

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



Институт неразрушающего контроля
 Направление подготовки 20.04.01 «Техносферная безопасность»
 Кафедра экологии и безопасности жизнедеятельности

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Разработка алгоритма расчета пожарных рисков газокompрессорной станции

УДК 614.841.43614.849

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1EM41	Фрянова Кристина Олеговна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Сечин Александр Иванович	Доктор технических наук		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Петухов Олег Николаевич	Кандидат экономических наук		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель	Романцов Игорь Иванович	Кандидат технических наук		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ЭБЖ ИНК ТПУ	Романенко Сергей Владимирович	Доктор химических наук		

Томск – 2016г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код	Результат обучения
Общекультурные компетенции	
P1	Организовать свою работу ради достижения поставленных целей с использованием эмоциональных и волевых особенностей психологии личности, готовности к сотрудничеству, расовой, национальной, религиозной терпимости, умения погашать конфликты, способностью к социальной адаптации, коммуникативностью, толерантностью
P2	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена и руководителя группы, состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, демонстрировать личную ответственность за результаты работы
P3	Использовать основные программные средства, глобальные информационные ресурсы и владение современными средствами телекоммуникаций, для решения профессиональных задач
P4	Использовать профессионально-ориентированную риторику, владеть методами создания понятных текстов, способностью осуществлять социальное взаимодействие на одном из иностранных языков
Общепрофессиональные компетенции	
P5	Применять глубокие знания в области техносферной безопасности в деятельности по организации защиты человека в чрезвычайных ситуациях, а также деятельности предприятий в чрезвычайных ситуациях
P6	Применять глубокие знания в области техносферной безопасности в деятельности по прогнозированию, измерению и профилактике негативных воздействий на человека и природную среду, а также деятельности по контролю технического состояния и применения используемых средств защиты
P7	Организовывать и проводить установку, эксплуатацию и техническое обслуживание средств защиты, а также обоснованно выбирать известные устройства, системы и методы защиты человека и природной среды от опасностей
P8	Использовать методы расчетов элементов технологического оборудования по критериям работоспособности и надежности, оценивать риск и определять меры по обеспечению безопасности разрабатываемой техники
P9	Решать задачи профессиональной деятельности в составе научно-исследовательского коллектива в области анализа опасностей техносферы, исследования воздействия антропогенных факторов и стихийных явлений на население и промышленные объекты, разработки методов и средств защиты в чрезвычайных ситуациях

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



Институт неразрушающего контроля
Направление подготовки 20.04.01 «Техносферная безопасность»
Кафедра экологии и безопасности жизнедеятельности

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой

(Подпись) _____ (Дата) Романенко С.В.
(Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
1ЕМ41	Фряновой Кристине Олеговне

Тема работы:

Разработка алгоритма расчета пожарных рисков газокompрессорной станции	
Утверждена приказом директора ИНК (дата, номер)	15.04.2016 №2841/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	29.05.2016
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе:

- *Наименование объекта исследования (газокompрессорная станция);*
- *Режим работы (непрерывный);*
- *Вид транспортируемого вещества (природный газ);*
- *Мощность энергетического модуля 660кВт;*
- *В результате исследования необходимо разработать практические рекомендации для повышения пожаро- и взрывобезопасности газокompрессорной станции, провести экономический анализ.*

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов:

- Аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области;
- Постановка задачи исследования;
- Содержание процедуры исследования;
- Рассмотрение существующих моделей газокompрессорных станций;
- Разработка практических рекомендаций для участка входа магистрального газопровода на компрессорную станцию;
- Обсуждение результатов выполненной работы;
- Заключение по работе.

Перечень графического материала:

- Основная схема компоновки оборудования на компрессорной станции
- Расположение основных элементов на ГПА-16 «Волга»:
- Зависимость величины избыточного давления от расстояния от эпицентра взрыва
- Зависимость величины интенсивности теплового излучения от расстояния от эпицентра взрыва
- Определение границ распространения интенсивности теплового излучения по объекту
- Определение границ распространения избыточной волны давления по объекту
- Вариационная модель дерева событий для расчетной аварийной ситуации
- Отказ составных систем устойчивого функционирования объекта для расчетной аварии
- Область защиты одиночного тросового молниеотвода
- Штыревой элемент активной молниезащиты Forend
- Схема защиты активной и пассивной систем молниезащиты
- Схема молниезащиты территории компрессорной станции
- Схема алгоритма расчета пожарных рисков
- Схема расположения светильников
- План эвакуации из кабинета отдела промышленной и пожарной безопасности

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы:

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Петухов Олег Николаевич
Социальная ответственность	Романцов Игорь Иванович

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	01.03.2016
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор кафедры ЭБЖ	Сечин Александр Иванович	Доктор технических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ЕМ41	Фрянова Кристина Олеговна		

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



Институт неразрушающего контроля
 Направление подготовки 20.04.01 «Техносферная безопасность»
 Уровень образования: Магистратура
 Кафедра экологии и безопасности жизнедеятельности
 Период выполнения (осенний/весенний семестр 2015/2016 учебного года)
 Форма представления работы:

Магистерская диссертация

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН

Выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполняемой работы:		29.05.2016
Дата контроля	Название раздела (модуля)/ вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
18.03.16	Получение задания и постановка задачи, определение стадий, этапов и сроков разработки	4
23.03.16	Сбор материалов и изучение функционирования газокompрессорной станции «Чажемто»	8
30.03.16	Детализация типовых модульных блоков головной компрессорной станции	8
3.03.16	Построение дерева событий для выявления наиболее вероятного инициирующего аварию события	12
10.04.16	Проведение расчета вероятности наступления инициирующих расчетную аварию событий	8
15.04.16	Определение зоны потенциального территориального риска для компрессорной станции «Чажемто»	10
18.04.16	Разработка алгоритма расчета пожарных рисков газокompрессорной станции для ООО «Газпром»	10
25.04.16	Разработка практических рекомендаций для обеспечения пожарной безопасности на ГКС	10
6.05.16	Согласование полученных данных с руководителем	10
10.05.16	Работа над выводом	10
25.05.16	Составление пояснительной записки	10

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Сечин Александр Иванович	Доктор технических наук		

СОГЛАСОВАНО:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ЭБЖ ИНК ТПУ	Романенко Сергей Владимирович	Доктор химических наук		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНИНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
1EM41	Фряновой Кристине Олеговне

Институт	ИНК	Кафедра	ЭБЖ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Техносферная безопасность

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

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

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

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

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

<ol style="list-style-type: none"> 1. Сегментирование рынка 2. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений 3. Матрица SWOT 4. Морфологическая матрица 5. Временные показатели проведения научного исследования 6. График проведения и бюджет научного исследования 7. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности научного исследования 	
--	--

Дата выдачи задания по линейному графику	01.03.2016
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Петухов О. Н.	к.э.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1EM41	Фрянова К.О.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
1ЕМ41	Фряновой Кристине Олеговне

Институт	ИНК	Кафедра	ЭБЖ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Техносферная безопасность

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Описание рабочего места (кабинет службы промышленной и пожарной безопасности ООО «Газпром трансгаз Томск», оборудованный компьютерами) на предмет возникновения:

- вредных проявлений факторов производственной среды (освещение, шум, микроклимат);
- опасных проявлений факторов производственной среды (электрической и пожарной природы);
- негативное воздействие на окружающую природную среду;
- чрезвычайных ситуаций.

Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:

- приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);
- предлагаемые средства защиты.

2. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:

- электробезопасность;
- пожаробезопасность (причины возникновения пожаров, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).

3. Охрана окружающей среды:

- экологическая безопасность;
- разработка решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НПД по охране окружающей среды.

Перечень графического материала:

1. План эвакуации из кабинета службы промышленной и пожарной безопасности ООО «Газпром трансгаз Томск»;
2. Размещение светильников в кабинете службы промышленной и пожарной безопасности ООО «Газпром трансгаз Томск».

Дата выдачи задания по линейному графику

01.03.2016

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ЕМ41	Фрянова К.О.		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 132 страниц, 15 рисунков, 27 таблиц, 34 источника литературы.

Ключевые слова: газокompрессорная станция, пожарный риск, нефтегазовая промышленность, природный газ, методика оценки, алгоритм расчета, верификационная модель, чрезвычайная ситуация, трансформатор, «огненный шар», дерево событий, вероятность события.

Объектом исследования является направление разработки алгоритма расчета пожарных рисков головной газокompрессорной станции «Чажемто», входящей в состав магистрального трубопровода «Нижевартовский ГПЗ – Парабель – Кузбасс».

Цель работы состоит в разработке алгоритма расчета пожарных рисков газокompрессорной станции для ООО «Газпром».

В результате исследования были разработаны практические рекомендации для участка энергетического блока на газокompрессорной станции. Разработан алгоритм расчета пожарных рисков газокompрессорной станции для ООО «Газпром».

Степень внедрения: средняя.

Область применения: нефтегазовая промышленность.

Значимость работы: реализация подхода и предлагаемых практических рекомендаций повысит безопасность транспортировки природного газа в России.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ, НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты: СНиП 2.05.06-85* «Магистральные трубопроводы», СанПиН 2.2.1/2.1.1.984-00 «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов», ГОСТ Р 12.3.047 – 98 «Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля», СНиП 23-01-99 «Строительная климатология», РД 34.21.122.87 «Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений».

Применены следующие термины с соответствующими определениями:

чрезвычайная ситуация (ЧС): Обстановка на определенной территории, которая сложилась в результате аварии, катастрофы, опасного явления природы, стихийного или иного бедствия, повлекшая за собой человеческие жертвы, ущерб окружающей природной среде или здоровью людей.

дерево событий: Дедуктивное логическое построение, использующее концепцию финального события (обычно аварию или отказ всей системы, одного блока) с целью определения возможных путей, при действии которых это событие может произойти.

молниезащита: Комплекс защитных устройств, обеспечивающих безопасность людей, сохранность сооружений и зданий, материалов и оборудования от возможных загораний, разрушений и взрывов, которые вызваны электричеством, механическим или тепловым воздействием молнии.

Использованы следующие сокращения с соответствующими расшифровками:

КС – компрессорная станция;

ГСМ – горюче-смазочные материалы;

ГРС – газораспределительная станция;

ГРП – газорегуляторный пункт;

ГКС – головная компрессорная станция;
ЛКС – линейная компрессорная станция;
ДКС – дожимная компрессорная станция;
ПХГ – подземное хранилище газа;
ГПА – газоперекачивающий аппарат;
ВОУ – воздушно-охладительная установка;
АВОМ – аппарат воздушного охлаждения масла;
ЦБН – центробежный нагнетатель;
ПОС – противообледенительная система;
АВПО – анализ видов и последствий отказов;
АВПКО – анализ видов, последствий и критичности отказов;
ПУЭ – правила устройства электроустановок;
ЧС – чрезвычайная ситуация.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	12
1. Газокомпрессорные станции	14
1.1 Основные понятия	14
1.2. Принцип работы газокомпрессорной станции	16
1.3 Характеристики основного оборудования газокомпрессорной станции	16
1.4 Назначение и состав основного оборудования компрессорных станций (КС), принципиальная схема его компоновки. Типы компрессорных станций на линейных газопроводах	19
2. Постановка ситуационной задачи	34
2.1 Постановка задачи исследования	34
3. Методика оценки пожарного риска	36
3.1 Расчет интенсивности теплового излучения и времени существования «Огненного шара»	36
3.2 Расчет параметров волны давления при сгорании горючего вещества	39
3.3 Расчет размеров возможного пожара и его потенциальной энергии	40
4. Методология оценки и управления риском	47
4.1 Анализ видов последствий и отказов путем построения матрицы	59
5. Построение зоны активной молниезащиты	62
5.1 Оценка количества попаданий молнии в трубу газопровода	62
5.2 Построение зоны защиты	63
5.3 Обоснование выбора активной молниезащиты	65
5.4 Разработка алгоритма расчета пожарных рисков газокомпрессорной станции для ООО «Газпром»	68
6. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	70
7. Социальная ответственность	89
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	104
Список публикаций студента	106
Список используемых источников	111
Приложение А	114

ВВЕДЕНИЕ

Как известно, Российская Федерация является одним из мировых лидеров по объемам добычи нефти и газа. Проблема безопасности при обеспечении пожарного риска в процессе эксплуатации газокomppressorных станций в нефтегазовой промышленности, определение пожарного риска, создание надежного расчетного алгоритма для определения пожарных рисков является весьма обсуждаемыми вопросами.

При протекании крупных аварий на данных объектах гибнут люди, выходит из строя дорогостоящее оборудование, наносится весомый урон окружающей среде, и, наконец, возникают чрезвычайные ситуации техногенного характера.

Наличие данного факта требует совершенствования мер безопасности на производстве для обеспечения бесперебойного функционирования объекта в целом.

Другими словами, поиск перспективных путей развития такого вопроса как расчет пожарных рисков газокomppressorной станции в соответствии с концепцией противопожарной защиты ООО «Газпром трансгаз Томск» представляет собой актуальную задачу, как в сфере предупреждения чрезвычайных ситуаций, так и в области устойчивого функционирования нефтегазового объекта.

Цель данной магистерской диссертации заключается в разработке алгоритма расчета пожарных рисков газокomppressorной станции нефтегазового комплекса.

Для достижения поставленной в работе цели необходимо было решить ряд следующих задач:

1. Дать анализ надежности и опасности основного технологического оборудования.
2. Сформулировать исходные условия для ситуационной задачи.
3. Составить вариационную модель дерева событий.

4. Определить вероятности возникновения инициирующих аварию событий.
5. Сделать анализ масштабам расчетной аварии.
6. Составить алгоритм расчета пожарных рисков для газокompрессорной станции.
7. Разработать практические рекомендации для рассматриваемого объекта.

1. ГАЗОКОМПРЕССОРНЫЕ СТАНЦИИ

1.1 Основные понятия

Газокомпрессорная станция— это комплекс оборудования и сооружений для повышения давления природного газа в системе при его транспортировании и хранении [1].

Основным элементом газокомпрессорной станции является газоперекачивающий агрегат. Газокомпрессорная станция со стационарными газоперекачивающими агрегатами в своем составе имеет следующие компоненты: компрессорный цех; запорную арматуру; установки пылевлагоотделителей, очистки, охлаждения и осушки газа; маслохозяйство; системы водо- и воздухоохлаждения масла, электроснабжения. Компрессорный цех размещается в двухэтажном здании, верхний этаж которого разделяется газонепроницаемой стеной — брандмауэром. На 2-м этаже располагаются газоперекачивающие агрегаты, на 1-м — остальное хозяйство[1].

Газокомпрессорные станции с блочно-контейнерными газоперекачивающими агрегатами с приводом авиационного типа имеют в своем составе блок турбоагрегата (нагнетатель и авиапривод), вспомогательные блоки (очистки воздуха, охлаждения масла, автоматики) и др. Основными достоинствами газокомпрессорных станций данного вида являются заводское изготовление блоков и автоматизация работы агрегатов, низкий срок строительства по сравнению с другими газокомпрессорными станциями примерно в 2,5-3 раза, отсутствие необходимости строительства промышленных зданий. По виду выполняемых работ разделяют головные компрессорные станции, линейные газокомпрессорные станции магистральных газопроводов, газокомпрессорные станции подземных газовых хранилищ, газокомпрессорные станции для закачки природного газа в пласт. На всех газокомпрессорных станциях могут использоваться

стационарные (с газотурбинным и электроприводами), блочно-контейнерные агрегаты с авиаприводом и газомотокомпрессоры.

Линейные газокomppressorные станции магистральных газопроводов предназначаются для повышения в них рабочего давления, понижающегося при транспортировке газа и отборе его потребителями. Газокomppressorные станции такого типа устанавливают через каждые 90-150 км. Диапазон рабочих параметров для газокomppressorной станции: степень сжатия 1,2-1,7, рабочее давление газа 5,5-8 МПа, мощность 3-75 МВт, суточная производительность 5-100 млн. м³. Единичная мощность блочно-контейнерных газоперекачивающих агрегатов с авиаприводом от 6,3 до 16 МВт. Для агрегатов этого типа линейных газокomppressorных станций большой мощности разработаны полнонапорные (со степенью сжатия 1,5-1,7) нагнетатели с корпусами шарового и баррельного типов с приводом от газотурбинной установки мощностью 6,3-16 МВт.

Газокomppressorные станции подземных газохранилищ служат для закачки в них природного газа. Рабочий диапазон давлений газокomppressorной станции такого типа станций во время закачки газа 1,5-15 МПа. Природный газ компримируется, как правило, в два этапа: первоначально сжимают его от 2-2,4 до 4,9-5,4 МПа, затем до 11,7- 14,7 МПа. Мощность газокomppressorной станции до 50-60 МВт.

Газокomppressorные станции для закачки газа в пласт используются в комплексе переработки природного газа на газоконденсатных месторождениях, когда в период добычных работ необходимо поддерживать пластовое давление газа для предупреждения образования конденсата.

Управление работой агрегатов и механизмов на газокomppressorной станции осуществляется дистанционно из центрального пульта управления. Полностью автоматизированные газокomppressorные станции управляются дистанционно из центрального диспетчерского пункта. Совершенствование газокomppressorных станций связано с внедрением блочной конструкции газоперекачивающих агрегатов, повышением уровня автоматизации,

переходом на диспетчерский метод управления с одного центрального пункта, утилизацией тепла выхлопных газов.

1.2. Принцип работы газокompрессорной станции

Газокompрессорные станции это площадочный комплекс сооружений, с расположенными на нем следующими объектами: компрессорный цех, включающий установки попутной очистки поступающего газа от вредных примесей, пылеуловители, установки для компримирования газа, установки по охлаждению газа.

Из линейного газопровода по входному газопроводу компрессорной станции газ подаётся во входной коллектор пылеуловителей. После прохождения через пылеуловители газ по выходному коллектору подается на приём группы нагнетателей.

После процедуры последовательного сжатия газа в нагнетателях, он подается на автоматическое воздушное охлаждение. Далее, по выкидной нитке газ подается в линейный газопровод. Задвижка является разделителем магистрального газопровода: по одну ее сторону содержится газ низкого давления, а по другую высокого. Рабочее состояние для задвижки «закрыто». Задвижка необходима, чтобы при различных неисправностях газ не передавался на газокompрессорную станцию. Иначе говоря, даже при не функционирующей компрессорной станции, подача газа по линейному газопроводу не останавливается.

1.3 Характеристики основного оборудования газокompрессорной станции

К основным преимуществам центробежных нагнетателей относятся: большая производительность при относительно небольших габаритных размерах нагнетателя, уравновешенность движущихся частей, в связи с чем не требуется сооружение массивных фундаментов; равномерность подачи газа, имеется полная возможность автоматизации управления агрегатом.

Имеющиеся недостатки сводятся к конструкции приводов нагнетателей. Таким образом, при электроприводе требуется дополнительное строительство линий электропередач и трансформаторных устройств. Так же при электроприводе утрачивается возможность автономной работы компрессорной станции. Кроме этого, стоимость транспортировки газа при электроприводе выше, чем при эксплуатации газотурбинных установок, в 6 раз.

Центробежный нагнетатель представляет собой лопаточное колесо, которое расположено в спиральном корпусе. Газ, поступивший в его центр, при вращении колеса, отбрасывается в сторону. Двигаясь по каналам между лопатками вращающегося колеса, газ от действия центробежной силы увеличивает свою скорость, вследствие чего и сжимается.

Нагнетательный патрубок расположен в нижней части корпуса нагнетателя (улитки) и направлен горизонтально влево, если смотреть на нагнетатель со стороны всасывания. Нагнетатель установлен на чугунной фундаментной раме и закреплён неподвижно.

Работает нагнетатель следующим образом:

Газ подается по всасывающему газопроводу под давлением в 4,5 МПа к рабочему колесу нагнетателя. Под действием вращающегося рабочего колеса происходит сжатие газа до значений 5,1 - 5,2 МПа и последующая его передача по нагнетательному патрубку в нагнетательный газопровод. Система уплотнений расположенная в корпусе нагнетателя позволяет обеспечить уменьшение перетечек газа внутри машины и исключает его проникновение в машинный зал. Нагнетатель содержит в себе следующие составные части: корпус, вкладыши, уплотнения, ротор, фундаментную раму, соединительную зубчатую муфту, а также кожух муфты.

Роторы нагнетателя консольного типа имеют в своем составе одно рабочее колесо. Его лопатки такого колеса цельнофрезерованные, выполненные из тела основного диска. В свою очередь, покрывающий и

основной диски соединены заклёпками, которые проходят сквозь тело лопаток.

Рабочее колесо балансируется статически, а ротор в собранном виде – динамически. Рабочее колесо ротора насаживается на цилиндрический конец вала с натягом и на шпонке. На резьбовой конец вала навинчивается гайка-обтекатель, которая стопорится отгибной шайбой. Все детали ротора выполнены из высококачественной стали, обеспечивающей нормальные запасы прочности.

На фундаменте между нагнетателем и электродвигателем устанавливается редуктор. Его предназначение – передача мощности в диапазоне до 4300 кВт. При этом заданная частота вращения ведущего вала колеса редуктора имеет значение 500-1 ($n=3000$) оборотов в минуту. При этом редуктор имеет передаточное число, равное $i=8000:3000$.

Если взглянуть на муфту со стороны электродвигателя, то можно увидеть следующее: направление вращения колеса редуктора совпадает с движением часовой стрелки.

Валы ведущего колеса редуктора и электродвигателя соединены посредством зубчатой муфты. К валу колеса редуктора с противоположной стороны посредством кулачковой муфты присоединена ведущая шестерня от главного зубчатого насоса. Вал нагнетателя и ведомая шестерня редуктора соединены между собой посредством зубчатой муфты. Весь корпус редуктора исполнен из чугуна.

Газ, поступающий на компрессорные станции, вместе с собой несёт взвешенные твёрдые частицы различного происхождения. Среди которых могут быть как песок, окалина, сварочный грат, продукты внутренней коррозии газопровода, так и другие частицы, не удалённые при продувке газопровода.

Для предохранения оборудования газокompрессорной станции от преждевременного износа поступающий на станцию газ должен быть очищен. Газ очищают в специальных аппаратах – пылеуловителях. На

компрессорных станциях применяются масляные пылеуловители. Аппарат состоит из трёх секций: нижней, средней и верхней. Нижняя секция отделена от средней перегородкой, поддерживающей контактные трубы, по которым газ из нижней секции переходит в среднюю, и дренажные трубы. Средняя секция отделена от верхней, газ из средней секции поступает в верхнюю через скрубберную насадку. Нижнюю секцию заливают соляровым маслом. Высота уровня масла уточняется в процессе эксплуатации аппарата при максимальном расходе газа, чтобы предупредить унос масла вместе с газом в газопроводы.

Газ, поступив через входной патрубок в нижнюю секцию пылеуловителя и встретившись с отбойным щитом, изменяет своё направление движения и направляется в пространство между зеркалом поглотительного масла и контактными трубами. Здесь газ ещё раз изменяет направление на 180° и по трубам течёт в среднюю секцию. При резком изменении скорости газа и направления его движения над зеркалом масла из газа выпадают твёрдые частицы, поглощаемые маслом.

В средней осадительной и верхних секциях газ освобождается от взвешенных частиц масла и проходит дополнительную очистку в скрубберной насадке. Загрязнённое масло стекает по дренажным трубам в нижнюю часть пылеуловителя, откуда периодически удаляется.

1.4 Назначение и состав основного оборудования компрессорных станций (КС), принципиальная схема его компоновки. Типы компрессорных станций на линейных газопроводах

При движении природного газа по трубопроводу происходит потеря рабочего давления газа из-за разницы гидравлического сопротивления на всей протяженности газопровода. Снижение уровня давления в газопроводе влечет за собой уменьшение пропускной способности газопровода. В это же время температура транспортируемого газа в газопроводе понижается, в первую очередь, из-за теплопередачи между газом и внешней средой (почва и атмосфера) через стенки трубопровода.

С целью поддержания заданного уровня расхода транспортируемого природного газа через повышение давления через установленные расстояния вдоль трассы газопровода, как уже говорилось выше, проектировщиками магистральных трубопроводов предусмотрена установка компрессорных станций.

Перепады давления на участках между компрессорными станциями (КС) определяют степень повышения давления в газоперекачивающем агрегате. Давление газа в конце участка газопровода численно равно давлению газа на входе в газоперекачивающий агрегат, а давление газа в начале участка газопровода соответственно равно давлению газа на выходе из аппарата воздушного охлаждения.

Компрессорные станции современного типа (КС) - это сложные инженерные сооружения, позволяющие обеспечить основные технологические процессы по подготовке и транспортировке природного газа.

Компрессорные станции - неотъемлемые и составные части линейного газопровода, обеспечивающие транспортировку газа при помощи энергетического оборудования, установленного на КС. Они служат управляющими элементами в комплексе сооружений, входящих в линейный газопровод. Именно по параметрам работы КС определяют режимы работы газопровода. Наличие компрессорных станций позволяет регулировать режимы работы газопровода при колебаниях потребляемого газа, при этом максимально используя аккумулирующую способность газопровода.

Энергетическое оборудование – подстанция, трансформатор, распределительное устройство, аварийная электростанция

Вспомогательное оборудование – маслохозяйство, котельная, вспомогательный компрессор, склад ГСМ, ГРС и ГРП (газораспределительная станция, газорегуляторный пункт).

