8 \text{ Кг.} \quad (18)$$

$$E_2 = G_2 * q = 2808,8 * 47857 = 134420741,6 \text{ кДж.} \quad (19)$$

$$E = E_1 + E_2 = 55098989,6 + 134420741,6 = 189519731,2 \text{ кДж} \quad (20)$$

Общая масса горючих паров (газов) взрывоопасного парогазового облака m равна:

$$m = \frac{E}{4,6 * 10^4} = \frac{189519731,2}{4,6 * 10^4} = 4120 \text{ т.} \quad (21)$$

					Социальная ответственность	Лист
						112
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

6.3.1 Оценка предполагаемого ущерба окружающей среде.

Предполагаемый ущерб состоит из ущерба от выброса вредных веществ в атмосферу.

При проведении расчета использую метод определения ущерба окружающей среды на МГ.

Норма платы за выброс в атмосферу загрязняющих веществ берется из источника (Постановления Правительства РФ от 01.07.2005 года)

- **Сценарий:** Разрушение магистрального газопровода $D_y=1420$ мм. На полное сечение на подводном переходе.

Ущерб который подлежит компенсации , от выброса вредных веществ при разгерметизации определяется:

$$Y_{\text{кп}} = 25 * K_{\text{и}} * M_{\text{ип}} * H_{\text{ба}} * K_{\text{за}} \quad (1)$$

Где:

$K_{\text{и}}$ -Коэффициент индексации. (равен 2,56)

$M_{\text{ип}}$ -Масса выброса, т.

$H_{\text{ба}}$ -Норматив платы за выбросы, руб/т. (250)

$K_{\text{за}}$ -коэффициент экологической ситуации (1,9)

$$Y_{\text{кп}} = 25 * 2,56 * 4120 * 250 * 1,9 = 125248000 \text{ руб.} \quad (2)$$

					Социальная ответственность	Лист
						113
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

6.3.2 Границы действия ВУВ при взрыве газа

При разрыве газопровода, газ распространяется и образуется взрывоопасная смесь которая при различной концентрации может, повлиять на величину взрыва (ударной волны).

Радиус зоны смертельного поражения людей ($R_{\text{спл}}$) определяется по формуле:

$$R_{\text{спл}} = 30\sqrt[3]{Q}$$

$$R_{\text{спл}} = 30\sqrt[3]{100} = 139,25 \text{ м}$$

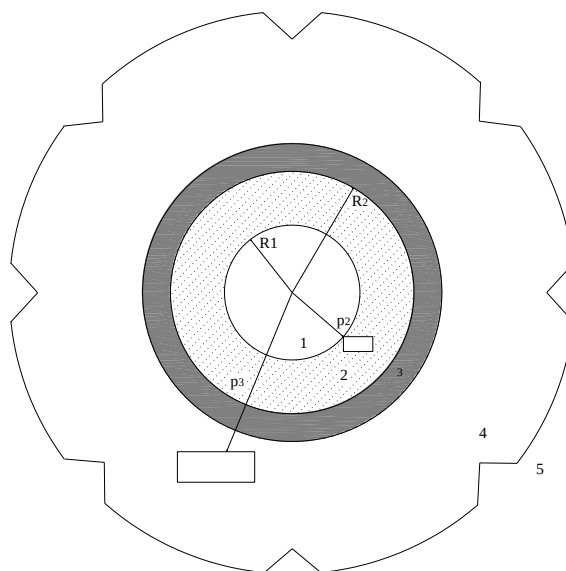


Рис5.1. Взрыв газавоздушной смеси.

1 – зона детонационной волны, радиусом $R_1(\text{м})$; 2 – зона ударной волны, в которой ρ_2 и ρ_3 -расстояние от центра взрыва до элемента предприятия; 3 – зона смертельного поражения людей, радиусом $R_{\text{спл}}$; 4 – радиус безопасного удаления ($R_{\text{бу}}$); 5 – $R_{\text{пдвк}}$ – радиус предельно допустимой взрывобезопасной концентрации

					Социальная ответственность	Лист
						114
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

7. «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Введение

При транспортировке газа особое внимание следует уделять целостности трубопровода. При разрыве газопровода причиняется огромный ущерб окружающей среде и материальным потерям на ликвидацию аварии. В данном разделе была приведена смета затрат на ликвидацию аварии. Основные затраты классифицируются на материальные, затраты на оплату труда (заработная плата), отчисления на социальные нужды, амортизационные отчисления и прочие расходы. Так же в данном разделе была рассмотрена готовность проекта к коммерциализации, составлен календарный план выполнения проекта и составлю SWOT –анализ проекта.