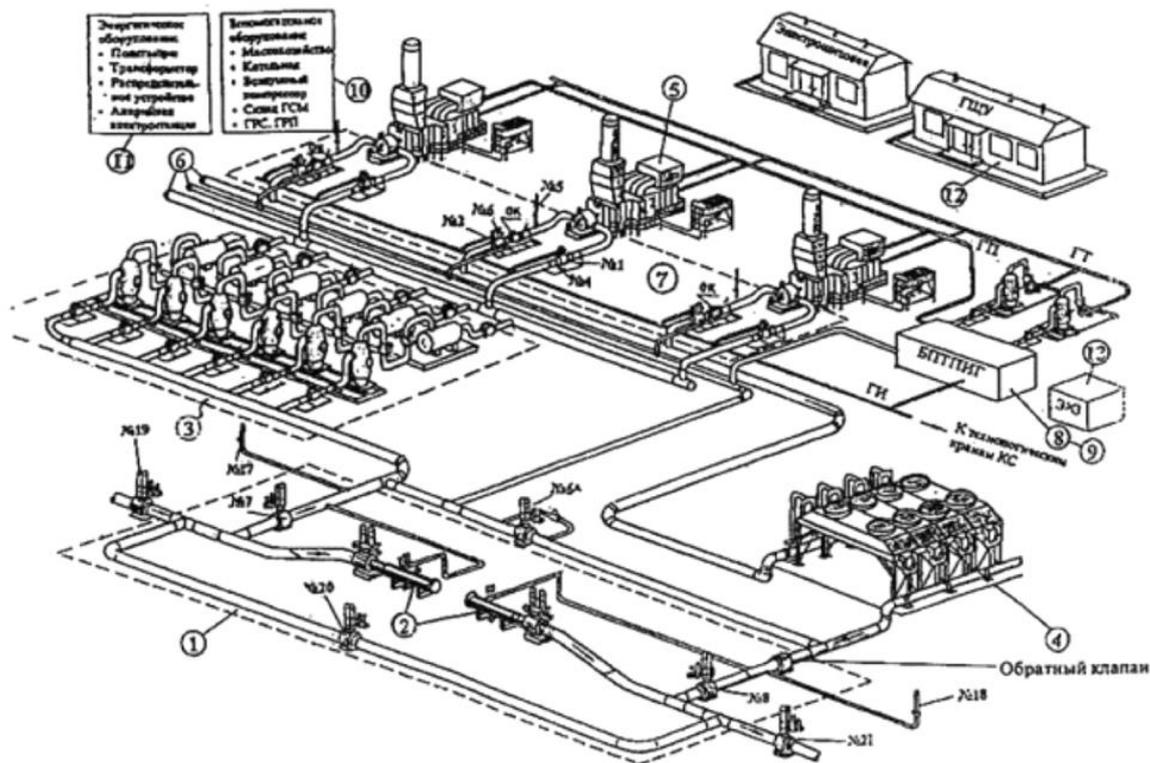


Рисунок 1 - Основная схема компоновки оборудования на компрессорной станции

На рис. 1 приведена принципиальная схема расположения основного оборудования на компрессорных станциях, состоящая из 3 газоперекачивающих агрегатов. В соответствии с этой схемой в составе основного оборудования содержится: 1 - узел подключения компрессорной станции к линейному газопроводу; 2 - камера запуска и приема очистного устройства линейного газопровода; 3 - установка для очистки технологического газа, включающая пылеуловители и фильтры-сепараторы; 4 - установки для охлаждения технологического газа; 5 - газоперекачивающие агрегаты; 6 - технологический трубопровод обвязки КС; 7 - запорная арматура технологического трубопровода обвязки агрегата; 8 - установка по подготовке топливного и пускового газа; 9 - установка по подготовке импульсного газа; 10 - установки вспомогательного оборудования; 11 - энергетическое оборудование; 12 - система телемеханики и главный щит управления; 13 - оборудование по электрохимической защите трубопровода обвязки компрессорной станции.

На линейных газопроводах различаются три основных вида компрессорных станций: головная, линейная и дожимная компрессорные станции [3].

Головная компрессорная станция (ГКС) устанавливается непосредственно по ходу газа после месторождения газа. По мере извлечения природного газа происходит снижение давления в его месторождении до такого уровня, когда транспортировка газа в требуемом количестве без его сжатия не представляется возможной. Следовательно, для поддержания необходимого уровня давления и расхода строятся ГКС. Назначением станций такого типа является поддержание необходимого уровня давления технологического газа с целью его дальнейшей транспортировки по линейным газопроводам. Принципиальное отличие ГКС от линейной станций заключается в высокой степени сжатия газа на станции, обеспеченное последовательной поочередной работой нескольких газоперекачивающих агрегатов с центробежным нагнетателем или же поршневым газомото-компрессором. На головной компрессорной станции к качеству подготовки технологического газа предъявлены повышенные требования.

Линейная компрессорная станция устанавливается на линейных газопроводах, обычно на расстоянии 100-150 км. Ее назначением является сжатие поступающего на ЛКС газа, с давления входа до давления выхода, установленных проектировочными данными. Таким образом, обеспечивается постоянный заданный расход природного газа по линейному газопроводу. На территории Российской Федерации строятся линейные газопроводы в основном на рабочее давление с значением в 5,5 МПа и в 7,5 МПа.

Дожимная компрессорная станция (ДКС) устанавливается на подземных хранилищах газа (ПХГ). Назначением станций такого типа является передача природного газа в подземное хранилище от линейного газопровода и отбор газа из подземного хранилища (обычно, в зимний период) для последующей передачи его в линейный газопровод или

непосредственно будущим потребителям газа. Дожимная компрессорная станция строится помимо прочего и на газовых месторождениях при падении пластового давления ниже давления в линейном трубопроводе. Отличительная особенность дожимной от линейной компрессорной станции заключается в высокой степени сжатия 2-4, улучшении подготовки технологического газа (сепараторы, пылеуловители, осушители), поступающего из подземных хранилищ для его очистки от механических примесей и влаги, выносимых с газом.

Непосредственно вблизи потребителей природного газа располагают газораспределительные станции (ГРС), на которых давление газа редуцируется до необходимого значения (0,3; 0,6; 1,2 МПа) перед его подачей в сети газового хозяйства.

1.4.1 Компрессорные станции линейных газопроводов ГПА серии «Урал»

Газоперекачивающие агрегаты серии «Урал» предназначены для реконструкции действующих и оснащения вновь строящихся цехов газоконпрессорных станций линейных газопроводов, дожимных компрессорных станций и подземных хранилищ газа.

К основным техническим особенностям и преимуществам, отличающим газоперекачивающие агрегаты серии «Урал» следует отнести:

- поставку на монтажные площадки блоками с высокой заводской готовностью;
- использование ВОУ с фильтрами циклонного и накопительного типа, обеспечивающими очистку воздуха по классу Евростандарта EN-779-94-F7-F9 с эффективностью 99,7 %;
- применение шумотеплоизолирующего кожуха для газотурбинного двигателя, обеспечивающего также повышенную пожаровзрывобезопасность силового привода;

- применение аппаратов воздушного охлаждения масла (АВОм) пластинчато-ребристой конструкции с частотным регулированием скорости вращения вентиляторов;
- применение в системах охлаждения ГТУ осевых вентиляторов с пониженным уровнем шума и высокой надежностью;
- возможность комплектации агрегатным блоком подготовки топливного газа;
- разработка и изготовление ГПА ведутся по системе качества, соответствующей международным стандартам серии ISO 9000;
- габариты и вес блоков позволяют транспортировку ГПА любыми видами наземного и водного транспорта и монтаж на месте эксплуатации с помощью передвижных грузоподъемных механизмов, универсального инструмента.

Разработаны и серийно изготавливаются следующие базовые компоновки ГПА серии «Урал»:

- блочно-контейнерная, предназначенная для нового строительства или реконструкции КС с полной заменой агрегатов;
- компоновка для реконструкции действующих цехов с заменой агрегатов в цехе;
- компоновка для реконструкции агрегатов с заменой агрегата в существующем индивидуальном укрытии;
- компоновка в индивидуальном укрытии ангарного типа.

В блочно-контейнерной компоновке разработаны и сданы в эксплуатацию ГПА-12 «Урал», ГПА-12М «Урал» и ГПА-16 «Урал».

Агрегаты «Урал» имеют более высокие показатели по основным параметрам, чем ГПА-Ц-6,3;ГТК-10-4 и ГПА-Ц-16. Они превосходят их по величине эффективного КПД привода (34–36,5 %) и по политропному КПД нагнетателя (83–85 %). Номинальная производительность ГПА-12 «Урал» больше, чем у ГПА-Ц-6,3 и ГТК-10-4, а у ГПА-16РП «Урал» больше, чем у

ГПА-Ц-16. Расход топливного газа по сравнению с агрегатами ГТК-10-4 и ГПА-Ц-16 ниже. Значительно уменьшились выбросы CO₂ (до 10–11 мг/м³).

Технические характеристики газоперекачивающих агрегатов серии «Урал» (данные ООО «Искра-Турбогаз») сведены в таблицу 1.

Таблица 1 — Основные технические характеристики ГПА серии «Урал»

Параметр	ГПА-4	ГПА-6	ГПА-10	ГПА-12	ГПА-16	ГПА-18	ГПА-25
Номинальная мощность агрегата, МВт	4	6	10	12	16	18	25
Коммерческая производительность, млн м ³ /сут	1,8-2,5	5,9-8,3	24,5-12,5	28-18	38-24	35	44,5-57
Давление на выходе компрессора, МПа	2,2-3	7,35	5,49;7,45	5,49;7,45	5,49;7,45; 9,9;11,9	5,49;7,45	7,45;9,9; 11,9
Степень сжатия газа	2,2-3	1,028-3,9	1,35-1,7	1,35-1,7	1,35-1,7	1,44	1,37-1,5
Политропный КПД компрессора	0,80	0,80	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
Частота вращения силовой турбины, об/мин	7000	7000	9000	6500	5300	5300	5000
Эффективный КПД ГТУ (в стационарных условиях)	24	26,2	36	34,6	38	37	40
Удельный расход топливного газа ГТУ, кг/кВтч	0,303	0,274	0,212	0,208	0,192	0,244	0,177
Максимальное давление топливного газа, МПа	1,5	1,8	3	3,25	3,2	2,5	4,5
Мощность потребления электростартером, кВт	160	160	160	220	220	220	220
Тип масла двигателя	МС-8П	МС-8П	МС-8П	МС-8П	МС-8П	МС-8П	Петрим
Тип масла компрессора	ТП-22С	ТП-22С	ТП-22С	ТП-22С	ТП-22С	ТП-22С	ТП-22С
Температурный диапазон эксплуатации, °С	-60-+45	-60-+45	-60-+45	-60-+45	-60-+45	-60-+45	-60-+45
Теплопроизводительность утилизационных теплообменников, МВт	3-15	3-15	3-15	3-15	3-15	3-15	3-15
Общий ресурс, тыс. ч	100	100	100	100	100	100	100
Межремонтный ресурс, тыс. ч	25	25	25	25	25	25	25

Описание и технические характеристики ГПА серии «Урал»

ГПА серии «Урал» представляет собой технологический комплекс по компримированию природного газа, автоматизированный, с ГТУ на базе высокоэффективного авиационного двигателя четвертого поколения ПС-90А, с 2-х ступенчатым ЦБН, с системами всасывания, выхлопа, маслообеспечения ГТУ и ЦБН, вентиляции, обогрева, управления и контроля, обнаружения и защиты от пожара.

Разработаны следующие базовые компоновки ГПА:

- блочно-контейнерная, предназначенная для нового строительства или реконструкции КС с полной заменой агрегатов;
- компоновка для реконструкции действующих цехов с заменой агрегатов в цехе;
- компоновка для реконструкции агрегатов с заменой агрегата в существующем индивидуальном укрытии;
- компоновка в индивидуальном укрытии ангарного типа.

В основу проектирования ГПА серии «Урал» были заложены следующие факторы:

- особенности и тенденции развития газотурбинной и компрессорной техники;
- взаимное размещение узлов и систем ГПА с обеспечением минимальных длин технологических связей между собой;
- максимальная заводская готовность функциональных модулей ГПА;
- требования по удобству технического обслуживания и ремонту эксплуатируемого оборудования;
- перевозка железнодорожным, автомобильным и воздушным транспортом;
- природно-климатические условия эксплуатации, этапность строительства и ввода в эксплуатацию;

- стоимость изготовления и монтажа;
- безопасность для потребителей и окружающей среды;
- приспособленность к реконструкции в будущих периодах;
- архитектурно-планировочные решения.

Базовый ГПА серии «Урал»

Базовый газоперекачивающий агрегат состоит из следующих основных блоков и узлов:

- турбоблок в контейнере, представляющий собой силовую раму с размещенными на ней ГТУ и центробежным нагнетателем (ЦБН). Контейнер турбоблока состоит из отсека ГТУ и отсека ЦБН;
- тракт воздухозаборный, состоящий из камеры всасывания, шумоглушителя щелевого типа и воздухоочистительного устройства (ВОУ);
- блок управления с программно-техническими средствами САУ, силовой автоматикой ГПА и контроллером пожарной сигнализации.
- блок обеспечения с маслоагрегатами ГТУ, установкой промывки осевого компрессора ГТУ и отсеком пожаротушения;
- тракт выхлопа с шумоглушителем и выхлопной трубой;
- аппарат воздушного охлаждения масла (АВОМ) системы маслообеспечения ГТУ;
- аппарат воздушного охлаждения масла (АВОМ) системы маслообеспечения ЦБН.

Для повышения надежности пуска и работы ГТУ на агрегате производится дополнительная очистка пускового и топливного газа фильтрами, которые располагаются снаружи блока обеспечения.

Блоки и отсеки ГПА в заводских условиях комплектуются отдельными компонентами систем и оборудования, образующие в процессе монтажа агрегата на месте эксплуатации следующие по функциональному назначению системы:

- система автоматического управления, выполненная на основе комплекса технических средств МСКУ СС-4510-38;
- аппаратура силовой автоматики с элементами электроснабжения основного и аварийного;
- система автоматического пожаротушения;
- система газовая, включающая блок фильтров топливного газа и фильтра пускового газа;
- система маслообеспечения ГТУ;
- система охлаждения ГТУ и трансмиссии;
- система маслообеспечения ЦБН;
- система вентиляции отсеков;
- система подогрева циклового воздуха (противообледенительная — система ВОУ);
- система освещения (основная и аварийная);
- система обогрева отсеков;
- система дренажная.

Газоперекачивающий агрегат устанавливается на монолитный фундамент. Для удобства и безопасности обслуживания ГПА в соответствующих местах предусмотрены лестницы, площадки обслуживания и ограждения.

1.4.2 Газоперекачивающий агрегат «Волга»

Газоперекачивающий агрегат ГПА-16 «Волга» спроектирован под установку двигателей НК-38СТ (базовый вариант), НК-16-18СТ или ДГ-90Л2.1 для привода центробежного нагнетателя НЦ-16-76/1,44 и выпускается в блочно-модульном и ангарном исполнении мощностью 16 и 18 МВт. Технические характеристики газоперекачивающего агрегата ГПА-16 «Волга» приведены в таблице 2.

Таблица 2 — Технические характеристики газоперекачивающего агрегата ГПА-16 «Волга»

Технические характеристики	НК-38СТ	НК-16-18СТ	ДГ-90Л2.1
Номинальная мощность агрегата, МВт	16	18	16
Номинальное давление на выходе, МПа	7,45	7,45	7,45
Степень повышения давления газа	1,44	1,44	1,44
Расход топливного газа, м ³ /ч	4647	6544	5030
Политропный КПД нагнетателя, %	85	85	85
Эффективный КПД двигателя (в условиях ISO), %	38	31	35
Содержание в выхлопных газах, мг/м ³			
окислов азота	50	140	150(80)
окси углерода	150	100	300(150)
Межремонтный ресурс, ч	30000	20000	25000
Назначенный ресурс, ч	100000	75000	100000
Срок службы, лет	20	20	20

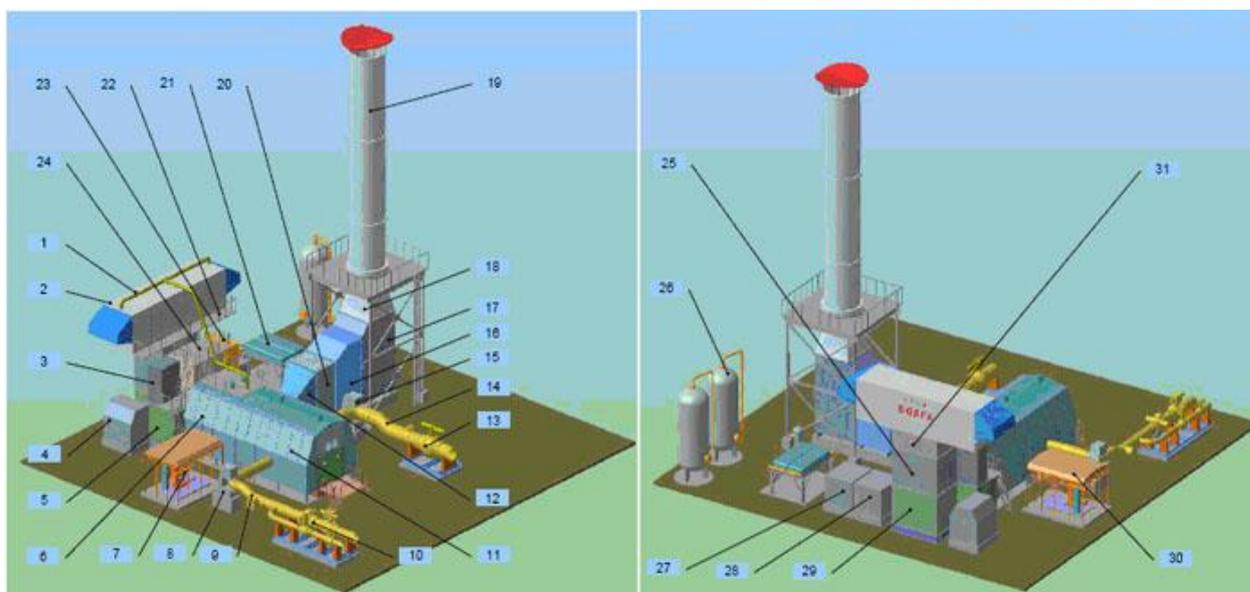


Рисунок 2 — Расположение основных элементов на ГПА-16 «Волга»:

1 — воздуховод противообледенительной системы (ПОС); 2 — блок по очистке воздуха; 3 — установка для охлаждения масла; 4 — блок электроснабжения; 5 — промежуточный блок; 6 — блок двигателя; 7 — блок пускового воздуха и топливного газа; 8 — опора; 9 — нагнетательный трубопровод; 10 — блок кранов нагнетания давления; 11 — блок нагнетателя НЦ-16; 12 — блок диффузора выхлопа; 13 — блок кранов всасывания; 14 — всасывающий трубопровод; 15 — опора; 16 — утилизационный теплообменник; 17 — блок поворота; 18 — блок переходника; 19 — выхлопная труба с опорой; 20 — блок шумозаглушения выхлопа; 21 — блок подготовки воздуха; 22 — площадка для обслуживания; 23 — система промывки газозадушного тракта (ГВТ); 24 — блок вентиляции; 25 — блок заглушения шума на всасывании; 26 — ресивер (сепаратор); 27 — блок автоматики установки; 28 — блок системы обеспечения (СО); 29 — блок всасывания; 30 — навес; 31 — переходный блок.

Отличительные особенности агрегата

В настоящее время в эксплуатации находится НК-38СТ в составе ГПА-16 «Волга» (Рис 2). Одной из отличительных особенностей ГПА-16 «Волга» по сравнению с ГПА-Ц-16 является расположение двигателя и нагнетателя на отдельных рамах, каждого в своей блоке со всеми системами обеспечения их работоспособности.

Рамы блоков двигателя и нагнетателя стыкуются при монтаже между собой по центровочному узлу типа «шип-паз» с выверкой горизонтальности рам по уровню, что обеспечивает грубую центровку СТ двигателя с нагнетателем в пределах ± 5 мм. Необходимая подцентровка осуществляется с помощью специальных винтов вертикального и горизонтального перемещения рамы двигателя. Процесс окончательной центровки двигателя и нагнетателя ГПА-16 «Волга» не отличается от методов центровки других агрегатов с использованием «сухой» муфты и выполняется вместе с монтажом муфты в течение одной смены.

В то же время такое разделение турбоблока на два блока позволило облегчить транспортировку и монтаж агрегата и снизило массу наиболее тяжелой транспортируемой единицы до 32 т.

Характерной особенностью агрегата является высокая эффективность процесса сжатия газа в нагнетателе, обеспеченная в результате расчетных исследований, модельных стендовых испытаний отдельных элементов проточной части и конструктивной оптимизации размеров нагнетателя. В большой степени эффективность агрегата обусловлена применением в качестве привода двигателя НК-38СТ. В конструкции этого двигателя использованы самые современные технические решения, при изготовлении применяются новые технологические процессы, что позволяет добиться высокого КПД привода (38 %) и малых выбросов токсичных веществ. Теплообменник для охлаждения воздуха, идущего на охлаждение ТВД, обеспечит заявленный ресурс турбины. Также применены монокристаллические лопатки с керамическим покрытием.

Выносные жаровые трубы камеры сгорания с карбюраторами обеспечивают не только экологические характеристики, но и заявленный ресурс.

Выполнение двигателя НК-38СТ с наружным продувочным контуром и подачей горячего воздуха из этого контура эжектором на противообледенительную систему (ПОС) ГПА позволяет сохранить заявленный эффективный КПД ГПА при работе с включенной ПОС, так как не требуется отбора горячего воздуха из-за компрессора.

Конструктивное исполнение нагнетателя НЦ-16-76/1,44 с магнитными подшипниками ротора и сухими газодинамическими уплотнениями увеличивает экономичность газоперекачивающего агрегата за счет значительного снижения расхода смазочного масла и затрат электрической энергии.

В отличие от традиционной комплектности поставки в составе ГПА-16 «Волга» предусмотрены блоки кранов всасывания и нагнетания, лобовые опоры, обеспечивающие разгрузку патрубков нагнетателя от действия сил и моментов, возникающих во всасывающем и нагнетательном трубопроводах при монтаже и температурных деформациях.

Еще одна конструктивная особенность агрегата, которую хотелось бы отметить, — это наличие в составе агрегата двух воздушных ресиверов объемом по 25 м³ с отбором воздуха от компрессора двигателя. С их помощью осуществляется:

- экологически чистый пуск агрегата воздушным стартером;
- продувка;
- взрывозащита нагнетателя;
- охлаждение воздухом магнитных подвесов ротора нагнетателя.

1.4.3 Газоперекачивающий агрегат ГПА-32 «Ладога» мощностью 32 МВт

Высокотехнологичный газоперекачивающий агрегат «Ладога-32» для условий эксплуатации любой сложности, который отличают высокий КПД (36%), низкий уровень выбросов и значительный ресурс работы.

ГПА-32 «Ладога» — ключевое звено в рамках стратегической программы по реконструкции газопроводной системы России. Это новая высокоэффективная установка, разработанная для российского рынка на основе базового семейства газотурбинной установки MS5002.

Преимущества:

- технологически совершенное изделие для перекачивания природного газа под давлением до 120 атмосфер;
- высокий КПД;
- низкий уровень вредных выбросов, соответствующих современным экологическим требованиям;
- высокая надежность и эксплуатационная готовность;
- поставка осуществляется «под ключ».

Состав агрегата:

- газотурбинная установка MS5002E мощностью 32 МВт:
 - турбоблок MS5002E;
 - рама вспомогательных устройств ГТУ MS5002E;
 - кожух шумотеплоизолирующий рамы вспомогательных устройств ГТУ MS5002E;
 - кожух шумотеплоизолирующий отсека газотурбинной установки MS5002E;
- нагнетатель природного газа 400-21-1С;
- комплексная система для автоматического управления;
- комплексное устройство для очистки воздуха (КБОУ);
- система электроснабжения;
- контрольно-измерительные приборы (КИП).

Таблица 3 - Основные технические характеристики ГПА-32 «Ладога»

Наименование параметра	ГПА-32	ГПА-32-02	ГПА-32-03
Номинальная мощность на муфте привода в стационарных условиях, МВт, не менее	31,2		
Производительность объемная, приведенная к нормальным условиям (0,1013 МПа, 20 °С), млн м ³ /сут.	78,9	62,0	66,0
Политропный коэффициент полезного действия центробежного нагнетателя, не менее, %	85	80	80
Эффективный коэффициент полезного действия ГТУ при работе на номинальной мощности в стационарных условиях, %, не менее	36,0		
Номинальное абсолютное рабочее давление газана выходе из центробежного нагнетателя, МПа	11,86	7,45	7,45
Степень сжатия газа	1,4	1,44	1,38
Номинальная частота вращения ротора силовой турбины ГТУ	5714		
Температура за турбиной, °С (ном./макс.)	510/600		
Расход топливного газа кг/с	1,78		

2. ПОСТАНОВКА СИТУАЦИОННОЙ ЗАДАЧИ

В результате аварийного отключения электропитания (в период грозовой активности) возникла ЧС со взрывом трансформатора. Возникла угроза выхода из строя аварийной электростанции, питающейся газовым топливом и расположенной в 10 м от очага пожара.

2.1 Постановка задачи исследования

Как показало исследование существующих материалов, на сегодняшний день весьма слабо рассмотрены вопросы, касающиеся надежности и технического риска эксплуатации газокompрессорных станций. С одной стороны слабо разработаны методологические подходы определения рисков, с другой стороны, эти данные представляют собой коммерческую тайну, тесно связанную с прогнозами ущерба, разглашение которой может сказаться на рыночной стоимости акций компании.

Цель данной магистерской диссертации заключается в разработке алгоритма расчета пожарных рисков газокompрессорной станции нефтегазового комплекса.

Для достижения поставленной в работе цели необходимо было решить ряд следующих задач:

1. Дать анализ надежности и опасности основного технологического оборудования.
2. Сформулировать исходные условия для ситуационной задачи.
3. Составить вариационную модель дерева событий.
4. Определить вероятности возникновения инициирующих аварию событий.
5. Сделать анализ масштабам расчетной аварии.
6. Составить алгоритм расчета пожарных рисков для газокompрессорной станции.

7. Разработать практические рекомендации для рассматриваемого объекта.

Новизна работы заключается в разработке вариационной модели дерева событий для расчетной аварийной ситуации газокompрессорной станции; в составлении алгоритма анализа и расчета пожарных рисков для энергетического модуля газокompрессорной станции; в определении критериев пожаровзрывоопасности по расчетным показателям опасных факторов.

3. МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ПОЖАРНОГО РИСКА

3.1 Расчет интенсивности теплового излучения и времени существования «Огненного шара»

«Огненный шар» представляет собой крупномасштабное диффузионное пламя сгорающей массы топлива или парового облака, поднимающееся над поверхностью земли. Возникает при разрыве резервуара с горючей жидкостью или газом под давлением с воспламенением содержимого. Основную опасность при образовании «огненного шара» несёт тепловое излучение.

Образование «Огненных шаров» влечет за собой тяжелые последствия. Крупномасштабное диффузионное горение вызывает вторичные пожары, так как значение интенсивности теплового излучения очень высоко.

Расчет интенсивности теплового излучения «огненного шара» q , кВт/м², проводят согласно формуле [4]:

$$q = E_f \cdot F_q \cdot \tau \quad , \quad (1)$$

где E_f — среднеповерхностная плотность теплового излучения пламени, кВт/м²;

F_q — угловой коэффициент облученности;

τ — коэффициент пропускания атмосферы.

E_f определяют на основе имеющихся экспериментальных данных. Для углеводородных топлив допускается принимать величину среднеповерхностной плотности теплового излучения пламени E_f равным 450 кВт/м².

Угловой коэффициент облученности F_q рассчитывают согласно формуле:

$$F_q = \frac{H / D_s + 0,5}{4 \left[(H / D_s + 0,5)^2 + (r / D_s)^2 \right]^{1,5}} \quad (2)$$

где H — высота центра «огненного шара», м;

D_s — эффективный диаметр «огненного шара», м;

r — расстояние от облучаемого объекта до точки на поверхности земли непосредственно под центром «огненного шара», м.

Эффективный диаметр «огненного шара» D_s рассчитывают по формуле:

$$D_s = 5,33m^{0,327} \quad (3)$$

где m — масса горючего вещества, кг.

Высоту центра «огненного шара» H определяют в ходе специальных исследований. Допускается принимать H равной $D_s/2$.

Время существования «огненного шара» t_s , с, рассчитывают по формуле

$$t_s = 0,92m^{0,303} \quad (4)$$

Коэффициент пропускания атмосферы τ рассчитывают по формуле:

$$\tau = \exp \left[-7,0 \cdot 10^{-4} \cdot \left(\sqrt{r^2 + H^2} - D_s / 2 \right) \right] \quad (5)$$

На газокompрессорной станции в модуле энергетического оборудования расположены 6 трансформаторов, каждый из которых имеет мощность в 110 кВт. Для трансформаторов подобного типа масса горючего вещества (масса работающего трансформаторного масла) составляет 245 кг.

В результате аварийного отключения электропитания (в период грозовой активности) возникла чрезвычайная ситуация со взрывом трансформатора на модуле энергетических установок.

По условию, на одном из трансформаторов произошел взрыв. Из поврежденного корпуса трансформатора наружу вылился весь объем горючего вещества. В результате чрезвычайной ситуации, на газокompрессорной станции возник «огненный шар». Рассматриваемые в данной задаче трансформаторные установки расположены в двух рядом стоящих одноэтажных зданиях.

Рассчитаем значения параметров «огненного шара» для $r=1$ м.

Эффективный диаметр «огненного шара» определяем согласно формуле (3):

$$D_s = 5.33 * 245^{0.327} = 32,21 \text{ м}$$

По формуле (2), принимая значение $H = D_s/2 = 16,1$ м, находим угловой коэффициент облученности F_q :

$$F_q = \frac{\frac{16,1}{32,21} + 0.5}{4\left[\left(\frac{16,1}{32,21} + 0.5\right)^2 + \left(\frac{1}{32,21}\right)^2\right]^{1.5}} = 0,25$$

По формуле (5) определяем коэффициент пропускания атмосферы τ :

$$\tau = \exp\left[-7.0 * 10^4 \left(\sqrt{1^2 + 16,1^2} - 32,21/2\right)\right] = 0,99998$$

По формуле (1), принимая значение E_f равным 450 кВт/м^2 , находим интенсивность теплового излучения q :

$$q = \frac{450 \text{ кВт}}{\text{м}^2} * 0,25 * 0,99998 = 112,498 \text{ кВт/м}^2$$

По формуле (4) находим время существования «огненного шара» t_s :

$$t_s = 0.92 * 245^{0.303} = 4,87 \text{ с}$$

Таким образом, значение интенсивности теплового излучения «Огненного шара» составляет $112,498 \text{ кВт/м}^2$. Степень поражения при воздействии «огненного шара» на человека – ожоги 3-й степени. [5]

3.2 Расчет параметров волны давления при сгорании горючего вещества

Основными параметрами волны давления при сгорании горючей пыли в открытом пространстве являются избыточное давление и импульс волны давления. При большой величине избыточного давления возможно повреждение находящихся поблизости оборудования, конструкций и сооружений, а так же других зданий [6].

Избыточное давление D_p , кПа, развиваемое при сгорании, рассчитывается по формуле [5]:

$$\Delta p = p_0 (0,8m_{np}^{0,33} / r + 3m_{np}^{0,66} / r^2 + 5m_{np} / r^3) \quad (6)$$

где P_0 — атмосферное давление, кПа (допускается принимать равным 101 кПа);

r — расстояние от геометрического центра облака, м;

m_{np} — приведенная масса горючей пыли, кг, рассчитанная по формуле:

$$m_{np} = (Q_{cz} / Q_0) m_{z,n} Z, \quad (7)$$

где Q_{cz} — удельная теплота сгорания газа или пара, Дж/кг;

Z — коэффициент участия, который допускается принимать равным 0,05;

Q_0 — константа, равная $4,52 \cdot 10^6$ Дж/кг;

$m_{z,n}$ — масса горючих газов и (или) паров, поступивших в результате аварии в окружающее пространство, кг.

Импульс волны давления i , Па · с, рассчитывается по формуле:

$$i = 123 \cdot m_{np}^{0,66} / r \quad (8)$$

Определяем приведенную массу m_{np} по формуле (7):

$$m_{np} = \left(\frac{43,21 \text{ МДж/моль}}{4,52 \text{ МДж/кг}} \right) * 245 \text{ кг} * 0,05 = 117,11 \text{ кг}$$

Определяем избыточное давление D_p по формуле (6):

$$\Delta P = 101 \text{ кПа} \left(\frac{0,8 * 117,11^{0,33}}{1} + \frac{3 * 117,11^{0,66}}{1^2} + \frac{5 * 117,11}{1^3} \right) = 66,6 \text{ МПа}$$

Рассчитываем импульс волны давления i по формуле (8):

$$i = 123 * \frac{117,11^{0,66}}{1} = 2852,18 \text{ Па} * \text{с}$$

3.3 Расчет размеров возможного пожара и его потенциальной энергии

Размер пожара и его потенциальную энергию определяют на основе учета особенностей горючего вещества.

Площадь возможного пожара $F_{пож}$ определяют по формуле:

$$F_{пож} = \Pi [V_{л} \tau_p]^2 \quad (9)$$

где $V_{л}$ – линейная скорость распространения пламени, м/с, (принимая равной 0,13 м/с);

τ_p – расчетное время развития пожара, с.

$$\text{Тогда } F_{пож} = 3,14 * (0,13 * 120)^2 = 764,1504 \text{ м}^2$$

Высота пламени h , м, рассчитывается по формуле:

$$h = 42 \cdot d \left(\frac{m}{\rho_g \sqrt{gd}} \right)^{0,61} \quad (10)$$

$$d = \sqrt{\frac{4 * F_{\text{пож}}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 * 764,1504}{3,14}} = 31,2 \text{ м}$$

где d – диаметр пожара, м (равен 31,2 м);

m – удельная массовая скорость выгорания $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$;

ρ_e – плотность воздуха, $\text{кг}/\text{м}^3$ (равна 1,2);

g – ускорение свободного падения, $\text{м}/\text{с}^2$.

$$\text{Тогда } h = 42 * 31,2 * \left(\frac{0,039}{1,2 * \sqrt{9,81 * 31,2}} \right)^{0,61} = 28,28 \text{ м}$$

Продолжительность пожара τ рассчитывают исходя из условия, что горючее вещество горит размещенное на 100 м^2 без условия тушения.

$$\tau = \frac{N}{n} \quad (11)$$

где N – количество горючего вещества, кг;

n – скорость выгорания масла, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$.

$$\tau = 245 / 0,105 \text{ кг}/\text{м}^2\text{с} = 0,65 \text{ часа.}$$

Потенциальная энергия пожара $E_{\text{пож}}$ вычисляется по формуле:

$$E_{\text{пож}} = G_n \cdot Q \cdot K \quad (12)$$

Где G_n – масса сгораемого вещества, кг;

Q – теплота сгорания горючего вещества, кДж/кг (равна для трансформаторного масла – $43,21 \cdot 10^6$ кДж/кг);

K – коэффициент недожога (равен для трансформаторного масла – 0,25).

$$E_{\text{пож}} = 245 * 43,21 * 10^6 * 0,25 \approx 2,6 * 10^6 \text{ кДж}$$

Аналогичные расчеты проводим для радиусов значением 10, 15 и 20 метров от центра огненного шара. Полученные данные сводим в таблицу 4.

Таблица 4– Сводная таблица критериев пожаровзрывоопасности по расчетным показателям

Радиус, м	Интенсивность теплового излучения, кВт/м ²	Доза теплового излучения, 10 ⁵ Дж/м ²	Степень поражения	Избыточное давление, ΔP, кПа	Степень разрушения зданий и сооружений	Класс зоны	Допустимое время пребывания людей, мин	Требуемая защита	Степень теплового воздействия без средств защиты
1	112,498	5,5	Ожог 3-й степени	66555,97	Полное разрушение	1	1	В теплоотражательных костюмах под защитой струй, со средствами защиты	Мгновенные ожоги
10	98,8	4,8	Ожог 3-й степени	169,68	Полное разрушение	1	1	В теплоотражательных костюмах под защитой струй, со средствами защиты	Мгновенные ожоги
15	85,15	4,1	Ожог 3-й степени	74,64	Сильное разрушение, 50% полного разрушения	2	1	В теплоотражательных костюмах под защитой струй, со средствами защиты	Мгновенные ожоги
20	67,049	3,3	Ожог 3-й степени	44,44	Среднее повреждение, разрушение без обрушения. Резервуары нефтепродуктов разрушаются	3	5	В теплоотражательных костюмах под защитой струй	Мгновенные ожоги

Как видно из приведенной таблицы, полученные значения избыточного давления в 4 зонах наносят повреждения производственным коммуникациям, зданиям и сооружениям от средних, без обрушения, до полных (Рис. 3).

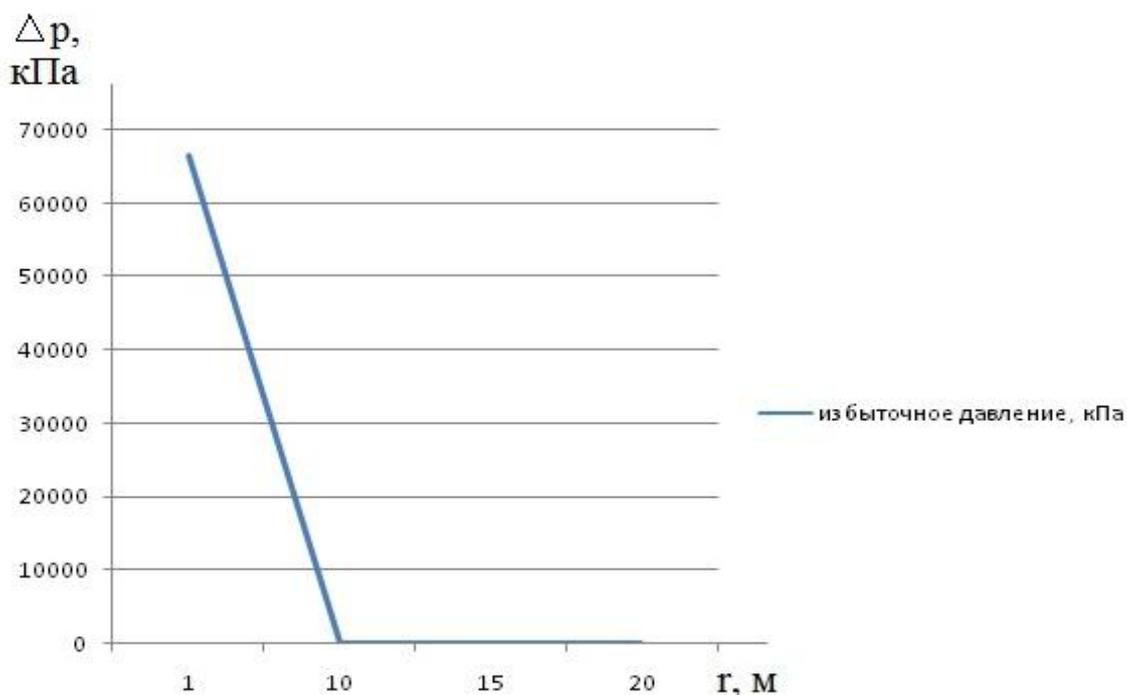


Рисунок 3 – Зависимость величины избыточного давления от расстояния от эпицентра взрыва

Анализируя полученные значения интенсивности теплового излучения и дозы теплового излучения можно сделать следующие выводы: при нахождении человека в теплоотражательных костюмах в радиусе от 1 до 20 метров от очага возгорания, он получит мгновенные ожоги 3-й степени (Рис.4). Кроме того, время пребывания людей с использованием средств индивидуальной защиты кожи и органов дыхания в зонах воздействия расчетных величин интенсивности теплового излучения и дозы теплового излучения не может превышать 1 минуты (1-15 метров от очага возгорания), 5 минут (20 метров от очага возгорания). Если же человек находится в исследуемых зонах (Рис. 4, 5) без специальных средств защиты, он фактически мгновенно начинает испытывать непереносимую боль и получает ожоги 3-й степени.

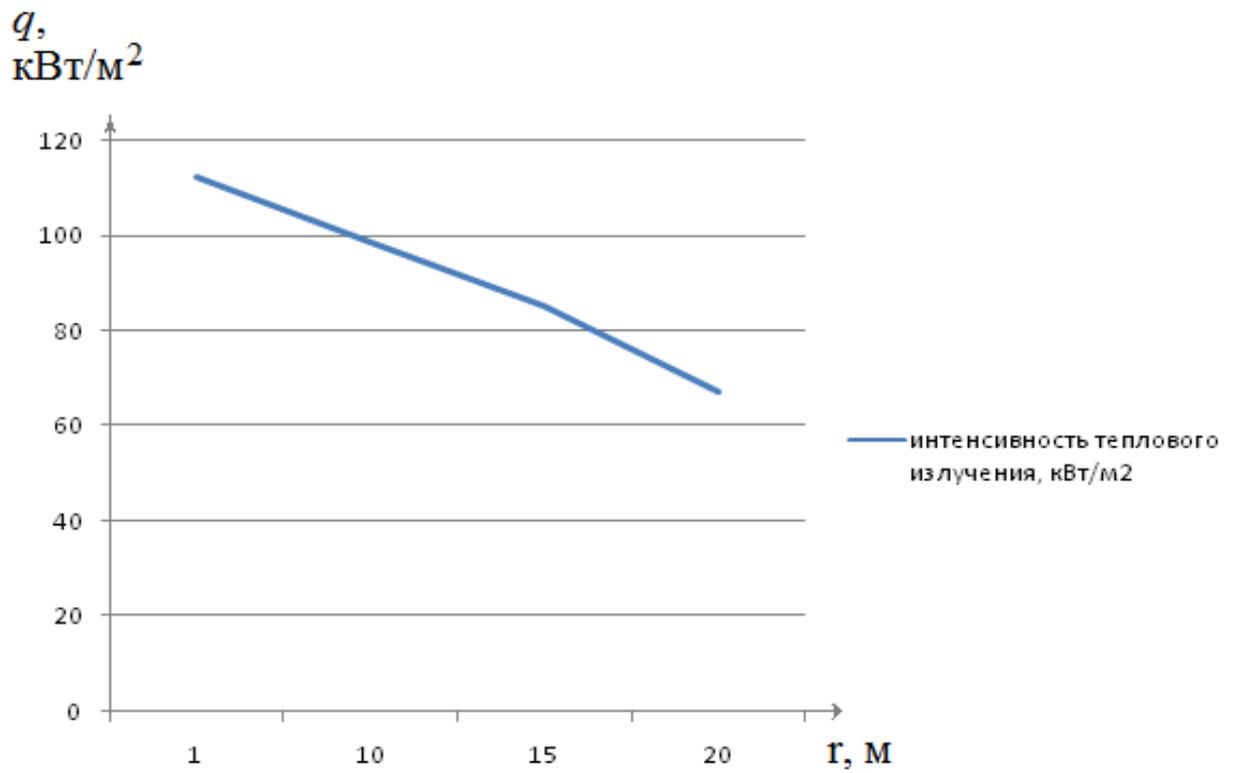


Рисунок 4 - Зависимость величины интенсивности теплового излучения от расстояния от эпицентра взрыва

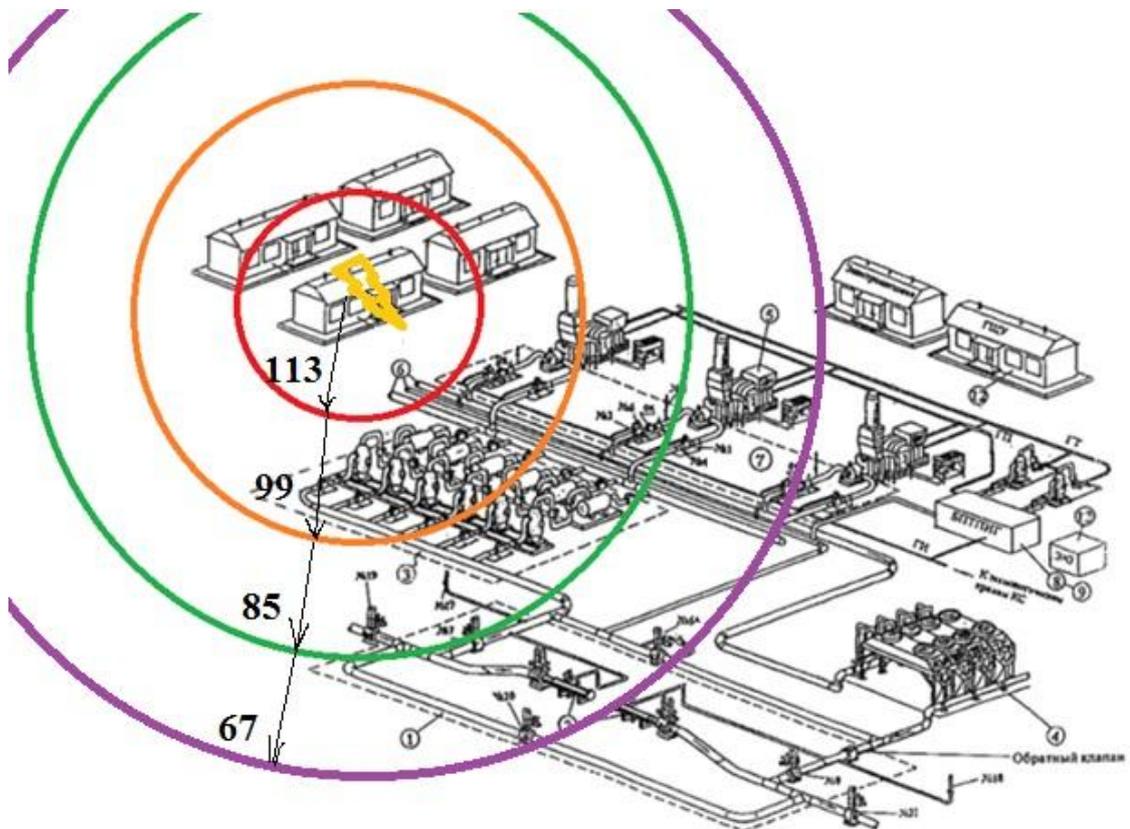


Рисунок 5 –Определение границ распространения интенсивности теплового излучения по объекту

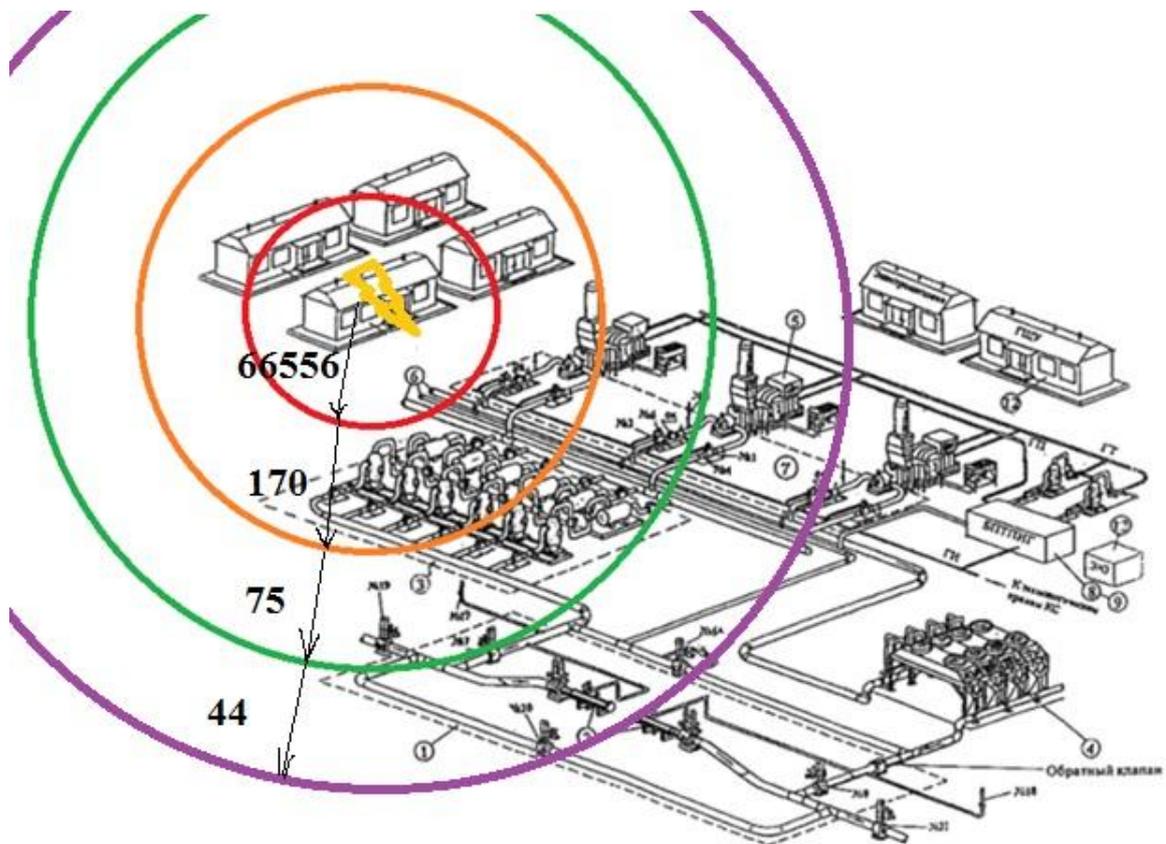


Рисунок 6 – Определение границ распространения избыточной волны давления по объекту

Проведенное зонирование рассматриваемого объекта газокompрессорной станции позволило определить территории, на которых интенсивность теплового излучения (доза теплового излучения) наносит человеку повреждения 3 степени, а так же объекты, попадающие в зоны полных и сильных разрушений в случае наступления расчетной аварийной ситуации. Исходя из представленных схем зонирования территории головной газокompрессорной станции (Рис. 5,6), можно дать рекомендации, согласно которым, энергетический модуль необходимо отнести на расстояние, свыше 20 м, что позволит минимизировать вероятности разрушения иных зданий, сооружений, конструкций на территории ГКС и снизить возможные поражения обслуживающего персонала в случае возникновения расчетной аварийной ситуации. Зонирование территории позволяет обеспечить благоприятную ситуацию для сотрудников и производственных зданий и сооружений объекта, в том числе ограничение вредного воздействия чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера.

Резюмируя вышесказанное, можно сделать вывод о том, что на объекте (газокомпрессорная станция, модуль «энергетическое оборудование – трансформатор») необходимо использовать автоматические средства тушения пожара с минимальной скоростью срабатывания. Кроме того, располагать трансформаторы следует в отдельные пожаро- и взрывостойкие блоки, что позволит снизить вероятность возникновения цепных реакций, а кроме этого позволит локализовать аварию с наименьшими потерями для предприятия.

4. МЕТОДОЛОГИЯ ОЦЕНКИ И УПРАВЛЕНИЯ РИСКОМ

Методология оценки и управления риском позволяет учитывать не только вероятностную природу аварии, но и совокупность влияния множества факторов, определяющих как характер их развития, так и масштаб воздействия на человека и среду, в которой он обитает [7]. С помощью количественных показателей риска, стали возможными оценка потенциальной опасности и сравнение опасностей различной природы.

Методика оценки и анализа риска заключается в расчете вероятности возникновения нежелательного события и оценки их последствия.

Анализ риска представляется как часть системного подхода к разработке практических мер и процедур для решения задач по предупреждению или минимизации последствий возникающей опасности для жизни и здоровья людей и окружающей среды. Он базируется на собранной информации, определяя меры по осуществлению безопасности технологической системы [8]. Таким образом, основной задачей анализа риска является обеспечение рационального основания для принятия решения в отношении риска.

В рассматриваемом случае риск представляет собой сочетание вероятности и последствия определенного происшествия [9].

Таким образом, применение сложных технологических процессов, отсутствие возможности охвата всего спектра явлений, способного привести к возникновению аварийных ситуаций, повлекло за собой создание почвы для использования вариационного метода дерева событий для анализа всего комплекса устойчивости функционирования экологической и промышленной безопасности предприятия. Использование же понятия «риск» дает возможность перевести опасность в ряды измеряемых категорий.

Довольно успешным методом нахождения компромисса, обеспечения полного функционального описания проблемы экологической и промышленной безопасности считается использование представления информации о системах и изучаемых объектах в виде графических логических построений [10].

С точки зрения возникновения аварийных ситуаций предпочтительнее производить анализ минимальных срезов дерева. Зная значения вероятности их наступления, можно рассчитать вероятность реализации главного события.

Дерево событий (отказов) предназначается для графического вывода информации общего плана протекания возможных аварийных ситуаций и аварий с отображением причинно-следственной связи событий исходя из специфики объекта, оценки риска, а также учитывая влияние на них уже имеющихся защитных мероприятий, и является базой для оценки риска [11]. Сценарии возникновения и протекания аварии и аварийной ситуации на логическом дереве отказов отражаются в виде логической последовательности возможных событий от исходного до конечного (ветвь или срез дерева событий) [12].

Этот метод позволяет прослеживать протекание теоретически возможных аварийных ситуаций и аварий, возникших при реализации событий, инициирующих данную аварийную ситуацию [13]. Исследование дерева событий представляет «осмысливаемый вперед» процесс, иными словами это процесс, в котором исследование протекания аварийной ситуации начинается с главного события, после чего идет рассмотрение цепочки последующих событий, приводящих к инициированию аварии.