7.1 Оценка готовности проекта к коммерциализации

Научная разработка оценивается степенью ее готовности к коммерциализации, и выяснить уровень собственных знаний для проведения данного проекта. Для этого необходимо заполнить таблицу содержащую степень проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика проекта.

					Математическое моделирование гильотинного разрыва трубопровода под водой				
Изм	Лист	Ф.И.О.	Под.	Дата					
Разраб.		Арндт А.В.			Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение		Литера	Лист	Листов
Руковод.		Цимбалюк А.Ф.						115	131
Консульт.		Глызина Т.С.					Кафедра транспорта и хранения нефти и газа Группа 2Б2Б		
Зав. каф.		Рудаченко А. В.							

Таблица (7.1.1) – Оценка степени готовности научного проекта к коммерциализации.

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1	Определен имеющийся научно-технический задел	4	3
2	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	5	4
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

<i>Продолжение таблицы (7.1.1)</i>			
10	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	3	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	3
15	Проработан механизм реализации научного проекта	3	4
	ИТОГО БАЛЛОВ	41	45

Оценка готовности данного проекта к коммерциализации определяется:

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i (///)$$

где $B_{\text{сум}}$ – суммарное количество баллов по каждому направлению;
 B_i – балл по i -му показателю.

Значение $B_{\text{сум}}$ позволяет говорить о мере готовности научной разработки

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

и ее разработчика к коммерциализации. Значение степени проработанности научного проекта составило 41, что говорит о средней перспективности, а знания разработчика достаточны для успешной ее коммерциализации. Значение уровня имеющихся знаний у разработчика составило 45 – перспективность выше среднего.

7.2 Календарный план проекта

В рамках планировании проекта построю календарный и сетевой график проекта.

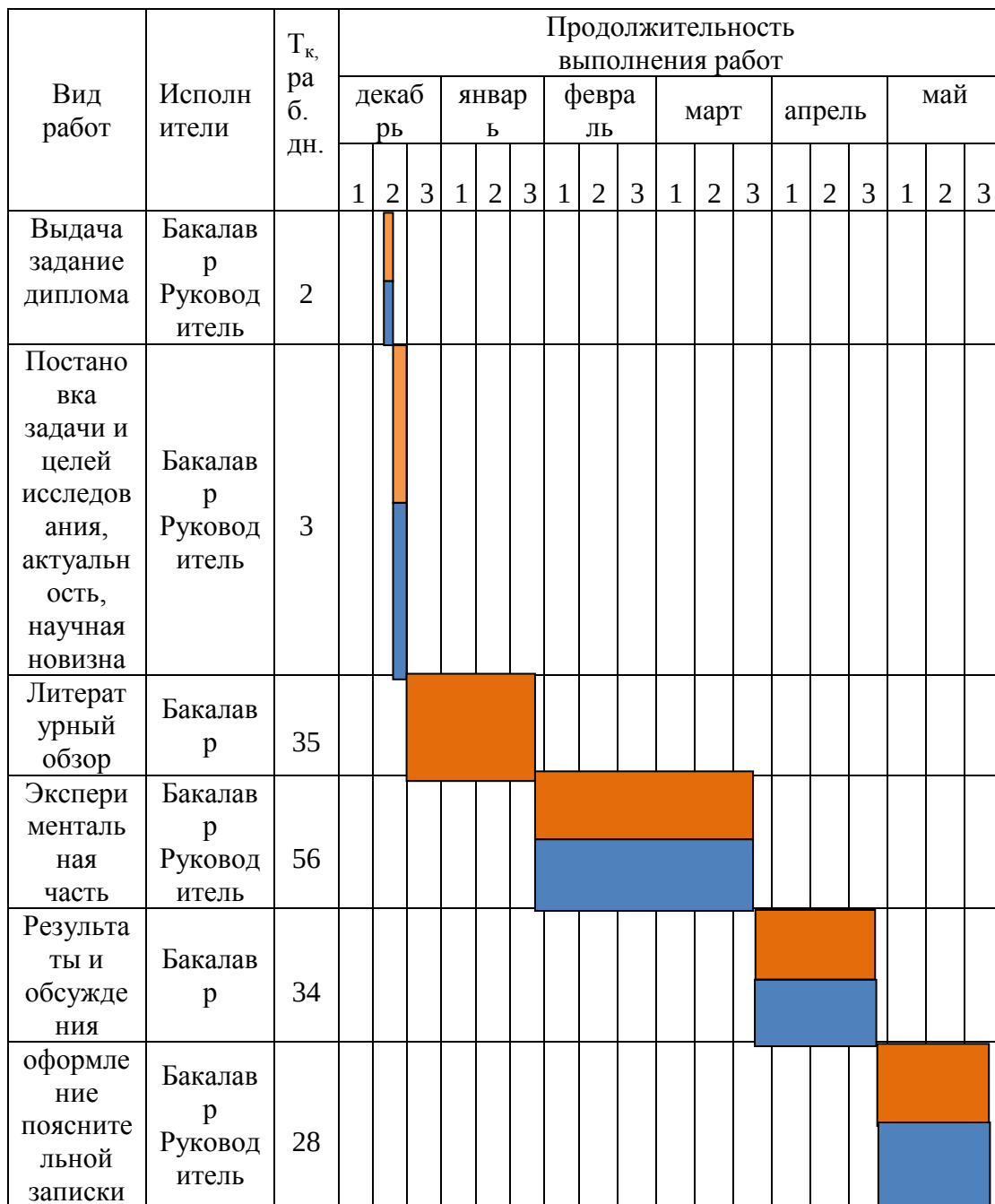
Таблица (7.2.1)

Код работ ы (из ИСР)	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников (ФИО ответственных исполнителей)
1	Выдача задания	2	14.12.2015	16.12.15	Арндт А.В. Цимбалюк А.Ф.
2	Постановка задачи и целей исследования, актуальность, научная новизна	3	17.12.2015	20.12.15	Арндт А.В. Цимбалюк А.Ф.
3	Литературный обзор	35	21.12.2015	28.01.16	Арндт А.В.
4	Экспериментальная часть	56	29.01.2016	24.03.16	Арндт А.В. Цимбалюк А.Ф.
5	Результаты и обсуждения	34	25.03.2016	27.04.16	Арндт А.В. Цимбалюк А.Ф.
6	Оформление пояснительной записки	28	28.04.2016	25.05.16	Арндт А.В.
Итого:		158			

					Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		118

Для иллюстрации календарного плана проекта приведена диаграмма Ганта, на которой работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Таблица (7.2.2)– Календарный план-график написание диплома



- Бакалавр



- Руководитель

7.2.1 SWOT-анализ

SWOT- анализ представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта и указывает на сильные и слабые стороны данного проекта.

Таблица 7.2.1.1 – Матрица SWOT

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Возможность анализа сложных систем С2. Увеличение надежности работы оборудования С3. Квалифицированный персонал	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Не испытан в работе Сл2. Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца Сл3. Нет некоторых данных для достоверности методики
Возможности: В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ В2. Сокращение расходов. В3. Качественное обслуживание потребителей.	1. Продолжение научных исследований с целью усовершенствования имеющейся технологии	1. Поиск заинтересованных лиц 2. Разработка научного исследования 3. Принятие на работу квалифицированного специалиста. 4. Переподготовка имеющихся специалистов
Угрозы: У1. Введение дополнительных государственных требований к сертификации продукции У2. Отсутствие спроса на новые технологии производства У3. Увеличение срока выхода на рынок при неудовлетворительных результатах испытаний	1.Отсутствие спроса на новые технологии производства. 2. Доработка проекта 3. Сложность реализации проекта.	1. Приобретение необходимого оборудования опытного испытания 2. Остановка проекта. 3. Проведения других проектов

7.3 Затраты на проведение аварийно-восстановительных работ

Состав затрат в соответствии с их экономическим содержанием формируется последующим элементам:

- материальные затраты;
- затраты на оплату труда;
- отчисления на социальные нужды;
- амортизационные отчисления;
- прочие расходы.