При построении вариационных логических деревьев отказов учитываются нижеизложенные положения:

выбирается аварийная ситуация, в которой существует вероятность, что она может спровоцировать возникновение аварии с возникновением пожара (взрыва) и дальнейшим его развитием;

протекание аварийной ситуации или аварии рассматривается по стадиям, учитывая место ее возникновения на объекте, оценку риска, уровень потенциальной опасности на каждой из стадий и возможность ее локализации, а также и ликвидации. При построении логического дерева отказов стадии развития аварийной ситуации и аварии могут быть изображены при помощи использования прямоугольников или иных геометрических фигур, где внутри них находятся краткие названия этих этапов;

переход с рассматриваемого этапа на новый обусловлен возможностью локализовать аварию на рассматриваемой стадии, либо невозможностью локализации и дальнейшего развития аварии, которое связано с вовлечением расположенного рядом технологического оборудования, сооружений, помещений и т.д. в результате оказанного на них влияния опасными факторами пожара или взрыва, которые возникли на рассматриваемой стадии. Вероятность перехода аварии с одной стадии на другую, принадлежащую этой же ветви, или с ветви на ветвь определяются, исходя из величины зоны поражения опасными факторами пожара (взрыва), объемно-планировочными решениями и конструктивными особенностями оборудования и сооружений на промышленном предприятии. При этом каждому этапу в некоторых случаях присваиваются идентификационные номера, в которых отражают последовательность переходов с события на событие;

переход с этапа на этап изображается при помощи соединяющих этапы линий со стрелками, которые указывают направление протекания пожароопасной ситуации и развития последующего пожара. При этом соединения этапов должны нести вероятностный характер прогнозируемого события при выполнении условий «ИЛИ», «И», и «И/ИЛИ» (условие «И» - обозначает взаимосвязь событий, условие «ИЛИ» - акцентирует внимание на независимости событий одного от другого, а условие «И/ИЛИ» - возможность частичной реализации либо условия «И», либо «ИЛИ» ввиду

многообразия путей дальнейшего развития) [14]. Изображение взаимосвязи между событиями по условию «И» выполняется с использованием сплошной линии, без каких либо ответвлений, при условии «ИЛИ» - используется сплошная линия, но уже с использованием ответвлений, подходящих к взаимоисключающим друг друга стадиям (событиям), при условии «И/ИЛИ» - используется пунктирная линия, с ответвлениями к возможным стадиям;

для каждого события необходимо устанавливать уровень его опасности, в котором главной характеристикой является возможность перехода аварийной ситуации или аварии на участки объекта, расположенные по соседству;

если один из путей повторяет часть другого пути протекания аварии для облегчения построения логического дерева отказов иногда допустимо вводить обозначения, представляющие собой соответствующие линии со стрелками и надпись «на стадию (код последующей стадии)». В таком случае переход с этапа с более высоким уровнем опасности на этап с меньшим уровнем необходимо дополнить код этапа с меньшим уровнем опасности кодом, который соответствует этапу с более высоким уровнем опасности. Обычно, его указывают в скобках.

Анализируя логические деревья отказов, обычно, руководствуются следующими пунктами [15]:

возможность предотвратить дальнейшее развитие аварийной ситуации и аварии, зависящее от количества этапов и времени их реализации (другими словами, от длины пути развития аварийной ситуации и аварии). Это можно объяснить большей степенью вероятности успешной ликвидации аварийной ситуации и аварии, которая связана с увеличением затрат времени на ограничение распространения аварийной ситуации и аварии и количеством стадий, на которых эта локализация возможна;

наличие на этапе нескольких разветвлений по принципу «И» или «И/ИЛИ», которые свидетельствует о приобретении аварийной ситуацией и аварией «цепного» типа характера развития, то есть одновременного

развития аварии по нескольким путям с дальнейшим увеличением их количества (так называемый «эффект домино»), что в большей степени усложняет успешную локализацию и ликвидацию пожара;

наличие у этапа разветвлений по типу «ИЛИ», одно из которых приходит на этап локализации аварийной ситуации или аварии (к примеру, тушение очага пожара, перекрытие запорной арматуры, своевременное обнаружение утечки и ликвидация пролива и т.д.), говорит о возможности предотвратить дальнейшее развитие аварийной ситуации и аварии по этому пути. Отсутствие стадии локализации аварийной ситуации и аварии на разветвлениях по типу «ИЛИ» свидетельствует о невозможности приостановления дальнейшего развития аварийной ситуации и аварии на данной разветвляемой стадии;

чем больше число возможных путей развития аварийной ситуации и аварии приходит на один этап, тем большая вероятность возникновения этого этапа.

Для того чтобы оценить вероятность перехода аварии с одного этапа на другой, в первую очередь, необходимо определить условную вероятность, при которой возможна реализация тех или иных ветвей дерева отказов. После этого следует определить вероятности срабатывания соответствующих средств для предотвращения или локализации аварии. Помимо этого, необходимо оценить вероятности поражения сооружений объекта и технологического оборудования, расположенных в зоне возникновения аварии, в результате оказанного на них воздействия опасных факторов пожара.

Преимущество дерева событий можно выразить в следующем:

1. Проводимый анализ ориентируется, прежде всего, на нахождение отказов;
2. Анализ логического дерева событий позволяет показать в явном виде малонадежные места в системе;

3. Обеспечивается графикой и представляет собой наглядный материал для сотрудников, принимающих участие в обслуживании системы;
4. Позволяет выполнять количественный или качественный анализ безопасности системы;
5. Метод дает возможность специалистам сосредотачиваться на отдельно взятых, конкретных отказах системы поочередно;
6. Позволяет получить глубокое представление о поведении системы в той или иной ситуации и проникнуть в процесс ее функционирования;
7. Является средством общения специалистов, так как результаты представлены в наглядной и четкой форме;
8. Помогает дедуктивно выявлять отказы;
9. Позволяет конструкторам, руководителям и пользователям наглядно обосновывать конструктивные изменения или устанавливать степень соответствия конструкций систем заданным требованиям и анализировать компромиссные решения;
10. Позволяет облегченно проводить анализ надежности сложных систем.

Главным преимуществом дерева событий (в сравнении с другими методами) является то, что этот анализ ограничивается определением только элементов системы и событий, приводящих к данному конкретному возникновению аварии или отказу системы.

К недостаткам дерева событий можно отнести следующие показатели:

1. Реализация этого метода требует от предприятия значительных затрат времени и средств;
2. Дерево событий – это конфигурация булевой логики, демонстрирующая только два состояния: отказавшее и рабочее;
3. Трудность при учете состояния неполного отказа элементов, так как, используя данный метод, как правило, принято считать, что система находится в двух крайних состояниях: в состоянии отказа или в исправном состоянии;

4. Затруднения в общем случае аналитического решения для деревьев, которые содержат в себе резервные и восстанавливаемые узлы с приоритетами, не упоминая уже даже о тех колоссальных усилиях, требующихся для охвата всех типов множественных отказов системы;

5. От специалистов по надежности метод требует всестороннего понимания поведения системы и конкретного рассмотрения каждый раз только одного четко определенного отказа [16].

Дерево событий описывает систему лишь в определенный момент времени, обычно это установившийся режим, и с большим трудом могут быть показаны последовательности событий, иногда это вообще оказывается невозможным. Это утверждение применимо к системам, которые имеют сложные контуры регулирования.

Таким образом, построение дерева событий для чрезвычайной ситуации с возникновением очага возгорания и развитием пожара на предприятии позволяет с высокой степенью вероятности спрогнозировать развитие событий при отказе оборудования. Данный метод позволяет нам выявить слабые места в технологическом-производственном процессе, а так же получить более полное представление о поведении самой системы в моменты выхода оборудования из его устойчивого функционирования, что и является предшествующим фактором развития ЧС [17]. Иначе говоря, дерево событий позволяет выявить слабые места в технологии производства на пылеобразующем предприятии и провести превентивные меры для обеспечения бесперебойного функционирования предприятия, а так же предупредить человеческие жертвы и травмы.

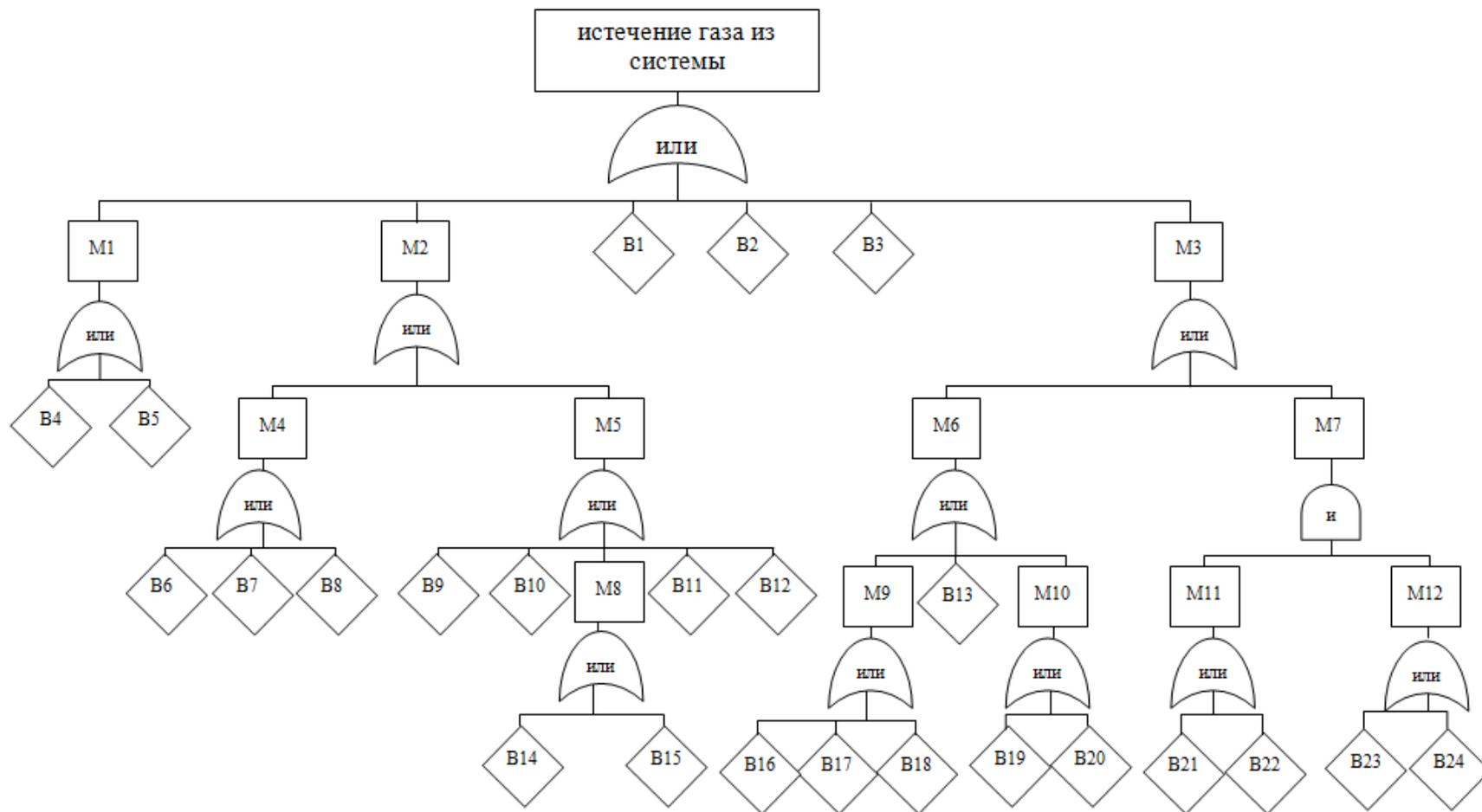


Рисунок 7 – Вариационная модель дерева событий для расчетной аварийной ситуации

Проводя анализ построенного дерева событий (отказов) для главного события «истечение газа из системы» на ГКС.

Возникновение главного события может быть спровоцировано возникновением событий:

M1 – Пожар на газокompрессорной станции;

M2 – Внешние причины;

M3 – Создание избыточного давления.

Причем мы видим, что каждое из данных событий может привести к главному событию.

События M1, M2, M3 требуют дальнейшего развития.

Анализ продвигается вниз на один уровень, пока все механизмы отказов не будут исследованы до соответствующей глубины [18].

Неразвитые события обозначены ромбами.

Дальнейшее развитие неразвитых событий не считается необходимым или возможным.

В таблице 5 приведены характерные иницирующие события.

Таблица 5 - Типичные иницирующие события

Обозначение	Характеристика события	Вероятность события
B1	Разрушение опорных конструкций	$1,1 \cdot 10^{-6}$
B2	Дефект конструкции	$4 \cdot 10^{-6}$
B3	Внутренний разрыв	$2 \cdot 10^{-5}$
B4	Внутренний пожар	$1 \cdot 10^{-5}$
B5	Внешний пожар	$5,2 \cdot 10^{-4}$
B6	Землетрясение	$1 \cdot 10^{-5}$
B7	Молния	$1 \cdot 10^{-6}$
B8	Падение метеорита	$4 \cdot 10^{-9}$
B9	Диверсия	$6,2 \cdot 10^{-5}$
B10	Ошибка персонала	$7 \cdot 10^{-6}$
B11	Отказ в энергоснабжении	10^{-5}
B12	Коррозия	$1 \cdot 10^{-7}$

Обозначение	Характеристика события	Вероятность события
B13	Отказ аварийного вентиля	10^{-5}
B14	Автотранспорт	10^{-5}
B15	Авиатранспорт	$1 \cdot 10^{-6}$
B16	Отказ контрольной аппаратуры	$2 \cdot 10^{-6}$
B17	Ошибки операторов	$7 \cdot 10^{-6}$
B18	Отказ запорной арматуры	$2 \cdot 10^{-6}$
B19	Загрязнение	$1 \cdot 10^{-4}$
B20	Ошибка операторов	$7 \cdot 10^{-6}$
B21	Пожар	$4,5 \cdot 10^{-4}$
B22	Высокие температуры окружающей среды	$1 \cdot 10^{-6}$
B23	Загрязнение	$1 \cdot 10^{-4}$
B24	Производственный дефект	$4 \cdot 10^{-6}$

Имея итоговую вариационную схему дерева отказов и оценочную частоту (вероятность) для каждого базового или неразвивающегося события, можно вычислить частоту наступления главного события или его вероятность [19].

Рассмотрим дальнейшее развитие события M1 - Пожар на газокompрессорной станции.

К событию M1 – Пожар на газокompрессорной станции через логический блок «или» ведут события B4, B5. Тогда вероятность наступления события M1 будет равна:

$$P(M1)=P(B4)+P(B5)= 1 \cdot 10^{-5}+5,2 \cdot 10^{-4}=5,3 \cdot 10^{-4} / \text{год.}$$

К событию M4 – Природные причины через логический блок «или» ведут события B6, B7, B8. Тогда вероятность наступления события M4 будет равна:

$$P(M4)=P(B6)+P(B7)+P(B8)= 1 \cdot 10^{-5}+1 \cdot 10^{-6}+4 \cdot 10^{-9}=1,1 \cdot 10^{-5} / \text{год.}$$

К событию M8 – Воздействие средств передвижения через логический блок «или» ведут события B14 и B15. Тогда вероятность наступления события M8 будет равна:

$$P(M8)=P(B14)+P(B15)= 10^{-5}+1 \cdot 10^{-6}=1,1 \cdot 10^{-5} / \text{год.}$$

К событию М5 – Антропогенные причины через логический блок «или» ведут события В9, В10, М8, В11 и В12. Тогда вероятность наступления события М5 будет равна:

$$P(M5)=P(B9)+P(B10)+P(M8)+P(B11)+P(B12)= 6,2 \cdot 10^{-5}+7 \cdot 10^{-6}+1,1 \cdot 10^{-5}+10^{-5}+1 \cdot 10^{-7}=9 \cdot 10^{-5} / \text{год.}$$

К событию М2 – Внешние причины через логический блок «или» ведут события М4 и М5. Тогда вероятность наступления события М2 будет равна:

$$P(M2)=P(M4)+P(M5)= 1,1 \cdot 10^{-5}+9 \cdot 10^{-5}=10,1 \cdot 10^{-5} / \text{год.}$$

К событию М9 – Превышение контрольного уровня через логический блок «или» ведут события В16, В17, и В18. Тогда вероятность наступления события М9 будет равна:

$$P(M9)=P(B16)+P(B17)+ P(B18)= 2 \cdot 10^{-6}+7 \cdot 10^{-6}+2 \cdot 10^{-6}=11 \cdot 10^{-6} / \text{год.}$$

К событию М10 – Отказ предохранительных клапанов через логический блок «или» ведут события В19, В20. Тогда вероятность наступления события М10 будет равна:

$$P(M10)=P(B19)+P(B20)= 1 \cdot 10^{-4}+7 \cdot 10^{-6}=1 \cdot 10^{-4} / \text{год.}$$

К событию М6 – Избыточное заполнение резервуара через логический блок «или» ведут события М9, В13, и М10. Тогда вероятность наступления события М6 будет равна:

$$P(M6)=P(M9)+P(B13)+ P(M10)= 11 \cdot 10^{-6}+10^{-5}+1 \cdot 10^{-4}=1,2 \cdot 10^{-4} / \text{год.}$$

К событию М11 – Внешний источник нагрева через логический блок «или» ведут события В21 и В22. Тогда вероятность наступления события М11 будет равна:

$$P(M11)=P(B21)+P(B22)= 4,5 \cdot 10^{-4}+1 \cdot 10^{-6}=4,5 \cdot 10^{-4} / \text{год.}$$

К событию М12 – Перегрузка резервуара через логический блок «или» ведут события В23 и В24. Тогда вероятность наступления события М12 будет равна:

$$P(M12)=P(B23)+P(B24)= 1 \cdot 10^{-4}+4 \cdot 10^{-6}=1 / \text{год.}$$

К событию М7 – Повышение температуры резервуара через логический блок «и» ведут события М11 и М12. Тогда вероятность наступления события М7 будет равна:

$$P(M7)=P(M11) \cdot P(M12)=4,5 \cdot 10^{-4} \cdot 1 \cdot 10^{-4}=4,5 \cdot 10^{-8}/ \text{ год.}$$

К событию М3 – Создание избыточного давления через логический блок «или» ведут события М6 и М7. Тогда вероятность наступления события М3 будет равна:

$$P(M3)=P(M6)+P(M7)=1,2 \cdot 10^{-4}+4,5 \cdot 10^{-8}=1,2 \cdot 10^{-4}/ \text{ год.}$$

Рассчитав вероятности событий М1, М2, М3 и зная значения конечных событий В1, В2 и В3, мы можем определить вероятность возникновения главного события исследуемого дерева событий.

К главному событию «Истечение газа из системы» через логический блок «или» ведут события М1, М2, В1, В2, В3 и М3 (Рис. 8).

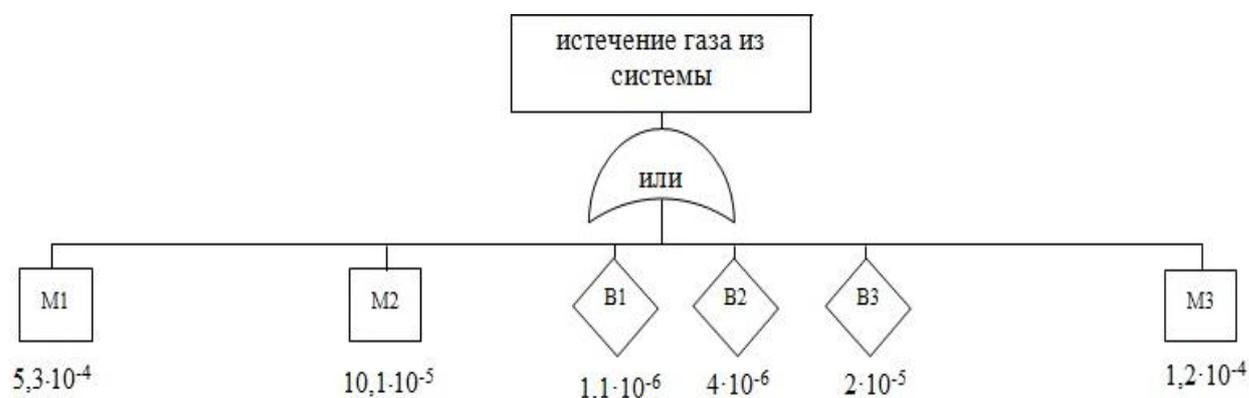


Рисунок 8 – Отказ составных систем устойчивого функционирования объекта для расчетной аварии

Тогда вероятность наступления головного события будет равна:

$$F(T)=P(M1)+P(M2)+P(V1)+P(V2)+P(V3)+P(M3)=$$

$$=5,3 \cdot 10^{-4}+10,1 \cdot 10^{-5}+1,1 \cdot 10^{-6}+4 \cdot 10^{-6}+2 \cdot 10^{-5}+1,2 \cdot 10^{-4}=7,8 \cdot 10^{-4}/ \text{ год.}$$

Таким образом, анализируя полученные данные, можно прийти к следующему выводу: ветвь события М1 – пожар на газокompрессорной станции является наиболее неблагоприятной, с вероятностью наступления события $5,3 \cdot 10^{-4}/ \text{ год.}$

4.1 Анализ видов последствий и отказов путем построения матрицы

Анализ видов и последствий отказов (АВПО) применяется для качественного анализа опасности рассматриваемой технической системы. Существенной чертой данного метода является рассмотрение каждого аппарата (установки, блока, изделия) или же составной части системы (элемента) на предмет того, как он стал неисправным (вид и причина отказа) и какое было бы оказано воздействие отказа на техническую систему [20].

Анализ видов и последствий отказа можно расширить до понятия количественного анализа видов, последствий и критичности отказов (АВПКО). В таком случае каждый вид отказа ранжируется с учетом двух составляющих критичности - вероятности (или частоты) и тяжести последствий отказа. Определение параметров критичности необходимо для выработки рекомендаций и приоритетности мер безопасности.

Ниже приведены показатели (индексы) уровня и критерии критичности по вероятности и тяжести последствий отказа. Для анализа выделены четыре группы, которым может быть нанесен ущерб от отказа: персонал, население, имущество (оборудование, сооружения, здания, продукция и т.п.), окружающая среда.

В таблице 6 применены следующие варианты критериев:

критерии отказов по тяжести последствий: катастрофический отказ - приводит к гибели людей, существенному ущербу имуществу, приводит к полным разрушениям конструкций и сооружений, наносит невосполнимый ущерб окружающей среде; критический (некритический) отказ - угрожает (не угрожает) жизни людей, приводит (не приводит) к сильным разрушениям конструкций и сооружений приводит (не приводит) к существенному ущербу имуществу, окружающей среде; отказ с пренебрежимо малыми последствиями - отказ, не относящийся по своим последствиям ни к одной из первых трех категорий;

категории (критичность) отказов: *A* - обязателен количественный анализ риска или требуются особые меры обеспечения безопасности; *B* –желательно проведение количественного анализа риска или требуется принятие определенных мер безопасности; *C* - рекомендуется проведение качественного анализа опасностей или принятие некоторых мер безопасности; *D* - анализ и принятие специальных (дополнительных) мер безопасности не требуются.

Таблица 6- Матрица «вероятность-тяжесть последствий»

Наименование отказа	Отказ	Частота возникновения отказа в год	Расчетная частота возникновения отказа в год	Тяжесть последствий отказа			
				Катастрофического	Критического	Некритического	С пренебрежимо малыми последствиями
Пожар на ГКС	Возможный	$10^{-2} - 10^{-4}$	$5,3 \cdot 10^{-4}$	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>B</i>	<i>C</i>
Создание избыточного давления	Возможный	$10^{-2} - 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>B</i>	<i>C</i>
Внешние причины	Редкий	$10^{-4} - 10^{-6}$	$10,1 \cdot 10^{-5}$	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>

Как видно из таблицы 6, срезы М1 – Пожар на газокompрессорной станции, М2 – Создание избыточного давления и М3 – Внешние причины относятся к возможным отказам (М1 и М3) и редким отказам (М2). При наступлении возможных событий с вероятностью $10^{-2} - 10^{-4}$ при предупреждении тяжести последствий катастрофического характера обязателен количественный анализ риска или требуются особые меры обеспечения безопасности, при предупреждении тяжести последствий критического и некритического характера желателен количественный анализ риска или требуется принятие определенных мер безопасности, при предупреждении тяжести с пренебрежимо малыми последствиями рекомендуется проведение качественного анализа опасностей или принятие некоторых мер безопасности.

При наступлении редких событий с вероятностью $10^{-4} - 10^{-6}$ при предупреждении тяжести последствий катастрофического характера обязательно проведение количественного анализа риска или требуются особые меры обеспечения безопасности, при предупреждении тяжести последствий критического характера желателен количественный анализ риска или требуется

принятие определенных мер безопасности, при предупреждении тяжести последствий некритического характера рекомендуется проведение качественного анализа опасностей или принятие некоторых мер безопасности, при предупреждении тяжести с пренебрежимо малыми последствиями анализ и принятие специальных (дополнительных) мер безопасности не требуются.

Таким образом, для наиболее вероятного инициирующего главное событие на дереве отказов события, для предупреждения катастрофических последствий (гибели людей, существенному ущербу имущества, полные разрушения конструкций и сооружений, причинения невосполнимого ущерба окружающей среде) при вероятности его возникновения $5,3 \cdot 10^{-4}$ необходимо в обязательном порядке провести количественный анализ риска или принять особые меры обеспечения безопасности.

Метод анализа видов и последствий отказов применяется, как правило, для анализа проектов сложных технических систем или технических решений.

Как показывает практика, оснащение системами молниезащиты различных объектов является обязательной процедурой, которая по основным пунктам регламентирована ПУЭ (Правилами устройства электроустановок) и стандартами. В ходе развития систем молниезащиты появляются новые, более эффективные технологии и оборудование. В мировой науке разработаны методы и средства нового поколения защиты от последствий атмосферных разрядов, показавшие на практике высокую эффективность. Одним из таких направлений является использование систем молниезащиты с упреждающей стримерной эмиссией или активной молниезащиты, которые обеспечены соответствующей нормативной базой (стандарты IEC 61024, IEC 62305, IEC 61312) [20]. Международной электротехнической комиссии (МЭК) и применяются во всем мире более 30 лет.

5. ПОСТРОЕНИЕ ЗОНЫ АКТИВНОЙ МОЛНИЕЗАЩИТЫ

Прямые удары молнии могут стать одной из главных причин взрыва на магистрали газопровода. С наибольшей степенью вероятности это может произойти в местах, где трубы линейного газопровода выходят на поверхность земли, а именно на территории компрессорной станции «Чажемто». Поэтому существует необходимость в проведении комплекса мероприятий по молниезащите для данного участка газопровода.

Под молниезащитой принимают комплекс защитных устройств, позволяющих обеспечить безопасность людей, сохранность зданий и сооружений, а также материалов и оборудования от возможных возгораний, разрушений и взрывов, вызванных электричеством, механическим или тепловым воздействием от молнии.

Для обеспечения абсолютной безопасности компрессорной станции от воздействия молний мы предлагаем использовать для защиты территории объекта активные молниеприемники, способные не просто принимать удар молнии, но и отводить его в сторону от защищаемого объекта. Основным недостатком пассивных систем молниезащиты является то, что они ждут непосредственно удара молнии. Активный вариант молниезащиты способен обнаруживать заблаговременно возможность удара молнии и не допустить пропускание разряда через молниеотвод, принуждая тем самым разряд молнии пройти через молниеотвод.

5.1 Оценка количества попаданий молнии в трубу газопровода

Ожидаемое количество поражений в год определяют по формуле [21]:

$$N = (S + 6 \cdot h) \cdot (L + 6 \cdot h) \cdot n \cdot 10^{-6}, \quad (13)$$

где S – ширина защищаемого объекта, м;

h – наибольшая высота здания или сооружения объекта, м;

L – длина защищаемого объекта, м;

n – среднегодовое число ударов молнии в 1 км^2 земной поверхности в месте расположения компрессорной станции (в Томской области этот показатель равен 5).

Ожидаемое количество поражений молнией в год для территории прямоугольной формы длиной 400 м, шириной 150 м, имеющей здание с наибольшей высотой 10 м определяют:

$$N = (150 + 6 \cdot 10) \cdot (400 + 6 \cdot 10) \cdot 5 \cdot 10^{-6} = 0,48$$

Таким образом, поражение молнией территории компрессорной станции происходит один раз в 2 года.

5.2 Построение зоны защиты

Одиночный тросовый молниеотвод покрывает область защиты, представленную на рисунке 9. Зона является двускатной плоскостью с приставленными полуконусами на границах. Горизонтальное сечение области защиты на высоте объекта защиты h_x представляется прямоугольником с полукругами радиусом r_x , которые приставлены к малым сторонам данного прямоугольника. Зная высоту опор $h_{оп}$ и длину пролета a с учетом провиса тросов установленным сечением от 35 до 50 мм^2 , то можно рассчитать высоту троса:

$$h = h_{оп} - 2, \text{ при } a < 120 \text{ м}, \quad (14)$$

$$h = h_{оп} - 3 \text{ при } 120 < a < 150, \quad (15)$$

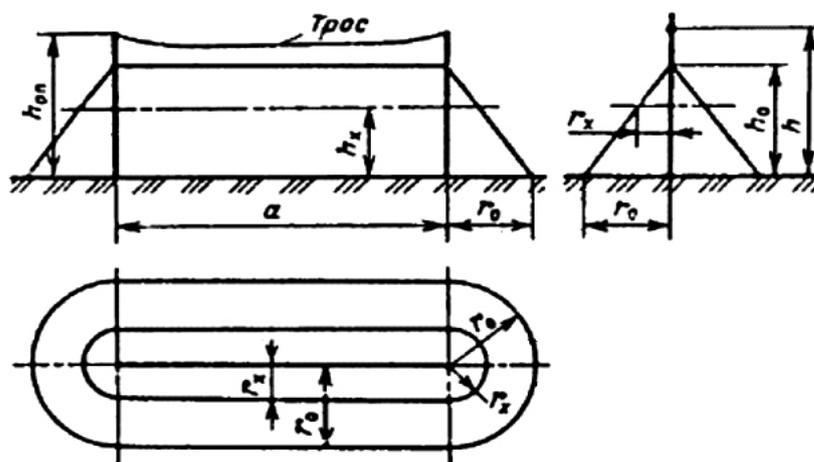


Рисунок 9 – Область защиты одиночного тросового молниеотвода [22]

Область защиты одиночного тросового молниеотвода выполняется согласно следующим габаритным размерам:

$$h_0 = 0,92 \cdot h, \quad (16)$$

$$r_0 = 1,7 \cdot h, \quad (17)$$

Используя значения высоты наиболее высокого здания на объекте и половину ширины защищаемой территории, определяем высоту одиночного тросового молниеотвода:

$$h = (r_x + 1,85 \cdot h_x) / 1,7 \quad (18)$$

Если расположить опоры у границ защищаемой территории, тогда значение радиуса зоны защиты r_x будет равно половине ширины территории:

$$r_x = S / 2 \quad (19)$$

Отсюда следует, что $r_x = 150/2 = 75$ м. Находим высоту тросового молниеотвода согласно формуле $h = (75 + 1,85 \cdot 10) / 1,7 = 55$ м.

Пролет троса имеет длину $a = 150$ м.

Исходя из условия (8) $120 < a = 150 \leq 150$, рассчитываем высоту опор, преобразуя формулу (8) $h_{on} = 55 + 3 = 58$ м.

Таким образом, зона защиты имеет высоту $h_o = 0,92 \cdot 55 = 50,6$ м, а ее радиус на уровне земли $r_0 = 1,7 \cdot 55 = 93,5$ м.

Так как, длина защищаемой зоны составляет 400 м, то для обеспечения ее безопасности на всей территории компрессорной станции необходимо установить две конструкции молниеотвода. Железобетонная конструкция из 4-х подножников одновременно служит фундаментом и заземлителем.

Другими словами, параметры конструкции молниеотводов выглядят таким образом:

высота тросового молниеотвода 55 м;

длина пролета троса 150 м;

высота опоры 58 м;

радиус защиты 93,5 м;

высота защитной зоны 50,6 м.

5.3 Обоснование выбора активной молниезащиты

Принцип функционирования системы активной молниезащиты осуществляется за счет разности потенциалов, образующихся между поверхностью земли и грозовым облаком. Как только напряженность электрического поля достигает критического значения, молниеприемник провоцирует опережающий разряд в сторону молнии, таким образом, что если молния и возникнет, то молниеприемник обязательно ее поймает и отведет в землю. Так образом обеспечивается защита сооружений, объектов и зданий.

Установка активной молниезащиты на предприятиях нефтегазового комплекса не прописана в законодательных актах, но ее применение способствует повышению надежности защиты от молний фактически до ста процентов. Пассивный тип защиты от разрядов молнии способен гарантировать перекрытие лишь малого объема молниевых разрядов равного приблизительно 5%. Иначе говоря, существует необходимость в дополнении рассчитанной выше конструкции тросового молниеотвода активным молниеприемником (Рис. 10), к примеру, системой Forend.



Рисунок 10 – Штыревой элемент активной молниезащиты Forend

Сравнивая эффективность активной и пассивной молниезащиты можно отметить, что зона защиты активного молниеприемника в несколько раз превосходит зону защиты обычного штыревого молниеотвода. При активной молниезащите все объекты территории, антенны и архитектурные элементы крыш, находящиеся в зоне защиты активного молниеприемника, охвачены так

называемой эллипсообразной сферой в виде «капсулы» (Рис. 11). Пассивная молниезащита покрывает лишь пространство в окрестности молниеотвода ограниченной геометрии, в зону защиты которого входит только объект, размещенный в его объеме. Поэтому радиус защиты пассивной молниезащиты меньше примерно в 8 раз, если сравнивать с аналогичным показателем активной системы молниезащиты.

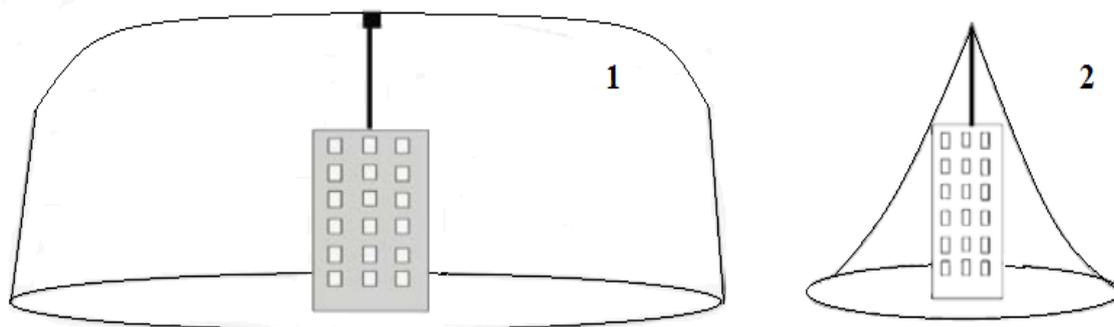


Рисунок 11 – Схема защиты активной (1) и пассивной (2) систем молниезащиты [22]

Радиус действия одного молниеотвода активной системы молниезащиты равен порядка 110 метров, а это значит, что система из четырех активных молниеотводов полностью перекроет территорию рассматриваемойгазокомпрессорной станции и позволит минимизировать риск возникновения чрезвычайной ситуации от разряда молнии до нуля. Кроме того, активная молниезащита не требует последующего обслуживания в процессе эксплуатации, имея срок службы свыше 25 лет.

Надежность и эффективность активной системы молниезащиты «Forend» подтверждены актами испытаний, которые проводились в Румынском национальном институте исследований и в лабораториях Германии, кроме того эти показатели одобрены Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору «Ростехнадзор».

В таблице 7 приведены радиусы защищаемой зоны в зависимости от высоты установки молниеотвода и надёжности защиты, где:

h — высота до вершины молниеотвода, м;

R_0 — радиус зоны защиты объекта на уровне земли, м;

Таблица 7 – Зависимость радиуса зоны защиты от высоты молниеотвода

h, м	Радиус защиты R ₀ , м		
	Уровень 1	Уровень 2	Уровень 3
2	14	20	26
3	17	25	32
4	20	28	37
6	25	35	45
8	28	40	52
10	32	45	58
15	38	55	71
20	45	63	82
30	55	78	100
40	63	89	115
60	77	109	141
80	89	126	163

Вероятность защиты спроектированной системы под уровнем 1 составляет $P=0,995$, под уровнем 2 – $P=0,98$, и под уровнем 3 – $P=0,95$. При расчете пассивной молниезащиты целесообразнее установка двух конструкции молниеотвода. Другими словами, в зависимости от требуемого обеспечения уровня защиты, можно выбирать необходимый вариант конструкции активного молниеприемника. К примеру, установка двух активных молниеотводов высотой по 58 метров на рассматриваемой территории компрессорной станции позволит создать щит для всего объекта с вероятностью защиты 98 % (рис. 12).

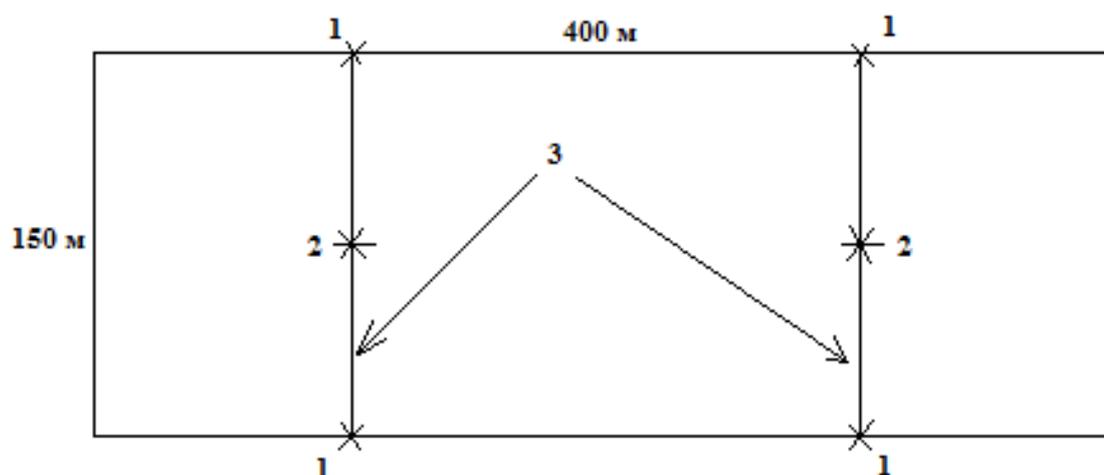


Рисунок 12 – Схема молниезащиты территории компрессорной станции

1 – опора пассивной молниезащиты; 2 – опора активного молниеотвода; 3 – трос пассивной молниезащиты

5.4. Разработка алгоритма расчета пожарных рисков газокompрессорной станции для ООО «Газпром»

Заключительный этап разработки алгоритма расчета пожарных рисков газокompрессорной станции для ООО «Газпром» заключается в составлении плана пошагового анализа рассматриваемого объекта (Рис. 13).

На первом этапе необходимо провести анализ основного оборудования, используемого на рассматриваемом объекте.

После чего моделируем ситуационную задачу (шаг 2), где отражаем ключевые моменты возникновения аварии.

На третьем этапе проводим анализ места возникновения расчетной аварийной ситуации. Иными словами, опираясь на имеющиеся данные, предполагаем наиболее вероятное место возникновения аварии на объекте.

После анализа сложившейся ситуации необходимо составить вариационную модель дерева событий, благодаря которой становится возможным определение иницирующих главное событие ситуаций, проследить предшествующие цепочки возникновения отказа устойчивого функционирования объекта.

Следующим этапом становится проведение необходимых расчетов пожарных рисков на наиболее уязвимом участке. Сравнение полученных расчетных данных и выявление из них наиболее вероятного возникновения среза «дерева событий». Проводим расчеты величин, характерных для возникновения крупномасштабного диффузионного пламени на наиболее уязвимом участке рассматриваемого объекта. Сравняем полученные в ходе расчетов данные со справочными величинами, определяем степени повреждения и возможного материального ущерба на объекте. Проводим зонирование территории рассматриваемого объекта по величинам интенсивности теплового излучения и величине избыточного давления.

Заключительный этап разработки алгоритма расчета пожарных рисков на газокompрессорной станции заключается в разработке практических

рекомендаций по обеспечению пожарной безопасности рассматриваемого объекта, согласно требованиям нормативно-правовых документов.

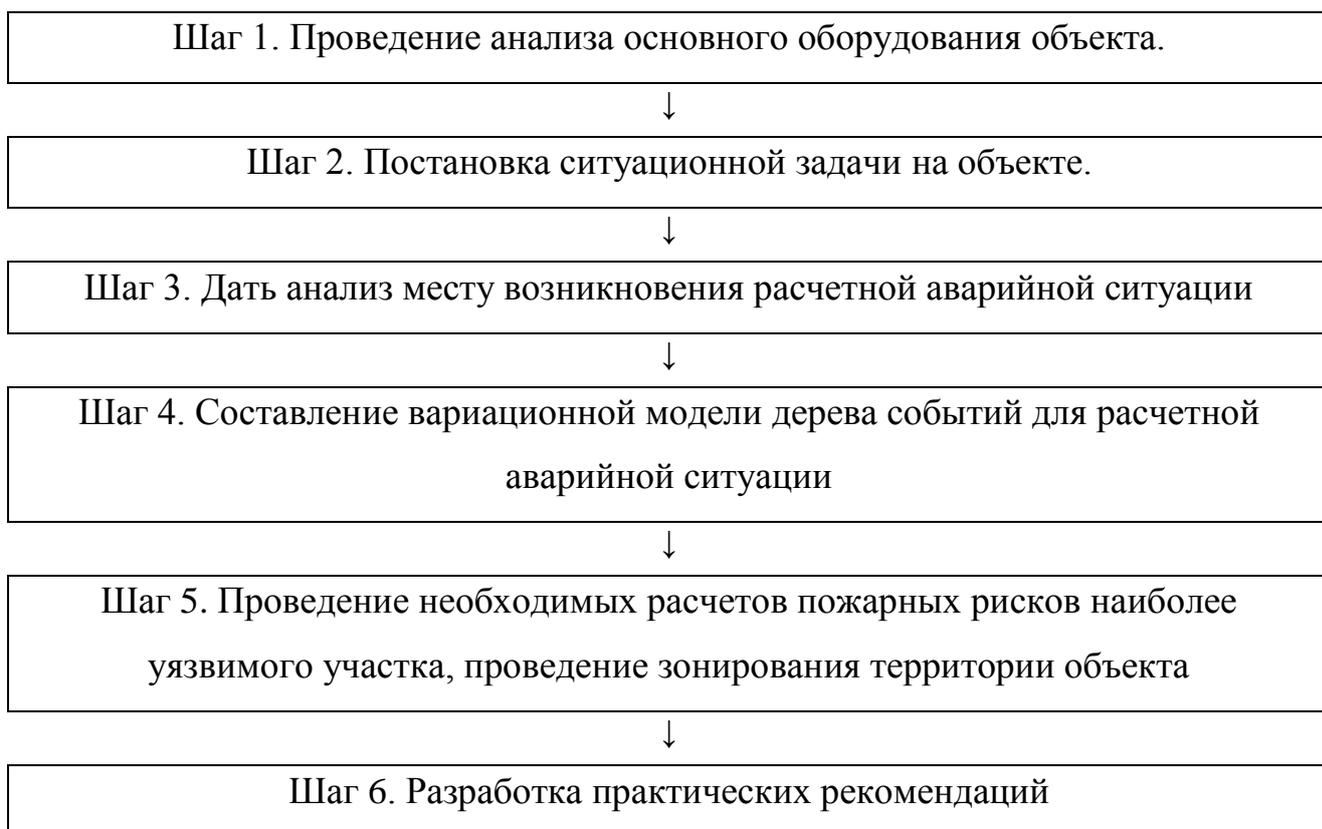


Рисунок 13 – Схема алгоритма расчета пожарных рисков

Данный алгоритм можно рекомендовать для проведения анализа объектов ООО «Газпром» на территории, как Томской области, так и России. Предложенный алгоритм унифицирован и применим к большинству объектов нефтегазовой промышленности; позволяет провести математические расчеты заданных аварийных ситуаций и провести превентивные меры непосредственно на самом объекте.

6. ОЦЕНКА КОММЕРЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА И ПЕРСПЕКТИВНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ С ПОЗИЦИИ РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТИ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ

6.1. Потенциальные потребители результатов исследования

Как известно, Российская Федерация является одним из мировых лидеров по объемам добычи нефти и газа. Проблема обеспечения безопасности при обеспечении пожарного риска в процессе эксплуатации газокomppressorных станций в нефтегазовой промышленности является весьма актуальной. Наличие данного факта требует дополнительных мер безопасности на производстве для обеспечения бесперебойного функционирования предприятия в целом.

Исследования, проводимые в данной выпускной работе, являются инициативными в рамках научно-исследовательской работы для предприятия ООО «Газпром трансгаз Томск». Таким образом, потенциальными потребителями результатов данного исследования являются предприятия нефтегазового комплекса, расположенные как на территории России, так и за ее рубежом.

Проведем сегментирование рынка услуг по определению [23] алгоритма расчетов пожарного риска для газокomppressorной станции нефтегазовой промышленности по следующим критериям: размер нефтегазовой компании – существующие способы расчета пожарного риска на объектах нефтегазопровода.

Таблица 8. Карта сегментирования рынка услуг по разработке алгоритма расчета пожарного риска для газокompрессорной станции.

		Способы расчета пожарного риска на объектах нефтегазопровода			
		Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей	Методические указания по проведению анализа риска для опасных производственных объектов газотранспортных предприятий ОАО «Газпром»	Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов	Алгоритм расчетов пожарного риска газокompрессорной станции
Размер компании	Крупные	+	+	+	+
	Средние	+	-	-	+
	Малые	-	-	-	+

«+» - удобство применения данного метода; «-» - нерациональность использования данного метода компанией.

Как видно из приведенной карты сегментирования (таблица 8), алгоритм расчетов пожарного риска газокompрессорной станции является наиболее универсальным для определения пожарных рисков для газокompрессорных станций и может использоваться компаниями всех размеров, а так же является наиболее простым в использовании.

6.2. Анализ конкурентных технических решений

Проведем данный анализ с помощью оценочной карты, приведенной ниже.

Таблица 9. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии	Вес критерия	Баллы				Конкурентоспособность			
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	Б _{к3}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}	К _{к3}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Технические критерии оценки ресурсоэффективности									
Удобство в эксплуатации	0,1	5	3	2	5	0,5	0,3	0,2	0,5
Потребность в дополнительных исследованиях	0,2	3	2	2	5	0,6	0,4	0,4	1
Универсальность метода	0,13	4	4	3	5	0,52	0,52	0,39	0,65
Специальное оборудование	0,05	5	4	3	5	0,25	0,2	0,15	0,25

Технические критерии оценки ресурсоэффективности									
Предоставляемые возможности	0,17	3	3	2	4	0,51	0,51	0,34	0,68
Экономические критерии оценки эффективности									
Суммарная стоимость оборудования	0,1	5	2	1	5	0,5	0,2	0,1	0,5
Конкурентоспособность	0,05	4	3	3	5	0,2	0,15	0,15	0,25
Цена	0,1	5	4	3	5	0,5	0,4	0,3	0,5
Уровень проникновения на рынок	0,05	5	5	5	5	0,25	0,25	0,25	0,25
Сотрудники узкого профиля для работы с методикой	0,05	4	2	2	5	0,2	0,1	0,1	0,25
Итого	1	40	32	26	49	3,58	3,43	2,38	4,83

Где сокращения: Б_ф- методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей; Б_{к1} – методические указания по проведению анализа риска для опасных производственных объектов газотранспортных предприятий ОАО «Газпром»; Б_{к2}- методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов; Б_{к3}- алгоритм расчетов пожарного риска газокompрессорной станции.

Анализ конкурентных технических решений определили по формуле:

$$K = \sum V_i \cdot B_i \quad (20)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

V_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Опираясь на полученные результаты, можно сделать вывод, что алгоритм расчетов пожарного риска газокompрессорной станции является наиболее эффективным и целесообразным способом для определения пожарных рисков на газокompрессорных станциях, входящих в состав магистральных трубопроводов. Уязвимость конкурентов объясняется наличием таких причин, как необходимость дополнительных исследований для получения достоверных результатов, использование дополнительного

оборудования, необходимость иметь в штате сотрудников, узких специалистов, для работ с данными методиками на предприятии и т.д.

6.3. SWOT-анализ

SWOT – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT - анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта [24].

Для того что бы найти сильные и слабые стороны алгоритма расчетов пожарного риска газокompрессорной станции методов-конкурентов проведем SWOT–анализ.

Таблица 10. Матрица SWOT-анализа

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Принципиально новая методика С2. Наличие опытного руководителя С3. Способность разрабатываемого метода быть применимым к мало изученным веществам и материалам. С4. Актуальность разработки. С5. Не требует уникального оборудования.	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Применение проекта только для нефтегазовой промышленности. Сл2. Возможность появления новых методов. Сл3. Не испытан в работе. Сл4. Медленный процесс вывода на рынок новой методики. Сл5. Многостадийность методики.
Возможности: В1. Возможность создания партнерских отношений с рядом исследовательских институтов. В2. Большой потенциал применения алгоритма расчетов пожарного риска газокompрессорной станции в России. В3. Возможность выхода на внешний рынок. В4. Рост потребности в обеспечении безопасности технолого-производственного процесса. В5. В случае принятия рынком выход на большие объемы	Актуальность разработки, опытный руководитель и принципиально новый подход к алгоритму расчета пожарных рисков дает возможность сотрудничать с рядом ведущих исследовательских институтов; Большой потенциал применения алгоритма, а так же возможность выхода на внешний рынок обуславливаются принципиально новым алгоритмом, способностью нового алгоритма к применению к мало изученным веществам и материалам, актуальностью	Возможность наличия партнерских отношений с исследовательскими институтами в испытании алгоритма в работе

	<p>разработки; Рост потребности в обеспечении безопасности технолого-производственного процесса возможен за счет принципиально нового алгоритма, не требующего использования специального оборудования; За счет новизны и принципиальных отличий возможен выход на большие объемы применения данного алгоритма.</p>	
<p>Угрозы: У1. Отсутствие спроса на алгоритм расчетов пожарного риска газокompрессорной станции на производстве. У2. Противодействие со стороны конкурентов: снижение цен, усовершенствование текущих методов. У3. Захват внутреннего рынка иностранными конкурентами. У4. Закрытие нефтегазоперерабатывающих комплексов на территории РФ. У5. Подробное изучение термодинамических характеристик используемых веществ и материалов.</p>	<p>Принципиально новый алгоритм и актуальность разработки не сказываются на спросе на методики расчета пожарного риска для газораспределительных станций и линейного трубопровода в целом; Противодействие со стороны конкурентов не повлияет на наличие опытного руководителя и потребность в уникальном оборудовании.</p>	<p>Медленный вывод алгоритма на рынок позволит переждать период спада спроса на методику расчета пожарного риска для газораспределительных станций и линейного трубопровода.</p>

Выявим соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Данные соответствие или несоответствие помогут выявить потребность в проведении стратегических изменений. Для этого построим интерактивные матрицы проекта.

Интерактивные матрицы проекта.

Таблица 11

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	+	+	-	+	-
	B2	+	-	+	+	0
	B3	+	0	+	+	0
	B4	+	-	0	+	-
	B5	+	0	0	0	0

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие сильных сторон и возможности: B1C1C2C4, B2B3C1C3C4, B4C1C4, B5C1.

Таблица 12

Слабые стороны проекта						
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	B1	0	0	+	0	0
	B2	-	-	0	0	0
	B3	0	-	-	-	0
	B4	0	0	0	-	0
	B5	-	-	-	0	0

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие слабых сторон и возможности: B1Сл3.

Таблица 13

Сильные стороны проекта						
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	+	-	0	+	0
	У2	-	-	+	0	+
	У3	-	0	0	0	0
	У4	-	0	-	-	-
	У5	0	-	-	0	0

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие сильных сторон и угроз: У1C1C4, У2C3C5.

Таблица 14

Слабые стороны проекта						
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	У1	0	0	0	+	0
	У2	0	0	0	0	-
	У3	-	0	0	0	0
	У4	-	0	-	-	-
	У5	0	-	0	0	0

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие слабых сторон и угроз: У1Сл4.

6.4 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

Идея работы заключается в разработке алгоритма расчетов пожарного риска газокompрессорной станции. Выше было обосновано, что данный способ является наиболее эффективным и позволяющим работать даже с малоизученными веществами и материалами, используемыми в нефтегазовой отрасли, а так же позволяет учитывать факторы внешней среды. Поэтому используем морфологический подход именно к этой методологии [25].

Таблица 15. Морфологическая матрица для алгоритма расчетов пожарного риска газокompрессорной станции

	1	2	3	4
А. Визуализация результатов	График	Формулы	Числовая информация	Текстовая информация
Б. Длительность расчета, мин	10	30	50	>60
В. Использовано косвенных признаков для определения горения, шт.	1	2	3	>3
Г. Интерфейс	Русский	Английский	Французский	Англо-русский
Д. Модель математического моделирования	структурная	функциональная	комбинированная	
Е. Ввод исходных данных	Ручной способ	Из базы данных	Автономно	В виде технологических цепочек

Предложим три варианта решения технической задачи:

1) А4Б1В1Г1Д3Е1 – в первом случае алгоритм позволяет представлять информацию в текстовой форме, расчет данных происходит в короткий срок, конечные данные можно получить даже при наличии одного косвенного признака определения горения, удобство работы для русскоговорящих пользователей, используется комбинированная модель математического моделирования, данные вводятся вручную.

2) А3Б2В2,3Г1Д1Е1 – во втором случае алгоритм позволяет представить конечный результат в виде чисел, расчет данных требует больших временных

затрат, для определения признаков горения требуется 2 или 3 косвенных признака, рабочий язык программы – русский, использована структурная математическая модель, предусмотрен ручной ввод исходных данных.

3) А1Б2,3,4В4Г4Д3Е2,3,4 – в третьем случае визуализация данных происходит за счет ее представления в графической форме, требуется больше времени на просчет программы по сравнению с первым случаем, алгоритм определения требует наличия больше чем трех косвенных признаков горения, интерфейс программы позволяет работать с методикой, как на русском, так и на английском языке, математическая модель комбинированная, ввод исходной информации возможен при помощи перенесения ее из баз данных, автономно, в виде технологических цепочек.

6.5 Планирование научно-исследовательских работ

6.5.1. Структура работ в рамках научного исследования

Таблица 16. Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№Раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение темы проекта	Научный руководитель
	2	Выдача задания по тематике проекта	Научный руководитель
Выбор направления исследований	3	Постановка задачи	Научный руководитель
	4	Определение стадий, этапов и сроков разработки проекта	Научный руководитель, студент
	5	Подбор литературы по тематике работы	Студент
	6	Сбор материалов и анализ существующих разработок	Студент
Теоретические исследования	7	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Студент
	8	Анализ конкурентных методик	Студент
	9	Выбор наиболее подходящей и перспективной методики	Студент
	10	Согласование полученных данных с научным руководителем	Студент, научный руководитель
Обобщение и оценка результатов	11	Оценка эффективности полученных результатов	Студент
	12	Работа над выводами по проекту	Студент
Оформление отчета по НИР	13	Составление пояснительной записки к работе	Студент

6.6 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

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

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5}, \quad (21)$$

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

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

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_{pi} , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{ч_i}, \quad (22)$$

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

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

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

6.7 Разработка графика проведения научного исследования.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой [26]:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал}, \quad (23)$$

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

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

$k_{кал}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}}, \quad (24)$$

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

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

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

Согласно данным производственного и налогового календаря на 2016 год, количество календарных дней составляет 366 дней, количество рабочих дней составляет 247 дней, количество выходных – 105 дней, а количество предпраздничных дней – 14, таким образом:

$$k_{кал} = \frac{366}{366 - 105 - 14} = 1,48,$$

$k_{кал} = 1,48$.

Все полученные значения заносим в таблицу (табл. 17).

После заполнения таблицы 10 строим календарный план-график (табл.18). График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования. При этом работы на графике выделяем различной штриховкой в зависимости от исполнителей.

Таблица 17. Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работ									Исполнители			Длительность работ в рабочих днях T_{pi}			Длительность работ в календарных днях T_{ki}		
	t_{\min} , чел-дни			t_{\max} , чел-дни			$t_{ож}$, чел-дни											
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Составление и утверждение темы проекта	2	2	2	5	5	5	3,2	3,2	3,2	Руководитель			3	3	3	5	5	5
Выдача задания по тематике проекта	1	1	1	2	2	2	1,8	1,8	1,8	Рук.–студент			2	2	2	3	3	3
Постановка задачи	1	1	1	2	2	2	1,8	1,8	1,8	Студент			2	2	2	3	3	3
Определение стадий, этапов и сроков разработки проекта	3	1	2	5	2	4	3,8	1,8	2,8	Рук. – студ.			2	1	1,5	3	1	2
Подбор литературы по тематике работы	7	6	7	10	8	10	8,2	6,8	8,2	Студент			8	7	8	12	10	12
Сбор материалов и анализ существующих методик	14	14	14	17	17	17	15,2	15,2	15,2	Студент			15	15	15	23	23	23
Проведение теоретических расчетов и обоснований	7	7	7	9	9	9	7,8	7,8	7,8	Студент			8	8	8	12	12	12
Анализ конкурентных методик	5	5	5	7	7	7	5,8	5,8	5,8	Студент			6	6	6	9	9	9
Выбор наиболее подходящей и перспективной методики	3	2	3	5	4	3	3,4	2,4	3,4	Рук. – студ.			3	1	3	4	2	4
Согласование полученных данных с научным руководителем	2	1	2	5	3	4	3,2	1,8	2,8	Рук. – студ.			1,5	1	1,5	2	1	2
Оценка эффективности полученных результатов	2	2	2	3	3	3	2,4	2,4	2,4	Студент			2,5	2,5	2,5	4	4	4
Работа над выводами по проекту	1	1	1	2	2	2	1,4	1,4	1,4	Студент			2	2	2	3	3	3
Составление пояснительной записки к работе	4	4	4	6	6	6	4,8	4,8	4,8	Студент			5	5	5	7	7	7

Таблица 18. Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№ Работ	Вид работ	Исполнители	T _{кп} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ										
				март			апрель			май				
				1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	Составление и утверждение темы проекта	Руководитель	5											
2	Выдача задания по тематике проекта	Студент	3											
3	Постановка задачи	Студент	3											
4	Определение стадий, этапов и сроков разработки проекта	Руководитель, Студент	3		 									
5	Подбор литературы по тематике работы	Студент	12											
6	Сбор материалов и анализ существующих методик	Студент	23											
7	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Студент	12											
8	Анализ конкурентных методик	Студент	9											
9	Выбор наиболее подходящей и перспективной методики	Руководитель, Студент	4								 			
10	Согласование полученных данных с научным руководителем	Руководитель, Студент	2								 			
11	Оценка эффективности полученных результатов	Студент	4											
12	Работа над выводами	Студент	3											
13	Составление пояснительной записки к работе	Студент	7											

 – студент;  – научный руководитель.

6.8. Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ необходимо обеспечить полное и верное отражение различных видов расходов, связанных с его выполнением.

6.8.1. Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхи}, \quad (25)$$

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

$N_{расхи}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Транспортные расходы принимаются в пределах 15-25% от стоимости материалов.

Данные по расходным материалам, приведенные в таблице 19, взяты по прейскуранту цен сети магазинов «Книжный мир» г. Томск за май 2016 года.

Таблица 19. Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество			Цена за ед., руб.			Затраты на материалы,		
		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
Бумага	лист	150	100	130	2	2	2	345	230	169
Картридж	шт.	1	1	1	1000	1000	1000	1150	1150	1150
Интернет	М/бит (пакет)	1	1	1	350	350	350	402,5	402,5	402,5
Ручка	шт.	1	1	1	20	20	20	23	23	23
Дополнительная литература	шт.	2	1	1	400	350	330	920	402,5	379,5
Тетрадь	шт.	1	2	1	10	10	10	11,5	11,5	11,5
Электроэнергия	кВт/час	34	39	41	2,93	2,93	2,93	114,6	131,4	138,15
Итого								2966,6	2350,9	2273,6

6.8.2. Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

Согласно исследованию, приведенному в данной работе, затраты по статье «специальное оборудование для научных работ» не предусматриваются.

6.8.3. Основная и дополнительная заработная плата исполнителей темы

В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада [27]. Расчет основной заработной платы сводится в табл. 20.

Таблица 20. Расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудоемкость, чел.-дн.			Зароботная плата, приходящаяся на один чел.-дн., тыс. руб.			Всего зароботная плата по тарифу (окладам), тыс. руб.		
			Исп 1	Исп 2	Исп 3	Исп 1	Исп 2	Исп 3	Исп 1	Исп 2	Исп 3
1.	Составление и утверждение темы проекта	Рук-ль	2	2	2	3,6	3,6	3,6	7,2	7,2	7,2
2.	Выдача задания по тематике проекта	Рук-ль, студент	1	1	1	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4
3.	Постановка задачи	Студент	1	2	1,5	0,8	0,8	0,8	0,8	1,6	1,2
4.	Определение стадий, этапов и сроков разработки проекта	Рук-ль, студент	2	1	1,5	4,4	4,4	4,4	8,8	4,4	6,6
5.	Подбор литературы по тематике работы	Студент	7	9	8	0,8	0,8	0,8	5,6	7,2	6,4
6.	Сбор материалов и анализ существующих методик	Студент	14	15	15	0,8	0,8	0,8	11,2	12	12
7.	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Студент	8	8	8	0,8	0,8	0,8	6,4	6,4	6,4
8.	Анализ конкурентных методик	Студент	5	6	5	0,8	0,8	0,8	4	4,8	4
9.	Выбор наиболее подходящей и перспективной методики	Рук-ль, Студент	3	1,5	3	4,4	4,4	4,4	13,2	5,9	13,2
10.	Согласование полученных данных с научным руководителем	Рук-ль, Студент	2	1	1,5	4,4	4,4	4,4	8,8	4,4	6,6
11.	Оценка эффективности полученных результатов	Студент	2	2,5	3	0,8	0,8	0,8	1,6	2	2,4
12.	Работа над выводами по проекту	Студент	2	2	2	0,8	0,8	0,8	1,6	1,6	1,6
13.	Составление пояснительной записки к работе	Студент	6	5	6	0,8	0,8	0,8	4,8	4	4,8
Итого:									66	65,9	76,8

Проведем расчет заработной платы относительно того времени, в течение которого работал руководитель и студент. Принимая во внимание, что за час работы руководитель получает 450 рублей, а студент 100 рублей (рабочий день 8 часов).

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (26)$$

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

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата (12-20 % от $Z_{осн}$).

Максимальная основная заработная плата руководителя (доктора наук) равна примерно 32400 рублей, а студента 444000 рублей.

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}, \quad (27)$$

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

Таким образом, заработная плата руководителя равна 37260 рублей, студента – 51060 рублей.

6.8.4. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}), \quad (28)$$

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

На 2016 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2016 году водится пониженная ставка – 27,1%.

Таблица 21. Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб			Дополнительная заработная плата, руб		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Руководитель проекта	36000	23400	32400	5400	3510	4860
Студент-дипломник	42400	43200	44400	6360	6480	6660
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271					
Итого						
Исполнение 1	24433,4 руб.					
Исполнение 2	20755,9 руб.					
Исполнение 3	23934,7 руб.					

6.8.5. Накладные расходы

Величина накладных расходов определяется по формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\sum \text{статей}) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (29)$$

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

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%. Таким образом, наибольшие накладные расходы равны:

при первом исполнении $Z_{\text{накл}} = 103300 \cdot 0,16 = 16528$ руб.

при втором исполнении $Z_{\text{накл}} = 98891,8 \cdot 0,16 = 15822,7$ руб.

при третьем исполнении $Z_{\text{накл}} = 114537,3 \cdot 0,16 = 18326$ руб.

6.8.6. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Таблица 22. Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	
1. Материальные затраты НТИ	2966,6	2350,9	2273,6	Пункт 3.4.1
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	-	-	-	Пункт 3.4.2
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	66000	65900	76800	Пункт 3.4.3
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей	9900	9885	11520	Пункт 3.4.4
5. Отчисления во внебюджетные фонды	24433,4	20755,9	23943,7	Пункт 3.4.5
6. Накладные расходы	16528	15822,7	18326	16 % от суммы ст.1-5
7. Бюджет затрат НТИ	119828	114714,5	132863,3	Сумма ст. 1- 6

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

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{ri}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (30)$$

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

Φ_{ri} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп1}} = \frac{119828}{132863,3} = 0,9; \quad I_{\text{финр}}^{\text{исп2}} = \frac{114714,5}{132863,3} = 0,86; \quad I_{\text{финр}}^{\text{исп3}} = \frac{132863,3}{132863,3} = 1.$$

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

$$I_{pi} = \sum a^i \cdot b^i, \quad (31)$$

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

a^i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

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

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы (табл. 23).

Таблица 23. Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
Визуализация результатов	0,2	5	3	3
Использование косвенных признаков для определения горения	0,3	5	3	4
Интерфейс	0,05	4	5	3
Модель математического моделирования	0,15	4	4	2
Ввод исходных данных	0,1	5	4	3
Визуализация результатов	0,2	5	4	3
Итого	1	4,8	3,55	3,15

$$I_{p-ucn1} = 5 \times 0,2 + 5 \times 0,3 + 4 \times 0,05 + 4 \times 0,15 + 5 \times 0,1 + 5 \times 0,2 = 4,8$$

$$I_{p-ucn2} = 3 \times 0,2 + 3 \times 0,3 + 5 \times 0,05 + 4 \times 0,15 + 4 \times 0,1 + 4 \times 0,2 = 3,55$$

$$I_{p-ucn2} = 3 \times 0,2 + 4 \times 0,3 + 3 \times 0,05 + 2 \times 0,15 + 3 \times 0,1 + 3 \times 0,2 = 3,15$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{исп.i}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.i} = \frac{I_{р-исп.i}}{I_{финр}}, \quad (32)$$

$$I_{исп1} = \frac{4,8}{0,9} = 5,3; \quad I_{исп2} = \frac{3,55}{0,86} = 4,13; \quad I_{исп3} = \frac{3,15}{1} = 3,15.$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (табл.24) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{ср}$):

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{исп.i}}{I_{исп.max}} \quad (33)$$

Таблица 24. Сравнительная эффективность разработки

№п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,9	0,86	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,8	3,55	3,15
3	Интегральный показатель эффективности	5,3	4,13	3,15
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,78	0,6

Сравнив значения интегральных показателей эффективности можно сделать вывод, что реализация алгоритма в первом исполнении является более эффективным вариантом решения задачи, поставленной в данной работе с позиции финансовой и ресурсной эффективности, далее по экономическому приоритету следует исполнение 2, исполнение 3.

7. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Производственная и экологическая безопасность при разработке алгоритма расчета пожарных рисков газокompрессорной станции.

Магистральные газопроводы своими сетями опоясывают континенты на тысячи километров. Они проектируются, испытываются и строятся в соответствии с жесткими строительными нормами, стандартами и правилами. Для того, чтобы обеспечить надежность и безопасность поставки транспортируемого газа, очень важно сохранять в процессе эксплуатации требуемые показатели и характеристики.

Существует необходимость в проведении специальной технической программы по диагностике, реконструкции и ремонту объектов транспортного газа. Именно поэтому данная исследовательская работа является актуальной, ведь разработка алгоритма расчета пожарных рисков для любого объекта нефтегазового производства является частью концепции противопожарной защиты объектов ООО «Газпром».

В данном разделе проведен анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследования. Представлен графический материал в виде плана эвакуации из кабинета службы промышленной и пожарной безопасности, а также схема размещения светильников этого помещения. Кроме того будет произведен расчет искусственного освещения так как при недостаточной освещенности ухудшается производительность труда, устают глаза и повышается риск травматизма.

В работе рассматривается кабинет службы промышленной и пожарной безопасности, находящийся на третьем этаже ООО «Газпром трансгаз Томск» по адресу проспект Фрунзе, 9. В данном кабинете расположено семь ПК с ЖК мониторами; габариты помещения: 6х5х3м. Стены покрашены матовой краской светло-бежевых тонов, потолки отделаны потолочной плиткой светло-серого

цвета. Имеются два оконных проема размером 1,4x1,5 м; общая площадь оконных проемов равна 4,2 м².

7.1 Производственная безопасность объекта

7.1.1. Анализ опасных и вредных производственных факторов

Работа на персональном компьютере включает в себя воспроизведение зрительной информации на мониторе и восприятие ее пользователем. Создание благоприятных и безопасных условий труда является ключевым моментом, оказывающим влияние на продуктивность деятельности людей, работающих на персональном компьютере.

В соответствии с ГОСТом 12.0.003-74 «ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» при работе на ПК имеют место такие опасные и вредные факторы, как повышение или понижение подвижности воздуха; повышение или понижение влажности воздуха; повышение или понижение уровня положительных и отрицательных аэроионов; замыкание; повышение уровня статического электричества; повышение уровня электромагнитного излучения; повышение напряженности электрического поля; нехватка естественного освещения; недостаток искусственной освещенности рабочей зоны; повышение яркости света; повышение контрастности; появление зрительного напряжения; нервно-эмоциональные перегрузки; однообразность в трудовом процессе; появление прямой и отраженной блескости.

Требования труда человека, который работает с ПК, обуславливаются:

свойствами основных компонентов рабочего места (пространственными параметрами рабочей области и ее компонентов, соответствующих физиологическим данным работников; расстановкой предметов рабочей области относительно работающих, учитывая вид их деятельности);

параметрами окружающей среды (освещением рабочего места, микроклиматом, шумом, специфическими факторами, которые обусловлены особенностями систем воспроизведения информации и т.д.);

параметрами согласованной работы человека и персонального компьютера.

Характерной чертой при работе на ПК является сильное и непрерывное напряжение функции зрительного аппарата, которое обусловлено необходимостью в распознавании различных объектов в таких условиях, как мелькание изображений, недостаточная освещенность поля экрана, строчная структура экрана, недостаточная контрастность объектов различения и необходимость в регулярной переадаптации зрительного анализатора к разным уровням освещенности монитора, клавиатуры.

Такие факторы, как недостаток времени, объемность и плотность информации, особенность работы оператора и ПК (ошибки в программе, ожидание), ответственность за качество информации, ведут к нервно-эмоциональному напряжению.

Скорость работы на компьютере при вводе каких-либо данных зависит от объема и характера задания и времени его выполнения. В процессе операции по вводу информации число мелких движений пальцев и кистей рук за рабочую смену может превышать 60-70 тысяч, что согласно гигиенической классификации труда принадлежит к группе вредных и опасных.

Существует ряд причин, которые ухудшают здоровье пользователей, например электромагнитные и электростатические поля, шум, отклонения в ионном составе воздуха и нормах микроклимата в рабочей зоне. На самочувствие работающего влияют и эргономические нормы по расположению монитора, ведущие к разной степени контрастности изображения в условиях интенсивной засветки, появлению бликов от фронтальной поверхности экрана и т.п. Важное место имеет и освещенность рабочего места, размеры мебели и помещения, где располагается компьютерное оборудование.

7.1.2. Основные параметры офисного помещения

Помещение должно быть обеспечено естественным и искусственным освещением. Использование персональных компьютеров в помещении, где отсутствует естественное освещение, разрешается только при соответствующих обоснованиях и наличии положительных санитарно-эпидемиологических заключений, выданных в установленном порядке.

Искусственное освещение в помещении для работы с ПК осуществляется приемом равномерного освещения. Люминесцентные лампы с рассеивателем и экранирующей решеткой отлично подходят в качестве искусственного источника света. Использование светильника без рассеивателя и экранирующей решетки запрещается. Светильники точечного освещения могут оснащаться лампами накаливания и галогенными. Для того чтобы освещенность в помещении с ПК соответствовала норме, необходимо производить очистку стекол, оконных рам и источников света чаще двух раз в год и не забывать менять перегоревшие лампы.

Необходимо оборудовать оконные проемы занавесками, внешними козырьками, жалюзи и т.д.

Если на рабочем месте стоит ПК на базе жидкокристаллического или плазменного экрана, то площадь рабочей зоны должна равняться не менее 4,5 м².

Аудитории, имеющие рабочие места с персональными компьютерами, оборудуются защитным заземлением. Кроме того, в них обязательно проводится регулярная влажная уборка и производится проветривание попошествию каждого часа работы на ЭВМ.

При отделке интерьера аудиторий используются материалы пастельных цветов, имеющих матовую фактуру. Пол покрывается гладкими, нескользящими материалами, которые обладают антистатическими характеристиками.

В данном помещении выполняются все указанные выше требования.

7.1.3. Оценка опасности и напряженности труда

Организация трудового процесса на ПК реализуется исходя из вида и разряда трудовой деятельности.

Таблица 25 – Время регламентированных перерывов

Категория работы с ПК	Уровень нагрузки за рабочую смену при видах работы с ПК			Суммарное время регламентированных перерывов, мин.	
	Группа А, кол-во знаков	Группа Б, кол-во знаков	Группа В, час.	При 8-часовой смене	При 12-часовой смене
I	До 20000	До 15000	До 2	50	80
II	До 40000	До 30000	До 4	70	110
III	До 60000	До 40000	До 6	90	140

Типы трудовой деятельности можно разделить на три группы:

группа А – работа, связанная с считыванием информации с экрана с предшествующим запросом;

группа Б – работа, связанная с вводом данных;

группа В – творческая работа, осуществляемая в режиме диалога с ПК.

Основной работой на ПК принято считать работу, занимающую не менее 50% времени затраченного в рабочую смену или рабочий день.

7.1.4. Режим труда и отдыха

При достижении эффективной работоспособности и сохранении здоровья в течение рабочего дня устанавливаются регламентированные перерывы.

Общее время перерывов определяется из расчета определенной категории трудового процесса и уровня нагрузки за рабочий день при работе с ПК.

Длительность обеденного перерыва устанавливает действующее трудовое законодательство и Правила трудового распорядка.

Длительность работы на персональном компьютере без перерыва должна быть не более 1 часа.

В работе, требующей непрерывного контакта с ПК, напряженности внимания при отсутствии возможности перехода на какие-либо другие виды деятельности, где не требуется взаимодействие с ПК, необходимо организовывать перерывы на 10-15 минут каждые 40-50 минут работы.

В качестве снижения утомления зрительного аппарата и минимизации нервно-эмоционального напряжения рекомендуется выполнять комплекс упражнений.

7.1.5. Электромагнитное излучение

Студент, при выполнении ВКР находится в зоне ЭМИ, ведь компьютеры являются основными источниками электромагнитных полей.

Существуют допустимые нормы ЭМП, которые указаны в таблице 26. Они устанавливаются СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03.

Уровень ЭПМ измеряется приборами. В данной аудитории не выявлено нарушений каких-либо параметров, указанных в СанПиН.

Таблица 26 – Допустимые нормы ЭМП

Наименование параметров		ВДУ ЭМП
Напряженность электрического поля	в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	25 В/м
	в диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	250 нТл
	в диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц	25 нТл
Напряженность электростатического поля		15 кВ/м
Электростатический потенциал экрана видеомонитора		500 В

7.1.6. Микроклимат на рабочем месте

Составляющие микроклимата можно считать благоприятными, если они, длительно воздействуя на организм человека, обеспечивают нормальную работу всех его систем и теплового состояния, создавая предпосылки для теплового комфорта и продуктивной работоспособности.

Оптимальные и допустимые значения параметров микроклимата устанавливаются в соответствии с ГОСТ 12.1.005-88, исходя из категории тяжести выполняемой работы, величины избытков явного тепла и периода года.

На условия работы в помещении влияют такие параметры как температура, относительная влажность, скорость движения воздуха. Нормы параметров микроклимата для помещения без избытка выделения тепла для работ второй категории тяжести приведены в таблице 27 согласно [28].

Таблица 27 – Характеристика помещения

Наименование параметров и единицы измерения	В холодное время	В теплое время
Температура, °C	20...22	22...25
Относительная влажность, %	30...60	30...60
Скорость движения воздуха, м/с	Не более 0.2	Не более 0.5

В нашем помещении температура: зимой $t=20...22$ °C; летом – $t=22...25$ °C. Влажность 55%, скорость движения воздуха – 0.2 м/с. Эти данные соответствуют нормам.

7.1.7. Расчет освещения

Немаловажную роль имеет освещенность рабочего места, т.к. при недостаточной освещенности ухудшается производительность труда. Так же плохое освещение отрицательно влияет на глаза человека и приводит к травматизму.

Произведем расчет искусственного освещения.

В отделе промышленной и пожарной безопасности ООО «Газпром трансгаз Томск» комбинированное естественное освещение верхнего типа, которое передается через люминесцентные лампы.

Освещение должно быть общим и равномерным, так как выполнялись проектные работы, освещенность в рабочей зоне (по СНИП 23-05-95) должна быть более 400 лк при расстоянии 80см от пола. При этом условии местное освещение не требуется.

Рассчитаем искусственное освещение методом коэффициента использования светового потока [29, 30]:

$$\Phi = \frac{E \cdot K \cdot S \cdot Z}{N \cdot \eta} \quad (34)$$

где Φ - световой поток каждой из ламп (лм);

E - номинальная освещенность (лк);

K - коэффициент запаса (табл. 6) [31, 32];

N - количество ламп в помещении;

Z - коэффициент неравномерности освещения. В нашем случае $Z=1.1$ (для люминесцентных ламп);

S - площадь помещения;

η - отношение потока, падающего на расчетную поверхность к суммарному потоку всех ламп (определяется из таблицы).

Для определения η необходимо знать индекс помещения i , значения коэффициентов отражения стен r_c (краска бежевая), потолка r_p (плитка подвесного потолка светло-серая):

$$r_c=50\%; \quad r_p=70\%$$

$$i = \frac{S}{h(A+B)} \quad (35)$$

где A - длина помещения, $A=6$ м;

B - ширина помещения, $B=5$ м;

S - площадь помещения, $S=30$ м²;

$h=H-h_{ce}-h_{pn}$ - высота подвеса ламп; H – высота помещения; h_{pn} – высота рабочей поверхности; h_{ce} – высота свеса ламп; $h=(3-0,1-0,8)=2,1$ м.

$$i = \frac{30}{2,1 \cdot (6 + 5)} = 1,3$$

Сделаем выбор:

а) систем и способов освещения:

Система общего освещения, тип светильников – накладной зеркальный растровый ЛПО. Параметры светильника: $L_c=620$ мм - длина светильника, 620 мм - ширина светильника, 85 мм - высота светильника, КПД=75 %. Светильники будем располагать в два ряда.

б) источников света.

Выбираем наилучшее расстояние между светильниками $\lambda = 1,4$ из таблицы 4 [31,32].

$L/h=1,4$, где h – высота подвеса светильника над рабочей поверхностью; $H=3$ м; $h = 2,1$ м.

$$L=2,1 \times 1,4=2,94 \text{ м.}$$

$$L/2,1 = 1,4 \text{ м.}$$

Светильники будем располагать в два ряда (Рис. 14).

Возьмем число светильников равное $N = 8$.

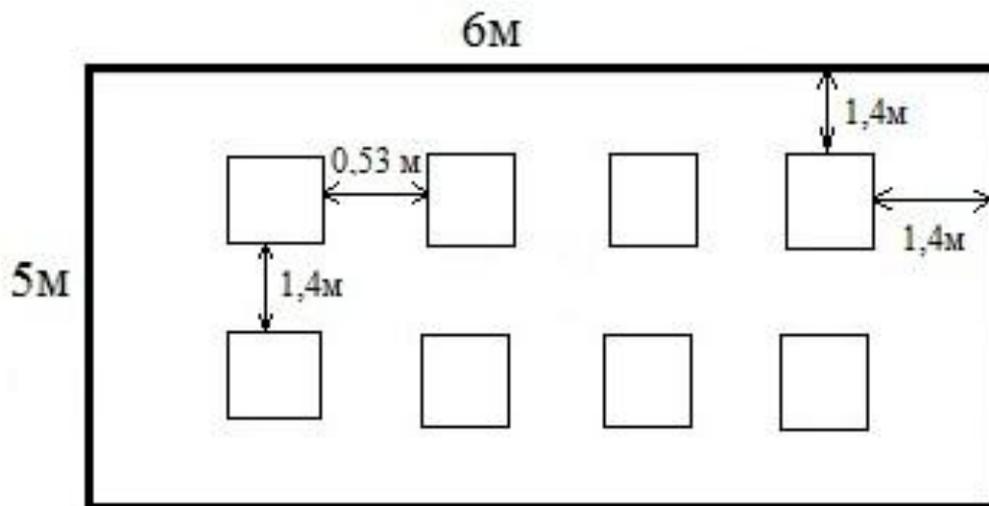


Рисунок 14 – Схема расположения светильников

По рассчитанному i выберем согласно таблице, приведенной в [31,32], $\eta = 55\%$. Величина номинальной освещенности $E = 400$ лк, а количество ламп 32, тогда световой поток в помещении будет:

$$\Phi = \frac{400 \cdot 1,5 \cdot 30 \cdot 1,1}{32 \cdot 0,55} = 1125 \text{ лм}$$

По таблице[31,32] подбираем близкую по характеристике лампу ЛБ мощностью 20 Вт и световым потоком 1200лм.

Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{л.станд.}} - \Phi_{\text{л.расч.}}}{\Phi_{\text{л.станд.}}} \cdot 100\% \leq +20\% \quad (36)$$

Получаем

$$-10\% \leq \frac{1200 - 1125}{1200} \cdot 100\% \leq +20\%$$

$$-10\% \leq 6,25 \leq +20\%$$

Определяем электрическую мощность осветительной установки:

$$P = 32 \cdot 20 = 640 \text{ Вт}$$

7.1.8. Производственный шум

Одним из наиболее распространенных факторов производства является шум. Он создается работающим оборудованием, преобразователями напряжения, работающими осветительными приборами дневного света, а также проникает извне. Кроме того, шум считается одним из самых распространенных факторов внешней среды, которые неблагоприятно воздействуют на организм человека. Его действия различны и могут затруднять разборчивость речи, вызывать снижение работоспособности, повышать утомляемость, ухудшать как органы слуха, так и всю систему организма человека посредством воздействия на центральную нервную систему.

Люди, работающие при постоянных шумовых эффектах, жалуются на головную боль, быструю утомляемость, бессонницу и сонливость, ослабляется внимание, ухудшается память.

Нормативным документом, регламентирующим уровни шума для различных рабочих мест, является ГОСТ 12.1.003-80.

Шум на рабочих местах создается внутренними источниками – вентиляторы в ЭВМ, и внешними источниками – шум с улицы.

Согласно паспорта ЭВМ уровень ее шумов не превышает 42 дБ, а нормы для творческой работы с использованием ЭВМ – 50 дБ. Поэтому никаких мер защиты от шума в нашем помещении не требуется и не предусмотрено.

7.1.9. Электробезопасность

В процессе использования электроприборов и электрооборудования может возникнуть опасность удара электрическим током. По опасности возникновения удара электрическим током лаборатория относится к помещениям без повышенной опасности. Чтобы исключить опасность поражения необходимо соблюдать следующие правила электробезопасности:

- перед включением прибора в сеть должна быть визуально проверена его электропроводка на отсутствие возможных видимых нарушений изоляции, а также на отсутствие замыкания токопроводящих частей на корпус;

- при появлении признаков замыкания необходимо немедленно отключить от электрической сети устройство и устранить неисправность;

- запрещается при включенном устройстве одновременно прикасаться к приборам, имеющим естественное заземление (например, радиаторы отопления, водопроводные краны и др.)

- запрещается эксплуатация оборудования в помещениях с повышенной опасностью;

- запрещается включать и выключать устройство при помощи штепсельной вилки. Штепсельную вилку включать и выключать из розетки можно только при выключенном устройстве [33].

Существуют следующие способы защиты от удара электрическим током в электроустановках:

- организация защитного заземления;

- зануление;

- применение устройств защитного отключения (УЗО);

- предохранительные устройства;

Самый распространенный способ защиты от поражения током при эксплуатации измерительных приборов и устройств - защитное заземление,

которое предназначено для превращения «замыкания электричества на корпус» в «замыкание тока на землю» для уменьшения напряжения прикосновения и напряжения шага до безопасных величин (выравнивание потенциала) [34].

7.2 Экологическая безопасность

При использовании персональных компьютеров требуют решения такие важные вопросы, как переработка отходов (платы, микросхемы с содержанием цветных металлов). При переработке устаревших компьютеров происходит их разборка на шесть составляющих компонентов: металлы, пластмассы, штекеры, провода, батареи, стекло. Для повторной эксплуатации нельзя использовать ни одну из отработанных деталей, так как нет гарантии ее надежности, но в форме вторичного сырья они используются при изготовлении новых компьютеров или каких-либо других устройств. Так же компоненты ПК содержат драгоценные металлы, которые извлекаются при вторичной переработке. Переработку компонентов с целью утилизации драг металлов регламентирует «Методика проведения работ по комплексной утилизации вторичных драгоценных металлов из отработанных средств вычислительной техники».

Люминесцентные лампы, содержат ртуть и поэтому должны утилизироваться на специальных полигонах токсичных отходов.

При эксплуатации ЭВМ расходуются такие ресурсы, как электроэнергия (обеспечение питания компьютера), бумага, используемая для принтера при выводе информации, картриджи. Для того, чтобы добиться наиболее рациональных затрат электроэнергии не следует оставлять включенным персональный компьютер и оргтехнику, когда они не эксплуатируются в настоящее время, печать осуществлять с двух сторон, при этом затраты на бумагу вряд ли удастся сократить хотя бы вдвое, но экономия будет ощутимой. Проблему с утилизацией бумаги может решить вторичная переработка отходов.

7.3 Пожарная безопасность.

Пожаром называется неконтролируемое горение вне специально отведенного очага, приносящее материальный ущерб. В соответствии с положениями ГОСТа 12.1.033-81 термин пожарная безопасность обозначает

такое состояние объекта, при котором с определенной вероятностью исключается вероятность возникновения и развития бесконтрольного пламени и воздействия на людей опасных критериев пожара, и обеспечение сохранности материальных ценностей.

Пожарная безопасность объектов народного хозяйства, в том числе электрических установок, регламентируется ГОСТ 12.1.004-91 «Общие требования», а также строительными нормами и правилами, межотраслевыми типовыми правилами пожарной безопасности на отдельных объектах.

Здание, в котором находится лаборатория, воздвигнуто из устойчивого к воздействию пожара материала, а именно кирпича, и относится к зданиям второй степени огнестойкости.

Федеральный закон Российской Федерации от 22 июля 2008 г. N 123-ФЗ

В соответствии с ФЗ РФ № 123-ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" от 22 июля 2008 г. по оценке пожарной опасности производства лаборатория относится к категории В, так как в лаборатории отсутствуют легко воспламеняемые материалы и имеются только твердые горючие вещества. В качестве возможных причин пожаров можно указать следующие:

наличие в лаборатории горючей пыли (некоторые осевшие пыли способны к самовозгоранию);

различные короткие замыкания;

опасна перегрузка сетей, ведущая к сильному нагреву токоведущих частей и загоранию изоляции;

нередко пожары происходят при пуске оборудования после ремонта.

Для предупреждения пожаров от короткого замыкания, перегрузок, необходимы правильный выбор, монтаж и соблюдение требуемого режима эксплуатации электросетей, дисплеев и других электрических средств автоматизации.

Мероприятия, необходимые для предупреждения пожаров:

проведение противопожарного инструктажа;

соблюдение норм, правил при установке оборудования, освещения, направленных на предупреждение возникновения пожара;

эксплуатация оборудования в соответствии с техническим паспортом;

рациональное размещение оборудования;

своевременный профилактический осмотр, ремонт и испытание оборудования;

запрещение курения в неустановленном месте.

Для тушения пожаров применяют воздушно-механическую пену, углекислый газ и галогидрированные углеводороды

На этаже имеются порошковые огнетушители ОП-4 и углекислотные огнетушители ОУ-5.

7.3.1. Действия при возникновении пожара

На случай возникновения пожара в лаборатории должны быть в наличии первичные средства тушения пожара. Так как основная опасность - неисправность электропроводки, то при пожаре необходимо немедленно обесточить электросеть в помещении. Главный рубильник должен находиться в легкодоступном месте. До момента выключения рубильника, очаг пожара можно тушить сухим песком или углекислотными огнетушителями. Одновременно с этим необходимо сбить пламя, охватившее горючие предметы, расположенные вблизи проводников.

Водой и химическими пенными огнетушителями горящую электропроводку следует тушить только тогда, когда она будет обесточена.

При возникновении пожара обязанности по его устранению должны быть четко распределены между работниками лаборатории (ГОСТ 12.004-91.ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования). При необходимости немедленно покинуть аудиторию, используя рекомендации плана эвакуации (Рис. 15).

ПЛАН ЭВАКУАЦИИ ПРИ ПОЖАРЕ И ДРУГИХ ЧС
 из помещений администрации ООО "Газпром трансгаз Томск"
 г. Томск, пр. Фрунзе, 9 - 3 этаж (Блок-Б)

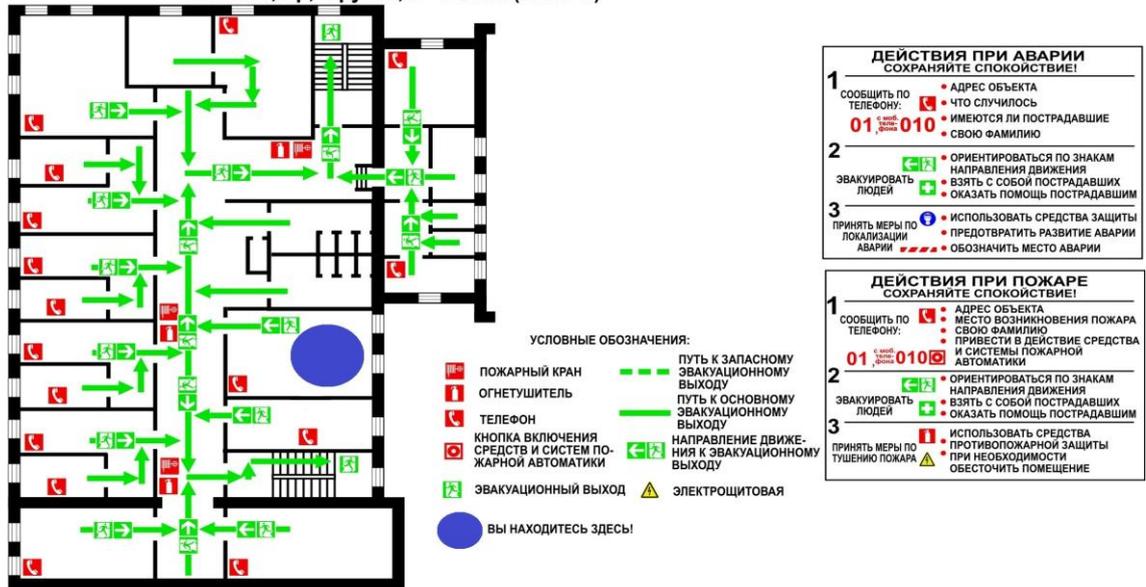


Рисунок 15 – План эвакуации из кабинета отдела промышленной и пожарной безопасности

После проведения анализа вредных и опасных производственных факторов на рабочем месте специалиста отдела промышленной и пожарной безопасности, можно с уверенностью утверждать, что в данном кабинете соблюдаются все требования нормативных документов. Нарушений на рабочем месте не выявлено, угрозы для жизни и здоровья людей не наблюдается. Это доказывает, что данное рабочее место является безопасным.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Как уже было отмечено, обеспечение пожарного риска в процессе эксплуатации газокompрессорных станций в нефтегазовой промышленности, определение пожарного риска является одной из первостепенных задач для предприятий нефтегазового комплекса. Для определения пожарных рисков газокompрессорной станции была проработана различная доступная литература по данной тематике.

В данной магистерской диссертации были рассмотрены основы функционирования и основные типы газокompрессорных станций в России.

Анализ результатов решения вариационной модели показал, что наиболее вероятным событием, инициирующим истечение газа из системы, является пожар на газокompрессорной станции с вероятностью наступления данного события $7,8 \cdot 10^{-4}$ /год.

Проведенное зонирование территории газокompрессорной станции «Чажемто» показало, что необходимое удаление технологических объектов от модуля энергетических установок – не менее 20 м, что позволяет определить превентивные мероприятия.

Одним из элементов комплексного решения данной проблемы явилось создание алгоритма расчета пожарных рисков газокompрессорной станции на основе проделанной работы, позволяющего повысить устойчивость технологического процесса транспортировки природного газа.

Предложены и обоснованы практические рекомендации для обеспечения пожарной безопасности на территории газокompрессорной станции в виде активной молниезащиты.

Проведено обоснование перспективного алгоритма расчета пожарных рисков газокompрессорной станции, включая вопросы экономики.

В ходе выполнения работы была предложена ситуационная расчетная задача, решение которой позволило определить наиболее уязвимые модули на территории объекта.

Проведенный качественный анализ видов, последствий и критичности отказа позволил представить вероятности возникновения иницирующих событий в литерной транслитерации, что представляет более доступную для осмысления оператором форму.

В результате выполнения поставленных задач можно сформулировать новизну данной работы, которая заключается в разработке вариационной модели дерева событий для расчетной аварийной ситуации газокompрессорной станции; в составлении алгоритма анализа и расчета пожарных рисков для энергетического модуля газокompрессорной станции; в определении критериев пожаровзрывоопасности по расчетным показателям опасных факторов.

Проведенный анализ социальной ответственности и экономической эффективности представленных решений показал их целесообразность.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СТУДЕНТА

1. Фрянова К. О., Гербель Д. П. Изменения противопожарного разрыва от скорости ветра и свойств лесного массива [Электронный ресурс] // Технологии техносферной безопасности. - 2014 - №. 2(54). - С. 1-9. - Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2014-2/17-02-14.ttb.pdf>
2. Фрянова К. О. Автоматизированное место специалиста в области специальной оценки условий труда на примере программного обеспечения «электронное рабочее место инженера по охране труда // Инновационные технологии и экономика в машиностроении: сборник трудов VI Международной научно-практической конференции, Юрга, 21-23 Мая 2015. - Томск: ТПУ, 2015 - С. 404-407
3. Фрянова К. О., Гербель Д. П. Исследование поведения верховых лесных пожаров при изменении геометрических параметров противопожарного разрыва с помощью математического моделирования // Инновационные технологии и экономика в машиностроении: сборник трудов VI Международной научно-практической конференции, Юрга, 21-23 Мая 2015. - Томск: ТПУ, 2015 - С. 387-391
4. Фрянова К. О. Определение влияния на производственные риски временного фактора возникновения пламенного горения твердофазных материалов // Инновационные технологии и экономика в машиностроении: сборник трудов VI Международной научно-практической конференции, Юрга, 21-23 Мая 2015. - Томск: ТПУ, 2015 - С. 407-411
5. Фрянова К.О. Определение влияния на производственные риски временного фактора возникновения пламенного горения твердофазных материалов. [Электронный ресурс] // Сборник материалов международного экономического форума «Социально-экономические проблемы развития старопромышленных регионов», Кемерово, 2015. Режим доступа:

<http://science.kuzstu.ru/wp-content/Events/Conference/Other/2015/ekonom/pages/Articles/2/Fryanova-2.pdf>

6. Фрянова К. О. Временный фактор возникновения пламенного горения как основной при определении производственных рисков химико-фармацевтических предприятий // Безопасность жизнедеятельности предприятий в промышленно развитых регионах: сборник материалов XI Международной научно-практической конференции, Кемерово, 24-25 Ноября 2015. - Кемерово: КузГТУ, 2015 - С. 1-3

7. Гербель Д. П., Фрянова К. О. Определение наиболее оптимального способа утилизации производственных отходов медицинской промышленности // Прогрессивные технологии и экономика в машиностроении: сборник трудов VI Всероссийской научно-практической конференции для студентов и учащейся молодежи, Юрга, 9-11 Апреля 2015. - Томск: Изд-во ТПУ, 2015 - С. 767-769

8. Фрянова К. О. Влияние на технолого-производственные риски временного фактора возникновения пламенного горения твердофазных материалов // Неразрушающий контроль: сборник трудов V Всероссийской научно-практической конференции «Неразрушающий контроль: электронное приборостроение, технологии, безопасность». В 2 т., Томск, 25-29 Мая 2015. - Томск: ТПУ, 2015 - Т. 2 - С. 357-360

9. Фрянова К. О., Гербель Д. П. Математическое моделирование поведения верховых лесных пожаров при изменении геометрических параметров противопожарного разрыва // Современное состояние и проблемы естественных наук: сборник трудов II Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, Юрга, 4-5 Июня 2015. - Томск: ТПУ, 2015 - С. 1-4

10. Фрянова К. О., Гербель Д. П. Определение критических параметров противопожарного разрыва конечных размеров в зависимости от запаса и влагосодержания лесных горючих материалов и скорости ветра [Электронный ресурс] // Россия Молодая: сборник материалов VII Всероссийской научно-

практической конференции молодых учёных с международным участием, Кемерово, 21-24 Апреля 2015. - Кемерово: КузГТУ, 2015 - С. 1-5 - <http://science.kuzstu.ru/wp-content/Events/Conference/RM/2015/RM15/pages/Articles/IEU/5/21.pdf>

11. Фрянова К. О., Гербель Д. П. Определение параметров противопожарного разрыва конечных размеров в зависимости от характеристик лесных горючих материалов и скорости ветра // Неразрушающий контроль: сборник трудов V Всероссийской научно-практической конференции «Неразрушающий контроль: электронное приборостроение, технологии, безопасность». В 2 т., Томск, 25-29 Мая 2015. - Томск: ТПУ, 2015 - Т. 2 - С. 360-365

12. Фрянова К.О., Гербель Д.П. Математическое моделирование поведения верховых лесных пожаров при изменении геометрических параметров противопожарного разрыва // Современное состояние и проблемы естественных наук: сборник трудов II Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов (Юрга, 4–5 июня, 2015 г.) / Юргинский технологический институт. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – С. 242-244

13. Фрянова К.О. Влияние на технолого-производственные риски временного фактора возникновения пламенного горения твердофазных материалов // Неразрушающий контроль: сборник трудов V Всероссийской научно-практической конференции «Неразрушающий контроль: электронное приборостроение, технологии, безопасность». В 2 т. Т. 2 / Томский политехнический университет. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – С. 357-360

14. Фрянова К.О., Гербель Д.П. Определение параметров противопожарного разрыва конечных размеров в зависимости от характеристик лесных горючих материалов и скорости ветра // Неразрушающий контроль: сборник трудов V Всероссийской научно-практической конференции «Неразрушающий контроль: электронное приборостроение, технологии,

безопасность». В 2 т. Т. 2 / Томский политехнический университет. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – С. 360-365

15. Фрянова К. О., Гербель Д. П. Определение критических параметров противопожарного разрыва конечных размеров в зависимости от запаса и влагосодержания лесных горючих материалов и скорости ветра [Электронный ресурс] // VII Всероссийская научно-практическая конференция молодых ученых с международным участием «РОССИЯ МОЛОДАЯ» 21-24 апреля 2015 г. Кемерово 2015 - Режим доступа: <http://science.kuzstu.ru/wp-content/Events/Conference/RM/2015/RM15/pages/Articles/GI/5/14.pdf>

16. Фрянова К.О., Гербель Д.П. Математическое моделирование взаимодействия верхового лесного пожара с противопожарным разрывом конечных размеров // Технологии Microsoft в теории и практике программирования: сборник трудов XII Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (Томск, 25–26 марта 2015 г.) / Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – С. 79 -80

17. Фрянова К. О. Влияние на производственные риски временного фактора возникновения пламенного горения твердофазных материалов // Экология и безопасность в техносфере: современные проблемы и пути решения: сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, Юрга, 27-28 Ноября 2014. - Томск: ТПУ, 2014 - С. 317-320

18. Фрянова К. О. Определение изменения противопожарного разрыва при верховых лесных пожарах в зависимости от скорости ветра и свойств лесного массива при помощи математического моделирования // Математика в естественнонаучных исследованиях: сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, Юрга, 9-10 Октября 2014. - Томск: ТПУ, 2014 - С. 233-235

19. Фрянова К. О., Сечин А. И. Влияние на производственные риски временного фактора возникновения пламенного горения твердофазных

материалов // Энергетика: эффективность, надежность, безопасность: материалы XX Всероссийской научно-технической конференции, Томск, 2-4 Декабря 2014. - Томск: Изд-во ТПУ, 2014 - Т. 2 - С. 167-170

20. Гербель Д. П., Фрянова К. О. Разработка предложений по безопасной утилизации производственных отходов химико-фармацевтической промышленности // Экология и безопасность в техносфере: современные проблемы и пути решения: сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, Юрга, 27-28 Ноября 2014. - Томск: ТПУ, 2014 - С. 95-99

21. Фрянова К. О., Гербель Д. П. Изменение противопожарного разрыва от скорости ветра и свойств лесного массива // Экология и безопасность в техносфере: современные проблемы и пути решения: сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, Юрга, 27-28 Ноября 2014. - Томск: ТПУ, 2014 - С. 99-104

22. Фрянова К. О., Гербель Д. П. Изменение противопожарного разрыва при верховых лесных пожарах в зависимости от скорости ветра и свойств лесного массива // Материалы Второго Молодежного Экологического Форума, Кемерово, 10-12 Июня 2014. - Кемерово: ГОУ КузГТУ, 2014 - С. 324-328

23. Гербель Д.П., Фрянова К.О. Разработка алгоритма расчета пожарных рисков на объектах транспортировки природного газа // Неразрушающий контроль: электронное приборостроение, технологии, безопасность: сборник трудов V Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых: Томск, 24-28 Мая 2016. - Томск: ТПУ, 2016. – (в печати).

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Горная энциклопедия [Электронный ресурс] URL:<http://www.mining-enc.ru/g/gazokompressornaya-stanciya/>
2. Принципиальные схемы обустройства нефтегазовых объектов [Электронный ресурс] URL: <http://www.neftyanik-school.ru/studentam/uchebnyye-kursy/course/15/20?start=1>
3. Тагиев Р.М. Основные аспекты единой технической политики в области противопожарной защиты объектов ООО «Газпром». Средства спасения. Противопожарная защита. — М.: Каталог, 2001.
4. ГОСТ Р 12.3.047-98 - Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля МЕТОД РАСЧЕТА ИНТЕНСИВНОСТИ ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ И ВРЕМЕНИ СУЩЕСТВОВАНИЯ «ОГНЕННОГО ШАРА»
5. ГОСТ Р 12.3.047 – 98 «Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля».
6. FIRE RISK MANAGEMENT // Programme on Safety and Health at Work and the Environment (SafeWork) International Labour Office – p.10
7. Анализ и оценка рисков предприятий производственной сферы в процессе инвестиционного проектирования / Г.В. Прибыткова. – Вестник МГТУ, 2005 год. – том 8. - №2. – 300-305с.
8. Комплексный подход к управлению рисками для российских компаний / Д.С. Гончаров. – М.: Вершина, 2008год. – 224 с.
9. Управление рисками промышленного предприятия: опыт и рекомендации / Р.Н.Федосова, О.Г.Крюкова. – М.: ЗАО «Издательство «Экономика», 2008год. – 125 с.
10. Исследование подходов к оценке рисков НИОКР / И.Б.Гусева, О.В.Кудряшова. – Наука в центральной России, 2013 год. – № 4. – 94-96 с.
11. Управление рисками предприятия: учебное пособие / В.Н. Уродовских. – М.: Вузовский учебник, ИНФРА – М, 2011год. – 168с.

12. Оценка риска на промышленном предприятии / Б.С.Иванов, Д.Ю.Богомолов. – Безопасность труда в промышленности, 1999год. – №9 – 40-42с.
13. Классификация и сравнительная оценка факторов риска / В.Я.Онищенко. – Безопасность труда в промышленности, 1995год. – №7 – 23-27с.
14. Надежность технических систем и техногенный риск: учебное пособие / А.В. Гуськов, К.Е. Милевский. – Новосибирск: НГТУ, 2004год. – 427с.
15. Руководство по оценке пожарного риска для промышленных предприятий / И.А. Болодьян, Ю.Н. Шебеко, В.Л. Карпов и др. – Москва, 2006год. – 97с.
16. Анализ риска и его нормативное обеспечение / В.Ф. Мартынюк. – Безопасность труда в промышленности. 1995 год. – №11 – 55-62 с.
17. Надёжность технических систем и оценка риска /Е. Дж. Хенли, Х. Кумамото; пер. с англ. – М.: Машиностроение, 1984год. – 528 с.
18. Основы теории надежности / А. М. Половко, С. В. Гуров; 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006 год. – 704 с.
19. Лекции по пожарной безопасности технологических процессов [Электронный ресурс] URL: <http://lib.rushkolnik.ru/text/24502/index-1.html?page=5#1>
20. ТЕХЭКСПЕРТ [Электронный ресурс] URL: <http://shop.cntd.ru>.
21. РД 34.21.122.87 «Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений».
22. Сравнительная характеристика систем активной молниезащиты и классической [Электронный ресурс] URL: http://molnii-net.ru/download/active_vs_pass.pdf
23. Методы поиска новых идей и решений / Е.А.Кузьмина, А.М.Кузьмин. – Методы менеджмента качества, 2003год. – №1 – 14-20с.
24. Функционально-стоимостный анализ. Экскурс в историю / Е.А. Кузьмина, А.М. Кузьмин. – "Методы менеджмента качества", 2002год. – №7 – 172-180с.

25. Основы функционально-стоимостного анализа: Учебное пособие / Под ред. М.Г. Карпунина и Б.И. Майданчика. – М.: Энергия, 1980. – 175 с.
26. Организационно-экономические вопросы в дипломном проектировании: Учебное пособие / Ю.В. Скворцов. – М.: Высшая школа, 2006 год. – 399 с.
27. Сущность методики FAST в области ФСА [Электронный ресурс] URL: <http://humeur.ru/page/sushhnost-metodiki-fast-v-oblasti-fsa>
28. Охрана труда / Под ред. Б.А. Князевского. – М.: Высш. шк., 1982 год. – 320с.
29. Осветительные установки / Г.М.Кнорринг. – Л.: Энергия, 1981 год. – 412 с.
30. Безопасность жизнедеятельности / С.В. Белов и др. - М.: Изд. МГТУ, 1993 год. – 450с.
31. Справочник по технике безопасности / П.А. Долин. – М.: Энергия, 1981 год. – 590с.
32. Справочная книга для проектирования электрического освещения / Под ред. Г.М. Кнорринга. – СПб.: Энергоатомиздат, 1992 год. – 448 с.
33. Белов СВ. и др. Безопасность жизнедеятельности. – М.: Изд. МГТУ, 1993. – 450с.
34. Долин П.А. Справочник по технике безопасности. – М.: Энергия, 1981. – 590с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Раздел магистерской диссертации, выполненный на иностранном языке

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1EM41	Фрянова Кристина Олеговна		

Консультанткафедры иностранных языков физико-технического института

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Крицкая Надежда Вадимовна	Кандидат филологических наук		

Консультанткафедры менеджмента института социально-гуманитарных технологий

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры менеджмента	Петухов Олег Николаевич	Кандидат экономических наук		

1. ASSESSMENT OF THE COMMERCIAL POTENTIAL AND PROSPECTS OF SCIENTIFIC RESEARCH FROM THE STANDPOINT OF RESOURCE EFFICIENCY AND RESOURCE CONSERVATION

1.1. Potential consumers of the research results

It is known that the Russian Federation is one of world leaders in volumes of oil and gas production. Safety problem in ensuring the fire risk in the operation of gas compressor stations in the oil and gas industry is very important. The presence of this fact requires additional safety measures in production to ensure the smooth functioning of the enterprise as a whole.

The researches, conducted in this final work, are initiative within research work for the LLC Gazprom transgaz Tomsk enterprise. Thus, potential consumers of results of this research are the enterprises of an oil and gas complex located both in the territory of Russia and behind its boundaries.

We will carry out market segmentation of services in definition of algorithm of calculations of fire risk for gas-compressor station of the oil and gas industry by the following criteria: the size of the oil and gas company – the existing ways of calculation of fire risk on objects of an oil and gas pipeline.

Table 1. The card of market segmentation of services in development of algorithm calculation of fire risk for gas-compressor station

		Ways of calculation fire risk on objects of an oil and gas pipeline			
		Technique of assessment consequences of emergency explosions of fuel and air mixes	Methodical instructions on carrying out the analysis of risk for hazardous production facilities of gas transmission companies of JSC Gazprom	Methodical instructions on carrying out the analysis of risk of hazardous production facilities	Algorithm calculations of fire risk of gas-compressor station
Size of the company	Large	+	+	+	+
	Averages	+	-	-	+
	Small	-	-	-	+

"+" – convenience application of this method; "-" - irrationality of use of this method by the company.

From the given card of segmentation it is apparent, that the algorithm calculations of fire risk of gas-compressor station is the most universal for definition of fire risks for gas-compressor stations and can be used by the companies of all sizes, and also is the simplest in use.

1.2. Analysis of competitive technical solutions

We will carry out this analysis by means of the estimated card given below.

Table 2. The estimated card for comparison of competitive technical solutions

Criteria	Criterion weight	Points				Competitiveness			
		B _f	B _{k1}	B _{k2}	B _{k3}	K _f	K _{k1}	K _{k2}	K _{k3}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Technical criteria for resource efficiency assessment									
Operating convenience	0,1	5	3	2	5	0,5	0,3	0,2	0,5
Need for additional researches	0,2	3	2	2	5	0,6	0,4	0,4	1
Universality of a method	0,13	4	4	3	5	0,52	0,52	0,39	0,65
Special equipment	0,05	5	4	3	5	0,25	0,2	0,15	0,25
The given opportunities	0,17	3	3	2	4	0,51	0,51	0,34	0,68
Economic criteria for evaluation of efficiency									
Total cost of the equipment	0,1	5	2	1	5	0,5	0,2	0,1	0,5
Competitiveness	0,05	4	3	3	5	0,2	0,15	0,15	0,25
Price	0,1	5	4	3	5	0,5	0,4	0,3	0,5
Market reach	0,05	5	5	5	5	0,25	0,25	0,25	0,25
Employees of a narrow profile for work with a technique	0,05	4	2	2	5	0,2	0,1	0,1	0,25
Total	1	40	32	26	49	3,58	3,43	2,38	4,83

Where reductions: B_f-technique of assessment consequences of emergency explosions of fuel and air mixes; B_{k1} – methodical instructions on carrying out the analysis of risk for hazardous production facilities of gas transmission companies of JSC Gazprom; B_{k2}-methodical instructions on carrying out the analysis of risk of

hazardous production facilities; Bk3-algorithm calculations of fire risk of gas-compressor station.

The analysis of competitive technical solutions was determined by a formula:

$$K = \sum B_i \cdot \bar{B}_i \quad (1)$$

where T_o – competitiveness of scientific development or the competitor;

B_i – indicator weight (in unit shares); \bar{B}_i – indicator i point.

Relying on the received results, it is possible to draw a conclusion that the algorithm calculations of fire risk of gas-compressor station is the most effective and expedient way for definition of fire risks at the gas-compressor stations which are a part of the main pipelines. Vulnerability of competitors is explained by existence of such reasons as need of additional researches for receiving reliable results, use of the additional equipment, need to have in staff, narrow experts, for works with these techniques at the enterprise, etc.

1.3. SWOT-analysis

SWOT is a comprehensive analysis of the research hand development project. SWOT- analysis is used to study the external and internal context of the project.

In order to find out merits and demeritsof the fire risk calculation algorithm of a gas compressor station and methods of competitors we should carry ourSWOT-analysis.

Table 3. SWOT matrix

	<p>Strengths of the research project: C1. A fundamentally new method C2. The presence of an experienced manager C3. Ability to develop a method to be applicable to a little-studied substances and materials. C4. The urgency of development. C5. It does not require unique equipment.</p>	<p>Weaknesses of the research project: S11. Application of the project only for the oil and gas industry. S12. Possibility of emergence of new methods. S13. It isn't tested in work. S14. Slow process of a conclusion to the market of a new technique. S15. Multistaging of a technique.</p>
--	--	---

<p>Opportunities: B1. A possibility of creation partnership with a number of research institutes. B2. High potential of application algorithm calculations of fire risk of gas-compressor station in Russia. B3. Possibility of an exit to a foreign market. B4. Growth of need for technology-production safety. B5. In case of acceptance by the market an exit to large volumes</p>	<p>The urgency of development, experienced leader and a fundamentally new approach to the calculation algorithm of fire risks makes it possible to cooperate with a number of leading research institutions; High potential application of algorithm, and also a possibility of an exit to a foreign market are caused by essentially new algorithm, ability of new algorithm to application to a little studied substances and materials, relevance of development; Growth of need for safety of technology-production is possible due to essentially new algorithm which isn't demanding use of the special equipment; Due to the novelty and the fundamental differences between possible access to large volumes of application of this algorithm.</p>	<p>Possibility of existence of partnership with research institutes in test of algorithm in work</p>
<p>Threats: U1. Lack of demand for algorithm calculations of fire risk of gas-compressor station on production. U2. Counteraction from competitors: reduction of prices, improvement of the current methods. U3. Capture of domestic market by foreign competitors. U4. Closing of oil and gas processing complexes in the territory of the Russian Federation. U5. Detailed studying of thermodynamic characteristics of the used substances and materials.</p>	<p>Essentially new algorithm and relevance of development don't affect demand for method of calculation of fire risk for gas-distributing stations and the linear pipeline in general; Counteraction from competitors won't influence presence of the skilled head and need for the unique equipment.</p>	<p>The slow conclusion of algorithm to the market will allow to wait the period of recession demand for methods of calculation of fire risk for gas-distributing stations and the linear pipeline.</p>

Let's identify relevance of strengths and weaknesses of a research project to external environmental conditions. These compliance or noncompliance will help to

identify the need for strategic change. To this end, the project will develop an interactive matrix.

Interactive project matrix.

Table 4

Strengths of the project						
Opportunities project		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	+	+	-	+	-
	B2	+	-	+	+	0
	B3	+	0	+	+	0
	B4	+	-	0	+	-
	B5	+	0	0	0	0

The analysis of the interactive table allows to identify the following correlated strengths and opportunities: B1C1C2C4, B2B3C1C3C4, B4C1C4, B5C1.

Table 5

Weaknesses of the project						
Opportunities project		S11	S12	S13	S14	S15
	B1	0	0	+	0	0
	B2	-	-	0	0	0
	B3	0	-	-	-	0
	B4	0	0	0	-	0
	B5	-	-	-	0	0

The analysis of this interactive table makes it possible to reveal the following correlating weaknesses and an opportunity: B1S13.

Table 6

Strengths of the project						
Threats project		C1	C2	C3	C4	C5
	Y1	+	-	0	+	0
	Y2	-	-	+	0	+
	Y3	-	0	0	0	0
	Y4	-	0	-	-	-
	Y5	0	-	-	0	0

The analysis of this interactive table makes it possible to reveal the following correlating strengths and threats: Y1C1C4, Y2C3C5.

Table7

Weaknesses of the project						
Threats project		S11	S12	S13	S14	S15
	Y1	0	0	0	+	0
	Y2	0	0	0	0	-
	Y3	-	0	0	0	0
	Y4	-	0	-	-	-
	Y5	0	-	0	0	0

The analysis of this interactive table makes it possible to reveal the following correlating weaknesses and threats: Y1S14.

2. Identification of possible alternatives of research investigation

The conception of work is to develop a fire risk calculation algorithm of a gas compressor station. As it was proved above, this method is the most effective, as it allows to work even with the insufficiently explored substances and materials used in the oil and gas industry; also taking into account environmental factors. Therefore, we use the morphological approach in this methodology.

Table 8. A morphological matrix for algorithm calculations of fire risk of gas-compressor station

	1	2	3	4
A. Visualization of results	Schedule	Formulas	Numerical information	Text information
B. Duration of calculation, min.	10	30	50	>60
C. It is used indirect signs for definition of burning, piece.	1	2	3	>3
D. Interface	Russian	English	French	English-Russian
E. Model of mathematical modeling	structural	functional	combined	
F. Enter of basic data	Manual mode	From Data base	Autonomously	In a technological chains

We consider three options to solve technical problems:

1) A4B1C1D1E3F1 – in the first case, the algorithm allows to provide information in text form, data calculation is made in a short time, and the resulting data can be obtained even in the presence of indirect signs of determination burning; this case is easy to work for Russian users; a combination of mathematical simulation model is used, and the data is entered manually.

2) A3B2C2,3D1E1F1 – in the second case, the algorithm permits to present the final result in the form of numbers, calculation of data is time-consuming; to determine the signs of burning 2 or 3 indirect indications are needed; the working language of the program is Russian; a mathematical model of the structure is used; the manual input of initial data.

3) A1B2,3,4C4D4E3F2,3,4 – in the third case, data visualization happens due to its graphic form; more time for rendering is required in comparison with the first case; an algorithm for determining requires more than three indirect signs of burning; the interface allows to work with the methodology both in Russian and English; mathematical model is combined, and the input of source information is available by means of transferring it from the database independently, in the form of technological chains.

3. Planning of research works

3.1. Structure of works within scientific research

Table 9. List of stages, works and distribution of performers

Mainstages	№	Scope of work	Performer's position
Development of technical specifications	1	Drawing up and statement a subject of the project	Performer's position
	2	Delivery of a task on subject of the project	Performer's position
Choice the direction of researches	3	Formulation of the problem	Performer's position
	4	Definition of stages, stages and terms of development of the project	Performer's position, Student
	5	Selection of literature for scope of work	Student
	6	Collecting materials and the analysis of the existing developments	Student
The cortical researches	7	Carrying out theoretical calculations and justifications	Student
	8	Analysis of competitive techniques	Student
	9	Choice of the most suitable and perspective technique	Student
	10	Coordination of the obtained data with the research supervisor	Student, Performer's position
Generalization and assessment of results	11	Assessment efficiency of the received results	Student
	12	Work conclusions on the project	Student
Registration of the report on NIR	13	Drawing up the explanatory note to work	Student

3.2. Determination of labor input execution of works

The labour manpower in most cases makes the main part of labour costs, that is why it is important to determine the work of every participator of an investigation.

Labour consuming is stated and depends on a lot of factors which are difficult to take into account.

For determination the meaning of labor consuming $t_{ожкi}$ the formula is used:

$$t_{ожкi} = \frac{3t_{мини} + 2t_{максi}}{5}, \quad (2)$$

where $t_{ожкi}$ — disappointed labour consuming man-day;

$t_{мини}$ —minimum possible labour consuming man-day.;

The duration on every work in working days T_{pi} is determined in parallels at the same time to another kinds of work in work-days by some people fulfilling the work. Such calculation is necessary for calculation of wage; as specific weight of wage in common value is about 65%.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожкi}}{\Psi_i}, \quad (3)$$

Where T_{pi} – the duration of one work, work days;

$t_{ожкi}$ —expected labour of one work man-day;

Ψ_i — the quantity of working people who do the same work at that time men.

3.3. Exploitation of the schedule for carrying out of the scientific research

To make a schedule, we should transfer the duration of every work stage in calendar days. You have to use this formula:

$$T_{ки} = T_{pi} \cdot k_{кал}, \quad (4)$$

Where $T_{ки}$ — duration to fulfil I work in calendar days;

T_{pi} —duration of fulfilling I work in working days;

$k_{кал}$ —calendar coefficient.

The calendar coefficient is determined by this formula:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}}, \quad (5)$$

Where $T_{кал}$ – the quantity of calendar days in a year;

$T_{\text{вых}}$ – quantity of rest days;

$T_{\text{пр}}$ – quantity of celebration days in a year.

According to data of a production and tax calendar for 2016, the number of calendar days makes 366 days, the number of the working days makes 247 days, the number of rest days – 105 days, and the number of holiday days – 14, thus:

$$k_{\text{кал}} = \frac{366}{366 - 105 - 14} = 1,48,$$

$\kappa_{\text{кал}} = 1,48$.

We enter all received values in the table (tab. 10).

All significant data are put down into table 10. After that, we build a calendar plan-schedule (table 11). The diagram considers the longest duration of works and is divided into months corresponding to time of work on the diploma paper. The works on the diagram differ by shade hatch, depending on the performers.

Table 10. Temporary indicators of scientific research

Name of work	Labor in put of works									Performers	Duration of works in the working days T_{pi}			Duration of works in calendar days T_{ki}		
	t_{\min} , man-day			t_{\max} , man-day			$t_{o,oci}$, man-day				1	2	3	1	2	3
	1	2	3	1	2	3	1	2	3		1	2	3	1	2	3
Drawing up and statement of a subject of the project	2	2	2	5	5	5	3,2	3,2	3,2	Research supervisor	3	3	3	5	5	5
Delivery of a task on subject of the project	1	1	1	2	2	2	1,8	1,8	1,8	Supervisor, student	2	2	2	3	3	3
Problem definition	1	1	1	2	2	2	1,8	1,8	1,8	student	2	2	2	3	3	3
Definition of stages, stages and terms of development of the project	3	1	2	5	2	4	3,8	1,8	2,8	Supervisor, student	2	1	1,5	3	1	2
Selection of literature for scope of work	7	6	7	10	8	10	8,2	6,8	8,2	student	8	7	8	12	10	12
Collecting materials and the analysis of the existing techniques	14	14	14	17	17	17	15,2	15,2	15,2	student	15	15	15	23	23	23
Carrying out theoretical calculations and justifications	7	7	7	9	9	9	7,8	7,8	7,8	student	8	8	8	12	12	12
Analysis of competitive techniques	5	5	5	7	7	7	5,8	5,8	5,8	student	6	6	6	9	9	9
Choice of the most suitable and perspective technique	3	2	3	5	4	3	3,4	2,4	3,4	Supervisor, student	3	1	3	4	2	4
Coordination of the obtained data with the research supervisor	2	1	2	5	3	4	3,2	1,8	2,8	Supervisor, student	1,5	1	1,5	2	1	2
Assessment of efficiency of the received results	2	2	2	3	3	3	2,4	2,4	2,4	student	2,5	2,5	2,5	4	4	4
Work on conclusions on the project	1	1	1	2	2	2	1,4	1,4	1,4	student	2	2	2	3	3	3
Drawing up the explanatory note to work	4	4	4	6	6	6	4,8	4,8	4,8	student	5	5	5	7	7	7

Table 11. Calendar plan schedule of carrying out research and development for a subject

№	Type of work	Performer	T _{ki} .	Duration execution of works										
				March			April			May				
				1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	Drawing up and statement a subject of the project	supervisor	5	▨										
2	Delivery a task on subject of the project	student	3	■										
3	Formulation of the problem	student	3	■										
4	The definition of stages, stages and terms project development	supervisor, student	3		▨									
5	Selection literature for scope of work	student	12		■	■								
6	Collecting materials and analysis of the existing techniques	student	23			■	■	■						
7	Carrying out theoretical calculations and justifications	student	12						■	■				
8	Analysis of competitive techniques	student	9							■	■			
9	Choice of the most suitable and perspective technique	supervisor, student	4								▨	■		
10	Coordination of the obtained data with the research supervisor	supervisor, student	2								▨	■		
11	Assessment efficiency of the received results	student	4								■	■		
12	Work on conclusions	student	3								■	■		
13	Drawing up the explanatory note to work	student	7										■	■

■ – student; ▨ – research supervisor.

3.4. Budget of the scientific and technical research (STR)

When planning the budget of NTI, it is necessary to provide full and right reflection of different types of the expenses connected with his performance.

3.4.1. Calculation of material costs of NTI

Calculation of material costs is performed on the following formula:

$$Z_M = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m U_i \cdot N_{pacxi}, \quad (6)$$

where m – quantity of types of the material resources consumed when performing scientific research;

N_{pacxi} —quantity of the material i resources planned to be used when performing scientific research (piece, kg, m, sq.m, etc.);

C_i — purchase price of the unit i -type consumable material resources(rub/piece, rub/kg, rub/m, rub/sq.m, etc.);

k_T — a coefficient considering transport and procuring expenses.

Transportation costs are accepted within 15-25% of the cost of materials.

The data on expendables in table 12 correspond to the price list of the Book World retail network (Tomsk, May, 2016).

Table 12. Material in puts

Denomination	Unit of measurement	Quantity			The price for unit, rub.			Costs of materials, rub.		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
Paper	sheet	150	100	130	2	2	2	345	230	169
Cartridge	piece.	1	1	1	1000	1000	1000	1150	1150	1150
Internet	M/bit (package)	1	1	1	350	350	350	402,5	402,5	402,5
Pen	piece.	1	1	1	20	20	20	23	23	23
Additional literature	piece.	2	1	1	400	350	330	920	402,5	379,5
Notebook	piece.	1	2	1	10	10	10	11,5	11,5	11,5
Electrical energy	kW/hour	34	39	41	2,93	2,93	2,93	114,6	131,4	138,15
Total								2966,6	2350,9	2273,6

3.4.2. Calculation of costs of the special equipment for scientific (experimental) works

According to the research given in this work, expenses for special equipment for scientific works are not necessary.

3.4.3. Main and additional salaries of performers of a project

The structure of the main salary implies a monthly award paid from the wages fund and comprising 20 - 30% of a tariff or a salary. Calculation of the main salary is shown in table 13.

Table 13. Calculation of the main salary

№	Stages	Performers on categories	labor content, man - day			Wages for one person /day, thousand rubles			Total salary according to the tariff (salaries), thousand rubles		
			1	2	3	1	2	3	1	2	3
1.	Drawing up and statement of a subject of the project	supervisor	2	2	2	3,6	3,6	3,6	7,2	7,2	7,2
2.	Delivery a task on subject of the project	supervisor, Student	1	1	1	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4
3.	Problem definition	Student	1	2	1,5	0,8	0,8	0,8	0,8	1,6	1,2
4.	Definition of stages, stages and terms of development of the	supervisor, Student	2	1	1,5	4,4	4,4	4,4	8,8	4,4	6,6
5.	Selection of literature for scope of work	Student	7	9	8	0,8	0,8	0,8	5,6	7,2	6,4
6.	Collecting materials and the analysis of the existing techniques	Student	14	15	15	0,8	0,8	0,8	11,2	12	12
7.	Carrying out theoretical calculations and justifications	Student	8	8	8	0,8	0,8	0,8	6,4	6,4	6,4
8.	Analysis of competitive techniques	Student	5	6	5	0,8	0,8	0,8	4	4,8	4

9.	Choice of the most suitable and perspective technique	supervisor, Student	3	1,5	3	4,4	4,4	4,4	13,2	5,9	13,2
10.	Coordination of the obtained data with the research supervisor	supervisor, Student	2	1	1,5	4,4	4,4	4,4	8,8	4,4	6,6
11.	Assessment of efficiency of the received results	Student	2	2,5	3	0,8	0,8	0,8	1,6	2	2,4
12.	Work on conclusions on the project	Student	2	2	2	0,8	0,8	0,8	1,6	1,6	1,6
13.	Drawing up the explanatory note to work	Student	6	5	6	0,8	0,8	0,8	4,8	4	4,8
Total:									66	65,9	76,8

Let's carry out the payroll calculation of the working time of the student and the research supervisor, having in mind that the latter receives 450 rubles per hour of work, and the former 100 rubles (8 hours working day).

$$Z_{zn} = Z_{och} + Z_{don}, \quad (7)$$

Where Z_{och} – the main salary;

Z_{don} – an additional salary (12-20% of Z_{och}).

The maximum main salary of the supervisor (doctor of science) equals about 32400 rubles, and the student 444000 rubles.

Calculation of an additional salary is calculated by the following formula:

$$Z_{don} = k_{don} \cdot Z_{och}, \quad (8)$$

Where k_{don} – coefficient of an additional salary (at a design stage is accepted equal 0,12 – 0,15).

Thus, the salary of the head is equal 37260 rubles, the student – 51060 rubles.

3.4.4. Contributions to off-budget funds (insurance assignments)

The size of contributions to off-budget funds is calculated from the following formula:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{очн} + Z_{дон}), \quad (9)$$

Where $k_{внеб}$ – coefficient of contributions on payment to off-budget funds (a pension fund, fund of obligatory medical insurance and so forth).

According to the Federal law from 7/24/2009 No. 212-FZ for 2016, the established size of insurance premiums equals 30%. On the basis of point 1 of Art. 58 of the law No. 212-FZ for the establishments which are carrying out educational and scientific activity in 2016 the lowered rate – 27,1% is found.

Table 14. Contributions to off-budget funds

Performer	Main salary, rub			Additional salary, rub		
	Ex.1	Ex.2	Ex.3	Ex.1	Ex.2	Ex.3
Project manager	36000	23400	32400	5400	3510	4860
Student diplom a student	42400	43200	44400	6360	6480	6660
Coefficient of assignments in off-budget funds	0,271					
Total:						
Execution 1	24433,4 rub.					
Execution 2	20755,9 rub.					
Execution 3	23934,7 rub.					

3.4.5. Overhead costs

The size of overhead costs is determined by a formula:

$$Z_{накл} = (\sum cmameй) \cdot k_{np}, \quad (10)$$

Where k_{np} – the coefficient considering overhead costs.

The size of coefficient of overhead costs can be taken of 16%. Thus, the greatest overhead costs are equal:

at the first execution $Z_{накл} = 103300 \cdot 0,16 = 16528$ rub.

at the second execution $Z_{накл} = 98891,8 \cdot 0,16 = 15822,7$ rub.

at the third execution $Z_{накл} = 114537,3 \cdot 0,16 = 18326$ rub.

3.4.6. Formation the budget of expenses of the research project

Table 16. Calculation of the budget of expenses of NTI

Name of article	Sum, rub.			Note
	Ex.1	Ex.2	Ex.3	
1. Material in puts of NTI	2966,6	2350,9	2273,6	Point 3.4.1
2. Costs of the special equipment for scientific (experimental) works	-	-	-	Point 3.4.2
3. Expenses on the main salary of performers of a subject	66000	65900	76800	Point 3.4.3
4. Expenses on an additional salary of performers of a subject	9900	9885	11520	Point 3.4.4
5. Contributions to off-budget funds	24433,4	20755,9	23943,7	Point 3.4.5
6. Overhead costs	16528	15822,7	18326	16% of Art. 1-5 sum
7. Budget of expenses of NTI	119828	114714,5	132863,3	Thesum of Art. 1 - 6

4. Determination of resource (resource-saving), financial, budgetary, social and economic efficiency of research

Determination of efficiency happens on the basis of calculation of an integrated indicator of efficiency of scientific research. Its calculation is connected with determination of two average sizes: financial efficiency and resource efficiency.

Integrated financial indicator of development is defined as:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (11)$$

where $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ – integrated financial indicator of development;

Φ_{pi} – execution option i cost;

Φ_{max} – maximum cost of execution of the research project (including analogs).

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп1}} = \frac{119828}{132863,3} = 0,9; \quad I_{\text{финр}}^{\text{исп2}} = \frac{114714,5}{132863,3} = 0,86; \quad I_{\text{финр}}^{\text{исп3}} = \frac{132863,3}{132863,3} = 1.$$

The integrated indicator of a resource efficiency of options of execution of object of research can be defined as follows:

$$I_{pi} = \sum a^i \cdot b^i, \quad (12)$$

where I_{pi} – an integral component of resource efficiency for the i embodiment of the development;

a^i – weight coefficient of i option of execution development;

b_i^a, b_i^p – the ball assessment of i option of execution development, is established by an expert way on the chosen estimation scale;

n – number of parameters of comparison.

Calculation of an integrated indicator of a resource efficiency is recommended to be carried out in the form of the table (tab. 17).

Table 17. Comparative assessment of characteristics of options of the project execution

Subject of inquiry Criteria	Weight coefficient of parameter	Ex.1	Ex.2	Ex.3
Visualization of results	0,2	5	3	3
Use of indirect signs for burning definition	0,3	5	3	4
Interface	0,05	4	5	3
Model of mathematical modeling	0,15	4	4	2
Input of basic data	0,1	5	4	3
Visualization of results	0,2	5	4	3
Total	1	4,8	3,55	3,15

$$I_{p-ex.1} = 5 \times 0,2 + 5 \times 0,3 + 4 \times 0,05 + 4 \times 0,15 + 5 \times 0,1 + 5 \times 0,2 = 4,8$$

$$I_{p-ex.2} = 3 \times 0,2 + 3 \times 0,3 + 5 \times 0,05 + 4 \times 0,15 + 4 \times 0,1 + 4 \times 0,2 = 3,55$$

$$I_{p-ex.2} = 3 \times 0,2 + 4 \times 0,3 + 3 \times 0,05 + 2 \times 0,15 + 3 \times 0,1 + 3 \times 0,2 = 3,15$$

The integrated indicator of efficiency of options of execution of development

($I_{уснi.}$) is determined on the basis of an integrated indicator of a resource efficiency and integrated financial indicator by a formula:

$$I_{уснi.} = \frac{I_{p-усни}}{I_{финр}^{усн.i}}, \quad (13)$$

$$I_{исп1} = \frac{4,8}{0,9} = 5,3; I_{исп2} = \frac{3,55}{0,86} = 4,13; I_{исп3} = \frac{3,15}{1} = 3,15.$$

Comparison of an integrated indicator of efficiency of options of execution of development will allow to define comparative efficiency of the project (see tab. 18) and to choose the most expedient option from offered. Comparative efficiency of the project (\mathfrak{E}_{cp}):

$$\mathfrak{E}_{cp} = \frac{I_{исп i}}{I_{исп max}} \quad (14)$$

Table 18. Comparative efficiency of development

№п/ п	Indicators	Ex.1	Ex.2	Ex.3
1	Integrated financial indicator of development	0,9	0,86	1
2	Integrated indicator of a resource efficiency of development	4,8	3,55	3,15
3	Integrated indicator of efficiency	5,3	4,13	3,15
4	Comparative efficiency of options of execution	1	0,78	0,6

Having compared the values of integrated indicators of efficiency, it is possible to draw a conclusion that realization of algorithm in the first execution is more effective solution of the task set in this work, from standpoint of financial and resource efficiency; then follow executions 2 and 3.