Помимо затрат на материал, необходимо рассчитать затраты на топливо для используемой техники:

- экскаватор «DOOSAN-340» 1ед. – расход 25 л/час, время работы 45 часов;
- бульдозер «Shantui-SD16» 1ед. – расход 18 л/час, время работы 36 часов;
- автобус вахтовый «УРАЛ-3255» 1ед. – расход 35,8 л/100км, пробег 1450км;
- автобус вахтовый «УРАЛ-3255» 1ед. – расход 35,8 л/100км, пробег 800км;
- Агрегат сварочный К-703МА-АС4-100 1ед. – расход 22 л/час, время работы 48 часов;
- Самосвал «Татра-815» 1ед. – расход 36 л/100км, пробег 740км;
- УМП-350 «УРАЛ-4320» 1ед. – расход 47л/100км, работа установки 50л/час (смесь 35дт/15бен) – пробег 450км, работа установки 36 часов;
- УАЗ «ПАТРИОТ» 1ед. – расход 20 л/100км, пробег 1250км.
- Баржа трубоукладчик 100000 руб/час, время работы 72 часа, затраты 7200000.

					Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лист
						121
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

Стоимость горюче-смазочных материалов приведена в таблице (7.3.1)

Таблица 7.3.1 Стоимость горюче-смазочных материалов

Наименование, марка техники	Норма расхода, л/ч, л/100км		Потребность, л		Цена за единицу, руб.	Стоимость ГСМ, руб.
	АИ-92	Диз.топливо	АИ-92	Диз.топливо		
Экскаватор «DOOSAN-340»		25		1125	36,5	41062.5
Бульдозер «Shantui-SD16»		18		648	36,5	23652
автобус вахтовый «УРАЛ-6522»		35.8		519,1	36,5	18947.15
Агрегат сварочный К-703МА-АС4-100		22		2376	36,5	86724
Самосвал «Татра-815»		36		266,4	36,5	9723.6
УМП-350 «УРАЛ-4320»	15	47/35	540	211,5/1260	32/36,5	24048
УАЗ «ПАТРИОТ» 1ед.	20		250		32	8000
Автокран КС-45717К-1Р		35		519	36,5	18943,5
ИТОГО:						607102,75

7.4 Расчёт амортизационных отчислений

Таблица 6.4.1 Расчёт амортизационных отчислений

Наименование объекта основных фондов	Кол-во	Амортизационная группа	Амортизационная	Сумма амортизации за 1 год, рублей
Экскаватор «DOOSAN-340»	1	4 группа	3,8 %	494151
автобус вахтовый «УРАЛ-6522»	1	4 группа	3,8 %	106400
Агрегат сварочный К-703МА-АС4-100	1	4 группа	3,8 %	171000
Сварочный выпрямитель для подводной сварки и резки ВД— 309 П.	2	5 группа	2,7 %	1350
Самосвал «Татра-815»	1	4 группа	3,8 %	114000
УМП-350 «УРАЛ-4320»	1	4 группа	3,8 %	98880
УАЗ «ПАТРИОТ» 1ед.	1	4 группа	3,8 %	24700
Автокран КС-45717К-1Р	1	4 группа	3,8 %	228000
ИТОГО:				1238481
За десять суток				33930,9

7.5. Расчет затрат на основные и вспомогательные материалы

Определение затрат на основные и вспомогательные материалы

Таблица 6.5.1 Затраты на материалы

Наименование материала	Ед. измерения	Кол-во	Цена за ед., руб	Стоимость всего объема
Основные материалы:				
Труба стальная диаметр 1420мм	м	1	70 310,06	70 310,06
Баллон с кислородом	шт	3	26520	79560
Грунтовка «Транскор Газ»	т	1	33 535,87	33 535,87
Мастика «Транскор Газ»	т	1	19 877,63	19 877,63
Стеклосетка ССТ-Б	м	150	12,37	1855,5
Лента ДРЛ-Л	кг	25	225	5625
Итого затраты на основные материалы:				210 764,06
Вспомогательные материалы:				
Электроды	шт	50	96,85	4842,5
Шлифовальный круг	шт	15	857	12855
Термоусаживающаяся манжета	1 стык	2	6672,3	13344,6
Итого затраты на вспомогательные материалы:				17697,5
Итого:				228461,56

7.5.1 Фонд оплаты труда специалистов

Таблица 7.5.1 1 Фонд оплаты труда специалистов

Наименование	Оклад за 1 месяц	Районный коэффици- ент, 1,3	Общий фонд ЗП, руб.
Начальник участка	32 535,00	9760,5	42295,5
Мастер	27 401,2	8220,36	35621,56
Итого:	59936,2	17980,86	77917,06
За десять рабочих дней.			25972,35

Затраты на оплату труда рабочих (таблица 7.5.2.)

Таблица 7.5.2 Затраты на оплату труда рабочих

Должность	Кол-во	Разряд	Часовая тарифная ставка, руб.	Норма времени на проведение мероприятия, час	Районный коэффициент, 1,3	Общий фонд ЗП, руб.
Линейный трубопроводчик	3	5	110	240	7920	34320
Линейный трубопроводчик	6	3	95	240	6840	29640
Монтёр ЭХЗ	2	5	102	240	7344	31824
Эл.монтёр	1	4	95	240	6840	29640
Водитель	3	5	93	240	6696	29016
Водитель	1	6	118	240	8496	36816
Машинист экскаватора	2	5	118	240	8496	36816
Эл.газосварщик	1	5	118	240	8496	36816
Эл.газосварщик	2	6	126	240	9072	39312
Стропальщик	1	-	85	48	1224	5304
Дефектоскопист	1	4	81	240	5832	25272
Крановщик	1	6	118	240	8496	36816
ИТОГО:						371592

Страховые взносы во внебюджетные фонды, обязательное страхование от несчастных случаев:

$$(371592+25972,35)*30\% = 119269,3 \text{ руб.}$$

					Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		126

Сумма амортизационных отчислений определяется исходя из балансовой стоимости основных производственных фондов, нематериальных активов и утверждённых в установленном порядке норм амортизации, учитывая ускоренную амортизацию их активной части.

Прочие расходы, в число которых входят средства индивидуальной защиты, питание и перевозка бригады рабочих, составляют 2% от фонда оплаты труда:

$$(371592+25972,35)*2\% = 7951,3 \text{ руб.}$$

Кроме перечисленных затрат в составе затрат на проведение организационно-технического мероприятия учитываются накладные расходы, связанные с организацией, управлением и обслуживанием производства.

Таблица 7.5.3 Итог

Состав затрат	Сумма затрат, руб.	Структура затрат, %
Затраты на оплату труда	397564,35	3,16
Отчисления на социальные нужды	119269,3	0,96
Материалы	228461,56	1,83
Амортизационные отчисления	33930,9	0,28
Расходы на эксплуатацию машин и оборудования	11807102,75	93,7
Прочие затраты	7951,3	0,07
Всего затраты на мероприятие	12594280,16	100

Заключение

В данном разделе было рассмотрено: оценка готовности проекта к коммерциализации, которая показала, что данный проект является средним по перспективе, а знания разработчика достаточны для ее коммерциализации, календарный план разработки проекта, как бакалавра, так и его руководителя. Представлен SWOT - анализ, в нем указаны сильные и слабые стороны проекта и возможные угрозы к коммерциализации проекта. Далее представлен расчет затрат на проведение мероприятий по ликвидации и ремонта разрыва трубопровода на подводном переходе. Были рассчитаны затраты на топливо, амортизационные отчисления, затраты на материалы и затраты на оплату труда. Из сделанного можно сделать вывод что на проведение мероприятия по ликвидации и ремонту порыва магистрального газопровода потребуется **12594280,16** рублей; наибольший удельный вес (**93,7%**) в структуре затрат на проведение ремонтных работ занимают расходы на эксплуатацию машин и оборудование.

					Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лист
						128
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		

Заключение

Результатом выполнения дипломного проекта стала разработка программы GOD_1D_W1, которая осуществляет расчет произвольного распада разрыва трубопровода под водой, основанный на решении одномерных уравнений газовой динамики различными способами.

Первоначально была исследована предметная область, детально рассмотрены подводные взрывы, в частности формирование газового пузыря, термодинамические процессы газового пузыря и различные характеристики. Так же представлено решение задачи о распаде произвольного разрыва подводного с учетом двух различных сред (газа и жидкости), описываемых двучленным уравнением состояния. Предложена постановка задачи о моделировании аварии подводного газопровода с использованием метода С.К. Годунова.

В разделе социальная ответственность были рассмотрены различные факторы, влияющие на окружающую среду, так же была рассчитана масса выбросов газа, и нанесенный ущерб, подлежащий компенсации.

В разделе финансовый менеджмент был произведен расчет затрат на аварийный ремонт газопровода на подводном переходе.

					Математическое моделирование гильотинного разрыва трубопровода под водой						
Изм	Лист	Ф.И.О.	Под.	Дата							
Разраб.		Арндт А.В.			Заключение						
Руковод.		Цимбалюк А.Ф.							Литера	Лист	Листов
Консульт.										129	131
Зав. каф.		Рудаченко А. В.							Кафедра транспорта и хранения нефти и газа Группа 2Б2Б		

Список использованных источников

1. Дятлов В.А., Михайлов В.М., Яковлев В.И. Оборудование, эксплуатация и ремонт магистральных газопроводов.- Москва: Недра, 1990. - 222 с.
2. Инструкция по оценке дефектов труб и соединительных деталей при ремонте диагностировании магистральных газопроводов.
3. Мовсум-заде Э.М., Мастобаев Б.И. Морская нефть. Трубопроводный транспорт и переработка продукции скважин. – СПб.: Недра, 2006. – 192с.
4. Капустин К.Я., Камышев М.А. Строительство морских трубопроводов. – М.: Недра, 1982. – 207с.
5. Бородавкин П.П. Морские нефтегазовые сооружения. Часть 2. Технология строительства 2007. - 408 с
6. РИА НОВОСТИ.
7. И.М. Тетерин методика оценки потерь от чрезвычайных ситуаций на магистральных газопроводных сетях.
8. Кедринский В.К. Гидродинамика взрыва. Эксперимент и модели Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000. — 435 с.
9. Лаврентьев Э.В., Кузян О.И. Взрывы в море Ленинград: Изд-во Судостроение, 1977. – 156 с.
- 10.В.С. Сафонов, С.В. Ганага. Моделирование физических эффектов при аварийных разрывах подводных газопроводов
- 11.Черный Г.Г. Газовая динамика. М.: Наука, 1988. - 424с.
- 12.Крайко А.Н. Теоретическая газовая динамика: классика и современность. – М.: ТОРУС ПРЕСС, 2010. – 440с.
- 13.Годунов С.К., Забродин А.В., Иванов М.Я., Крайко А.Н., Прокопов Г.П.

					Математическое моделирование гильотинного разрыва трубопровода под водой					
Изм	Лист	Ф.И.О.	Под.	Дата						
Разраб.		Арндт А.В.			Список использованных источников			Литера	Лист	Листов
Руковод.		Цимбалюк А.Ф.							130	131
Консульт.		Глызина Т.С.						Кафедра транспорта и хранения нефти и газа Группа 2Б2Б		
Зав. каф.		Рудаченко А. В.								

Численное решение многомерных задач газовой динамики. М.: Наука, 1976. 400с.

- 14.Куликовский А.Г., Погорелов Н.В., Семенов А.Ю. Математические вопросы численного решения гиперболических систем уравнений. – М.: ФИЗМАТЛИТ, - 2001. – 608 с.
- 15.Cole R.H. (1948) Underwater Explosions, Princeton Univ. Press, Princeton, NJ.
- 16.Мельников А.В. Защита от гидроудара. Статья: Сибирский федеральный университет.
- 17.Рычков А.Д. Математическое моделирование газодинамических процессов в каналах и соплах. Новосибирск: Наука, Сиб. Отд-ние, 1988. – 222с.
18. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: Учебник для студ. высш. учеб. Заведений Борис Степанович Матрюков. – М.: Издательский центр "Академия", 2003. – 336 с. ISBN 5-7695-1294-6
- 19.Тетельмин В.В., Язев В.А. Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе
20. ГОСТ 12.1.005–88 Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 50 с.
- 21.Анализ основных причин аварий, произошедших на магистральных газопроводах. Статьи из журнала "«Нефть и Газ Сибири» №4(21) 2015г.

					Список использованных источников	Лист
						131
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата		