

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 линейного трубопровода |

УДК 614.841.43 614.849

Студент

| Группа | ФИО                      | Подпись | Дата |
|--------|--------------------------|---------|------|
| 1ЕМ41  | Гербель Дмитрий Павлович |         |      |

Руководитель

| Должность | ФИО                            | Ученая степень,<br>звание  | Подпись | Дата |
|-----------|--------------------------------|----------------------------|---------|------|
| Профессор | Сечин<br>Александр<br>Иванович | Доктор технических<br>наук |         |      |

### КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и  
ресурсосбережение»

| Должность | ФИО                        | Ученая степень,<br>звание      | Подпись | Дата |
|-----------|----------------------------|--------------------------------|---------|------|
| Доцент    | Петухов Олег<br>Николаевич | Кандидат<br>экономических наук |         |      |

По разделу «Социальная ответственность»

| Должность            | ФИО                        | Ученая степень,<br>звание    | Подпись | Дата |
|----------------------|----------------------------|------------------------------|---------|------|
| Ст.<br>преподаватель | Романцов Игорь<br>Иванович | Кандидат технических<br>наук |         |      |

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

| Зав.<br>кафедрой | ФИО                              | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|------------------|----------------------------------|---------------------------|---------|------|
| ЭБЖ ИНК<br>ТПУ   | Романенко Сергей<br>Владимирович | Доктор химических<br>наук |         |      |

Томск – 2016 г.

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

| Код                                     | Результат обучения  |
|---|---|
| <b>Общекультурные компетенции</b>       |   |
| 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   |
| <b>Общепрофессиональные компетенции</b> |   |
| 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)      (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Магистерской диссертации

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

Студенту:

| Группа | ФИО                       |
|--------|---------------------------|
| 1ЕМ41  | Гербель Дмитрию Павловичу |

Тема работы:

Разработка алгоритма расчета пожарных рисков линейного трубопровода

Утверждена приказом директора ИНК (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

**Исходные данные к работе:**

- *Наименование объекта исследования (участок линейного трубопровода);*
- *Производительность (35 млн. куб. м.сутки);*
- *Режим работы (непрерывный);*
- *Вид транспортируемого вещества (природный газ);*
- *Длина отрезка линейного газопровода (120 км);*
- *Диаметр трубы газопровода (1020 мм);*
- *Рабочее давление (3,5-3,7 МПа);*
- *В результате исследования необходимо разработать практические рекомендации для повышения пожаро- и взрывобезопасности линейного трубопровода, 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;
- Причины возникновения аварий на объектах нефтегазовой промышленности;
- Технологическая характеристика магистрального газопровода «Парабель-Чажемто»;
- Построение вариофикационной модели событий для типовых участков магистрального газопровода;
- Разработка практических рекомендаций для участка входа магистрального газопровода на компрессорную станцию;
- Обсуждение результатов выполненной работы;
- Заключение по работе.

**Перечень графического материала:**

- Вероятность возникновения основных факторов поражения при ЧС техногенного характера;
- Частота аварий на газопроводах РФ;
- Состав сооружений магистральных газопроводов;
- Расположение МГ «Парабель-Чажемто» на карте Томской области;
- Минимальные безопасные расстояния от КС и газопроводов;
- Схема топографической обстановки магистрального газопровода;
- Типичные инициирующие события;
- Полное дерево событий газопровода «Парабель – Чажемто»;
- Зависимость дозы теплового излучения от расстояния оси газопровода;
- Зона потенциального территориального риска линейного газопровода «Парабель – Чажемто»;
- Схема алгоритма расчета пожарных рисков линейного газопровода;
- Схема молниезащиты территории компрессорной станции.

**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****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  | Гербель Дмитрий Павлович |         |      |

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНИНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

|               |                           |
|---------------|---------------------------|
| <b>Группа</b> | <b>ФИО</b>                |
| 1ЕМ41         | Гербель Дмитрию Павловичу |

|                            |            |                                  |                           |
|----------------------------|------------|----------------------------------|---------------------------|
| <b>Институт</b>            | <b>ИНК</b> | <b>Кафедра</b>                   | <b>ЭБЖ</b>                |
| <b>Уровень образования</b> | Магистр    | <b>Направление/специальность</b> | Техносферная безопасность |

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

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

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

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

### Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

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

|  |  |
|--|--|
| Дата выдачи задания по линейному графику |  |
|--|--|

### 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 |
| 1ЕМ41  | Гербель Д. П. |         |      |

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

|               |                           |
|---------------|---------------------------|
| <b>Группа</b> | <b>ФИО</b>                |
| 1ЕМ41         | Гербель Дмитрию Павловичу |

|                            |            |                                  |                           |
|----------------------------|------------|----------------------------------|---------------------------|
| <b>Институт</b>            | <b>ИНК</b> | <b>Кафедра</b>                   | <b>ЭБЖ</b>                |
| <b>Уровень образования</b> | Магистр    | <b>Направление/специальность</b> | 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, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).

3. Охрана окружающей среды:

- экологическая безопасность.
- разработать 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**

### 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  | Гербель Д. П. |         |      |

**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: Магистр  
 Кафедра экологии и безопасности жизнедеятельности  
 Период выполнения (осенний/весенний семестр 2015/2016 учебного года)  
 Форма представления работы:

|                                 |
|---------------------------------|
| <b>Магистерская диссертация</b> |
|---------------------------------|

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

| Срок сдачи студентом выполняемой работы: |  |                                    |
|--|--|------------------------------------|
| 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                      |                                    |
| 23.03.16                                 | Сбор материалов и изучение функционирования линейного газопровода на участке «Парабель – Чажемто»          |                                    |
| 30.03.16                                 | Детализация типовых участков магистрального газопровода  |                                    |
| 3.03.16                                  | Построение дерева событий для типовых участков магистрального газопровода                                  |                                    |
| 10.04.16                                 | Проведение расчета рисков типовых участков магистрального газопровода                                      |                                    |
| 15.04.16                                 | Определение зоны потенциального территориального риска линейного газопровода «Парабель – Чажемто»          |                                    |
| 18.04.16                                 | Разработка алгоритма расчета пожарных рисков линейного трубопровода для ООО «Газпром»                      |                                    |
| 25.04.16                                 | Разработка практических рекомендаций для участка входа магистрального газопровода на компрессорную станцию |                                    |
| 6.05.16                                  | Согласование полученных данных с руководителем   |                                    |
| 10.05.16                                 | Работа над выводом   |                                    |
| 25.05.16                                 | Составление пояснительной записки  |                                    |

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 |         |      |

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 126 страниц, 23 рисунка, 28 таблиц, 29 источников.

Ключевые слова: линейный трубопровод, пожарный риск, нефтегазовая промышленность, природный газ, методика оценки, алгоритм расчета, вариофикационная модель, чрезвычайная ситуация, детализация участков, дерево событий, газопровод «Парабель-Чажемто».

Объектом исследования является направление разработки алгоритма расчета пожарных рисков линейного газопровода на участке «Парабель-Чажемто».

Цель работы состоит в разработке алгоритма расчета пожарных рисков линейного трубопровода для ООО «Газпром».

В результате исследования были разработаны практические рекомендации для участка входа магистрального газопровода на компрессорную станцию. Разработан алгоритм расчета пожарных рисков линейного трубопровода для ООО «Газпром».

Научная новизна данного дипломного проекта складывается из построения вариофикационной модели событий для типовых участков магистрального газопровода и составления алгоритма расчета пожарных рисков типовых участков магистрального газопровода.

Практическая новизна включает расчет рисков типовых участков магистрального газопровода и предложение по использованию молниезащиты с активным приемником.

Степень внедрения: низкая.

Область применения: нефтегазовая промышленность 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.

танкер: Судно, на котором газ транспортируется в сжиженном состоянии в специальных изотермических емкостях при температуре порядка 160 °С.

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:

ЧС – чрезвычайная ситуация;

ТЭЦ – теплоэлектроцентраль;  
ЕСГ – единая система газоснабжения;  
СРМ – сборно-распределительный манифольд;  
ПХГ – подземное хранилище газа;  
МН – магистральный нефтепровод;  
НПС – нефтеперекачивающая станция;  
МТ – магистральный трубопровод;  
КС – компрессорная станция;  
ГРС – газораспределительная станция;  
ГПА – газоперекачивающий агрегат;  
АВО – аппарат воздушного охлаждения;  
МБР – минимальное безопасное расстояние;  
ТВС – топливно-воздушная смесь.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|   |     |
|---|-----|
| Введение.....   | 12  |
| 1. Аварии на линейных газопроводах.....   | 14  |
| 1.1 Чрезвычайная ситуация и ее классификация.....   | 14  |
| 1.2. Аварии и характеристика.....   | 14  |
| 1.3 Причины возникновения аварий на объектах нефтегазовой промышленности .....                    | 16  |
| 2. Режим транспортировки природного газа в России.....  | 18  |
| 2.1 Система газоснабжения Российской Федерации .....  | 20  |
| 2.2 Сооружения магистральных нефтепроводов.....   | 21  |
| 2.3 Сооружения магистральных газопроводов.....  | 25  |
| 2.4 Постановка задачи исследования.....   | 27  |
| 3. Технологическая характеристика магистрального газопровода «Парабель-Чажемто».....              | 29  |
| 3.1 Топография района расположения .....  | 30  |
| 3.2 Границы запретных санитарно-защитных зон .....  | 31  |
| 3.3 Природно-климатические условия в районе расположения магистрального трубопровода.....         | 33  |
| 3.4 Аварийные ситуации магистрального газопровода «Парабель – Кузбасс».....                       | 34  |
| 4. Методика оценки риска.....   | 36  |
| 4.1 Анализ магистрального газопровода «Парабель-Чажемто».....                                     | 40  |
| 4.2 Построение дерева событий и расчет вероятности главного события.....                          | 43  |
| 4.3 Определение интенсивности теплового излучения .....   | 51  |
| 4.4 Разработка методологии проведения анализа рисков на линейном газопроводе.....                 | 57  |
| 4.5 Разработка предложений по повышению технологической безопасности на линейном газопроводе..... | 59  |
| 5. Построение зоны активной молниезащиты .....  | 59  |
| 5.1 Оценка количества попаданий молнии в трубу газопровода .....                                  | 60  |
| 5.2 Построение зоны защиты .....  | 60  |
| 5.3 Обоснование выбора активной молниезащиты.....   | 62  |
| 6. Финансовый менеджмент ресурсоэффективность и ресурсосбережение .....                           | 66  |
| 7. Социальная ответственность .....   | 85  |
| Заключение .....  | 100 |
| Список публикаций студента.....   | 102 |
| Список используемых источников.....   | 105 |
| Приложение 1 .....  | 108 |

## **ВВЕДЕНИЕ**

Нефтегазовая отрасль добывает, транспортирует и перерабатывает большое количество взрывоопасных и горючих материалов.

Проведя анализ крупных аварий, можно сделать вывод, что при взрывах большого объема парогазовых выбросов разрушаются не только производственные объекты, но и расположенные рядом сооружения и здания жилых массивов. Возникают определенные трудности в локализации аварий, к тому же технические средства противопожарных служб по их ликвидации и предупреждению являются малоэффективными.

Риск, связанный с пожаровзрывоопасными производствами обусловлен, прежде всего, не надлежащим анализом и оценкой производственного процесса, как на стадии проектирования и строительства, так в период эксплуатации и ремонта.

В результате аварий на магистральных трубопроводах наносится наиболее ощутимый экологический ущерб. Разрушение магистрального газопровода сопровождается мгновенным высвобождением энергии газа и механическим повреждением рельефа и природного ландшафта, нарушается целостность почвенно-растительного покрова. Возгорание газа, как показывает практика, влечет за собой термическое воздействие с соответствующим поражением территории радиусом до 300 метров от оси газопровода. Кроме того, отмечаются случаи разлета фрагментов трубопровода до 480 метров.

Обеспечение безопасной и надежной эксплуатации магистральных газопроводов считается главной задачей обществ, которые используют газотранспортные системы. От этой задачи зависит безопасность деятельности производственного персонала, жизнедеятельность жителей близлежащих населенных пунктов, а также безопасное функционирование самих газовых магистралей.

Таким образом, поиск перспективных путей развития вопроса как расчет пожарных рисков в соответствии с концепцией противопожарной защиты объектов ООО «Газпром» представляет собой актуальную задачу, как в области предупреждения ЧС, так и устойчивого функционирования предприятия.

Цель работы состоит в разработке алгоритма расчета пожарных рисков линейного трубопровода для ООО «Газпром».

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- изучить функционирование линейного газопровода на участке;
- детализация типовых участков магистрального газопровода;
- составить дерево событий для типовых участков магистрального газопровода;
- провести расчет рисков типовых участков магистрального газопровода;
- составить алгоритм расчета пожарных рисков типовых участков магистрального газопровода;
- разработать практические рекомендации для участка входа магистрального газопровода на компрессорную станцию.

Научная новизна данного дипломного проекта складывается из построения вариофикационной модели событий для типовых участков магистрального газопровода и составления алгоритма расчета пожарных рисков типовых участков магистрального газопровода.

Практическая новизна включает расчет рисков типовых участков магистрального газопровода и предложение по использованию молниезащиты с активным приемником.

# **1. АВАРИИ НА ЛИНЕЙНЫХ ГАЗОПРОВОДАХ**

## **1.1 Чрезвычайная ситуация и ее классификация**

Чрезвычайной ситуацией (ЧС) называется 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.

Критерием тяжести ЧС является количество пострадавших. Классификация чрезвычайных ситуаций зависит от:

- размера материального ущерба;
- количества пострадавших людей и людей с нарушенными условиями жизнедеятельности;
- площади зоны распространения поражающих факторов данной чрезвычайной ситуации.

По масштабу чрезвычайные ситуации бывают локальными, местными, территориальными, региональными, федеральными и трансграничными.

## **1.2. Аварии и характеристика**

К сожалению, число аварий практически во всех сферах производственной деятельности увеличивается. Главными причинами являются новые технологии, материалы и опасные вещества в промышленности и сельском хозяйстве, популяризация нетрадиционных источников энергии.

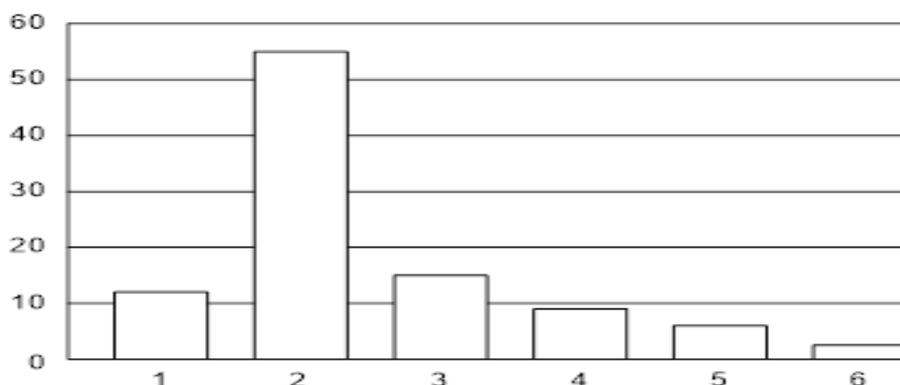
Современные производства стараются проектировать с высокой степенью надежности, которая равна порядка  $10^4$ . При наличии одного такого объекта авария на нем возможна один раз в 10 тысяч лет. Но при наличии 10 тысяч таких объектов, ежегодно на одном из таких объектов может произойти авария. Таким образом, абсолютно безаварийных ситуаций

не существует. При этом, за высшей безопасностью объекта стоят более высокие последствия аварии.

В большинстве случаев аварии развиваются по одному сценарию. На первой стадии аварии предшествует накопление дефектов в оборудовании, следовательно, еще есть возможность избежать аварии. Вторая стадия характеризуется каким-либо инициирующим событием, возникающим неожиданно. Авария возникает в третью стадию после двух предыдущих.

Основными опасностями газодобывающих производств, приводящими к возникновению ЧС, являются пожары, взрывы или токсические выбросы (рис.1). Несмотря на многообразие возможных сценариев развития, количество поражающих факторов ограничено, что дает возможность описать физическое воздействие, которое приводит к ущербу людей, окружающей среде и материальным ценностям.

При аварии может действовать несколько поражающих факторов. Например, при пожаре сильным может оказаться воздействие токсических продуктов горения. При массовых взрывах — сейсмические последствия, приводящие к обрушению. Именно поэтому, при расчете прогноза последствий аварии нужно учитывать все многообразие поражающих факторов, выделяя основные только после анализа вероятности их реализации.



**Рисунок 1 – Вероятность возникновения основных факторов поражения при ЧС техногенного характера [1]**

**1 – разрушение зданий; 2 – пожар; 3 –разлетающиеся осколки оборудования; 4 – удар об элементы конструкции; 5 – отравление токсичными веществами; 6 –поражения ударной волной**

### 1.3 Причины возникновения аварий на объектах нефтегазовой промышленности

Основными причинами аварий на объектах линейного трубопровода являются (таблица 1):

- внешнее физическое воздействие на трубопроводы, в том числе криминальная врезка, повлекшая утечку;
- нарушение правил и норм производства работ при ремонте и строительстве, отступление от проектного решения;
- коррозионное повреждение трубопровода, регулирующей и запорной конструкции;
- нарушение технического условия при изготовлении оборудования и труб;
- ошибочное действие ремонтного и эксплуатационного персонала.

Таблица 1 – Частота аварий на газопроводах РФ [2]

| Причины аварий                 | Удельная частота аварий, кол.аварий/(1000км·год) |        |        |        |                    |
|--------------------------------|--|--------|--------|--------|--------------------|
|                                | 2007г.   | 2008г. | 2009г. | 2010г. | С 2007 по 2010 гг. |
| Производственный дефект труб   | 0,019  | 0,036  | 0,029  | 0,029  | 0,028              |
| Брак СРМ и сварки              | 0,052  | 0,057  | 0,021  | 0,057  | 0,047              |
| Наружная и внутренняя коррозия | 0,062  | 0,036  | 0,079  | 0,043  | 0,055              |
| Механические повреждения       | 0,048  | 0,043  | 0,085  | 0,071  | 0,062              |
| Другие причины                 | 0,019  | 0,007  | 0      | 0,021  | 0,012              |
| По всем причинам               | 0,205  | 0,179  | 0,214  | 0,221  | 0,204              |

Как видно из таблицы наружная и внутренняя коррозия вместе с механическими повреждениями составляют весомую долю аварий на линейных газопроводах. Тенденция снижения аварий по этим причинам не наблюдается.

Рост числа крупных аварий происходит в результате перехода нашей страны к рыночным принципам хозяйствования, появления новых форм и видов собственности, резкого ухудшения развития материально-финансового положения многих промышленных предприятий, значительного морального и физического старения оборудования и т.д.

## **2. РЕЖИМ ТРАНСПОРТИРОВКИ ПРИРОДНОГО ГАЗА В РОССИИ**

Газ, который поступает из скважины, подготавливается к транспортировке заказчику или пользователю будь то на химический завод, котельную или ТЭЦ. Подготовка газа стала неотъемлемой частью процесса транспортировки, так как кроме целевых компонентов, в нем присутствуют и примеси, вызывающие затруднения либо при транспортировке, либо его применении. Пары воды, например, содержащиеся в газе, при определенных условиях могут образовать гидраты, а конденсируясь, могут скапливаться в изгибах трубопровода и мешать продвижению газа. Такой газ, как сероводород вызовет сильную коррозию газового оборудования. Кроме процесса подготовки самого газа, следует помнить и о процедуре подготовки трубопровода. В данном направлении широко применяются азотные установки, создающие инертную среду в трубопроводе.

Подготовка газа может протекать различным способом. Согласно одному из них, поблизости от месторождения сооружают установку комплексной подготовки газа, которая очищает и осушает газ в абсорбционных колоннах. Данная схема применяется на российских газопромысловых месторождениях.

При высоком содержании в газе гелия или сероводорода его обрабатывают на газоперерабатывающем заводе, выделяя серу и гелий. Такая схема представлена, например, на Астраханском и Оренбургском месторождении.

Сегодня основным видом транспортировки природного газа является трубопроводный способ. Под воздействием давления 7,5 и более МПа газ прокачивают по трубам, имеющим диаметр до 1420 мм. Постепенно, продвигаясь по трубопроводу, газ преодолевает силу трения не только между стенкой трубы и газом, но и между слоями газа, теряя кинетическую энергию, рассеивающуюся в виде тепла. Именно поэтому необходимо через

определенное расстояние устанавливать компрессорные станции, на которых газ охлаждается и дожимается до 7,5 МПа. Обслуживание и сооружение трубопровода весьма затратные процессы, но это и наиболее дешевый способ транспортировки газа с точки зрения организации и начальных вложений.

Помимо трубопроводного способа широко применяют специальные танкеры — суда, на которых газ транспортируется в сжиженном состоянии в специальных изотермических емкостях при температуре порядка 160 °С.

Дело в том, что во время процедуры сжижения плотность газа возрастает примерно в 600 раз. Данное свойство отражается прежде всего на величине его объема и условиях перевозки. Во-первых, процесс хранения газа становится более удобным с технологической точки зрения. Во-вторых, такой газ нетоксичен и его можно хранить в специальной емкости с теплоизоляцией при температуре - 161 °С.

Таким образом, при транспортировке газа данным способом необходима протяжка газопровода от месторождения до морского побережья, сооружение на берегу терминала для сжижения газа и заполнения его в танкеры. Современные танкеры вмещают в себя от 150000 до 250000м<sup>3</sup> газа.

Транспортировка сжиженного газа танкерами является более экономичной, чем транспортировка сжатого газа по трубопроводам, начиная с проекта, когда расстояние доставки превышает 3000 км, ведь большую часть стоимости составляет не транспортировка, а погрузочные работы. С другой стороны требуются более высокие начальные вложения в инфраструктуру, чем при трубопроводном способе. К достоинствам можно отнести и тот факт, что сжиженный газ безопаснее при хранении и перевозке, чем сжатый.

Чистый сжиженный природный газ не горит, не может воспламениться или взорваться сам по себе, не смешивается с водой. При нормальной температуре, находясь на открытом пространстве, сжиженный природный газ переходит в газообразное состояние и растворяется в воздухе.

Перед использованием, сжиженный газ подвергается процессу регазификации, то есть испарению без присутствия воздуха.

Кроме описанных выше, существуют и другие способы транспортировки газа. Например при помощи железнодорожных цистерн или дирижаблей, но они не нашли применения в силу ряда обстоятельств.

## **2.1 Система газоснабжения Российской Федерации**

Природный газ, добываемый в России, поступает в линейные газопроводы, входящие в состав Единой системы газоснабжения России. Российская система газоснабжения самая крупная в мире и образует уникальный технологический комплекс из объектов добычи, переработки, хранения, транспортировки и распределения газа. Ее задачей является обеспечение непрерывного цикла поставки добываемого газа до потребителя.

Единая система газоснабжения располагает достаточным уровнем надежности и может бесперебойно обеспечивать поставку газа при любых сезонных нагрузках. Это достигается благодаря не только централизованному управлению и большой разветвленности, но и наличию дополнительных маршрутов транспортировки. Система газоснабжения России является собственностью Газпрома. Ее протяженность составляет порядка 160,4 тыс. км.

Транспорт газа обеспечивают 218 компрессорных станций, имеющих общую мощность газоперекачивающих агрегатов 42,0 миллиона кВт.

Важнейшей частью ЕСГ России являются подземные хранилища газа, которые расположены в районах потребления. Подземные хранилища позволяют регулировать сезонные скачки в потреблении газа, снижают нагрузки в системе газоснабжения, обеспечивают надежность и гибкость поставок газа. Кроме того, благодаря им в отопительный период обеспечивается до 20% поставок газа нашим потребителям. Во время резких похолоданий эта доля возрастает до 30%.

На территория нашего государства располагается 25 подземных хранилищ с общей емкостью 65,2 млрд.м<sup>3</sup>

Главной стратегической задачей Газпрома является расширение мощностей подземных хранилищ. В настоящее время в России действуют проекты создания подземных хранилищ в соляных отложениях, таких как Волгоградское с объемом хранящегося газа 830 млн м<sup>3</sup> и Калининградское — 261 млн м<sup>3</sup>.

Кроме того, Газпром использует объемы хранилищ, расположенных на территории европейских государств (рис.2): Латвии (Инчукалнское), Австрии (Хайдах), Германии (Реден), Великобритании (Хамбли Гроув), Франции (мощности хранилищ компании «Витол»). В 2009 г. в хранилища европейских стран было закачено порядка 2,5 млрд м<sup>3</sup> газа.



Рисунок 2 – Действующие и перспективные объекты ПХГ на территории Европы

Расширение мощности транспортной составляющей и диверсификация маршрутов транспортировки газа являются одними из ключевых пунктов стратегии развития Газпрома.

## 2.2 Сооружения магистральных нефтепроводов

Магистральные нефтепроводы (МН) состоят из:

- линейных сооружений;
- головных перекачивающих насосных станций;
- промежуточных перекачивающих насосных станций;

- резервуарных парков.

Линейные сооружения представляют собой систему из следующих элементов: трубопровода дальнего транспорта нефти, узлов подключения с нефтеперекачивающими станциями (НПС), узлов пуска и приема с очистными и диагностическими устройствами, линий электропередач и линий связи, установки электрохимической защиты от коррозии, средств телемеханики и устройства дистанционного управления запорной арматурой, противопожарных средств, постоянных дорог и указателей (рис. 3).

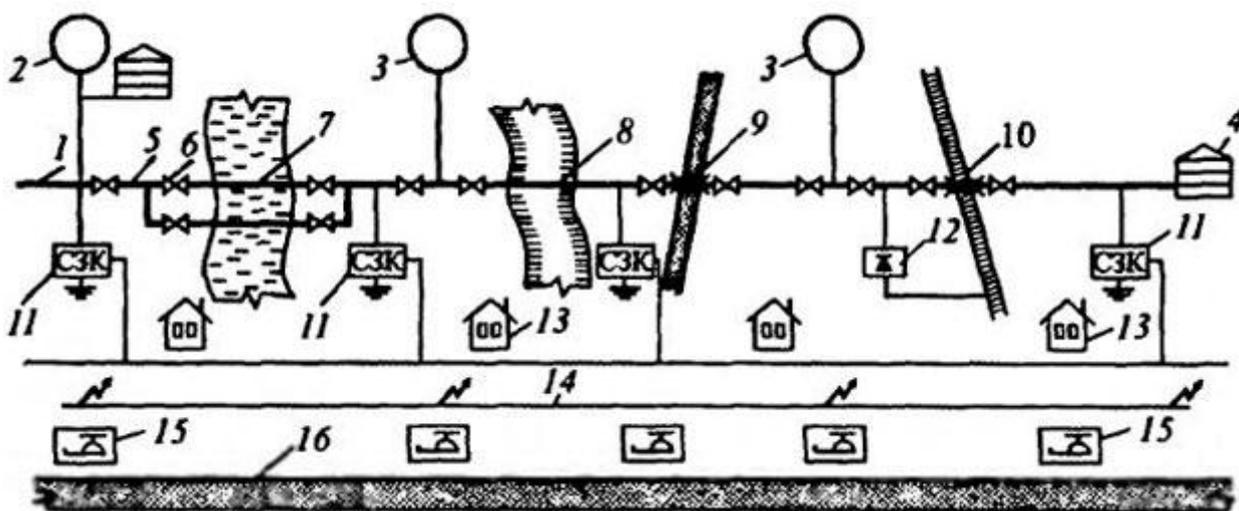


Рисунок 3 – Состав сооружений магистральных нефтепроводов [3]

1 – подводящий трубопровод; 2 – головная НПС; 3 – промежуточная НПС;  
 4 – конечный пункт; 5 – линейная часть; 6 – линейная задвижка; 7 – дюкер;  
 8 – надземный переход; 9 – переход под автодорогой; 10 – переход под железной  
 дорогой; 11 – станция катодной защиты; 12 – дренажная установка  
 электрохимической защиты; 13 – дом обходчика; 14 – линия связи; 15 – вертолетная  
 площадка; 16 – дорога

Трубопровод представлен в виде сваренных в непрерывную нитку труб. Чаще всего верхнюю образующую магистрального трубопровода (МТ) углубляют в грунт на глубину 0,8 метра, если правилами или условиями не требуется иная глубина заложения. При прокладке магистральных нефтепроводов в районах вечной мерзлоты или в болотистых районах трубы закладываются в искусственные насыпи или на опоры. Для этих условий применяют сварные или цельнотянутые трубы с диаметром от 300 до 1220 мм. Толщина стен труб должна определяться проектным давлением, которое

в некоторых случаях достигает 10 МПа. Кроме магистральных существуют также распределительные, технологические и промысловые трубопроводы.

Если трубопровод пересекает крупные реки, то его утяжеляют бетонными покрытиями или грузами и углубляют ниже дна реки. Помимо основной нитки на участок пересечения реки укладывается резервная нитка того же диаметра.

Для удобства обслуживания и ремонта на трубопроводе с интервалом от 10 до 30 км устанавливаются задвижки. Величина интервала зависит от рельефа трассы. Нефтеперекачивающие станции располагают на трассе с интервалом от 70 до 150 км. Они оборудованы центробежными насосами с электроприводом. Расход магистрального насоса может составлять 12500 м<sup>3</sup>/ч. Головную нефтеперекачивающую станцию располагают вблизи от нефтяного промысла. В отличие от промежуточной она имеет резервуарный парк объемом, который равен трехсуточной пропускной способности магистрального нефтепровода. При превышении магистральным нефтепроводом длины 800 км его разбивают на участки в 100-300 км. В этих пределах возможна независимая работа насосов. Промежуточные НПС, располагающиеся на границах участков эксплуатации, обладают резервуарным парком с запасом до полуторосуточной пропускной способности магистрального нефтепровода. Трубопроводы, транспортирующие высоковязкие и высокозастывающие нефти, оборудуются тепловыми станциями с печами подогрева и имеют покрытия с теплоизоляцией.

Линейная часть самая затратная область в газопроводном строительстве. Затраты на ее сооружение обходятся в 80% общего объема вложений. Кроме того, чем больше диаметр труб, тем выше стоимость труб в общей стоимости этой части. Например, если диаметр труб равен 320 мм, то металлоложение в проект составит 60 т/км, если диаметр 1220 мм, то 420 т/км. При смене диаметра с 720 мм на диаметр 1020 мм доля металлоложения возрастает в 1,8 раза. Именно поэтому трассы

нефтепроводов крупного диаметра стараются максимально спрямить. С другой стороны, при увеличении диаметра уменьшаются и затраты на перекачку нефти. Около 20 % вложений составляют нефтеперекачивающие станции.

При увеличении диаметра труб и рабочего давления возрастает толщина стенки трубы. С повышением давления растет стоимость единицы длины линейного нефтепровода, но удельные затраты, связанные с эксплуатацией уменьшаются. Например, перекачивая нефть при скорости 1,5 м/с по трубам с разным диаметром, удельный расход энергии (кВт·ч на 1000 т·км) равен: при диаметре трубы 530 мм – 23,6; при диаметре 720 мм – 14,8; при 920 мм – 10,6.

Стоимость строительства линейной части зависит также от рельефа местности. После того, как закончится этап определения направления трассы, проектировщики выбирают площадки для размещения НПС и рассчитывают параметры нефтепровода.

В зависимости от диаметра труб МН подразделяются на 4 класса:

- 1 класс – диаметр более 1000 мм;
- 2 класс – от 500 до 1000 мм;
- 3 класс – от 300 до 500 мм;
- 4 класс – диаметр менее 300 мм.

Безопасные расстояния от линейного трубопровода до сооружений зависят как раз от класса МН. Кроме того, установлены пять категорий участков линейных трубопроводов, требующие повышенной прочности, величины испытательного давления и неразрушающего контроля: В, I, II, III, IV. Категория В является наиболее ответственной и высокой. К ней относят переходы с диаметром труб более 1000 мм, осуществляющиеся через газопроводы внутри газораспределительных и компрессорных станций, подземных хранилищ газа (ПХГ), а также через широкие водные преграды. К IV категории относят трубопроводы, которые проходят по равнинной местности с устойчивыми грунтами далеко от сооружений и строений.

Вдоль трассы магистрального трубопровода располагаются станции катодной и дренажной защиты, протекторы, защищающие трубы от наружной коррозии.

### **2.3 Сооружения магистральных газопроводов**

Доставка продукции газового месторождения до потребителя представлена единой технологической цепочкой. От месторождения газ через газосборный пункт по промысловому коллектору поступает на установку по его подготовке, где происходит очистка газа от примесей, сероводорода и углекислого газа и его осушка. Затем газ идет к головной компрессорной станции и к магистральному газопроводу (МГ).

Сооружения магистрального газопровода состоят из следующих объектов (рис. 4): головного сооружения, газораспределительной станции (ГРС), компрессорной станции (КС), линейного сооружения и подземного хранилища газа (ПХГ).

В зависимости от рабочего давления МГ подразделяются на 2 класса:

1 класс – давление от 2,5 до 10 МПа;

2 класс – давление от 1,2 до 2,5 МПа.

На месте головного сооружения добываемый газ подготавливают к транспортировке. В начальный период разработки месторождения давление газа самое большое, поэтому головные компрессорные станции не используются, а их строят на более поздних этапах разработки газового месторождения.

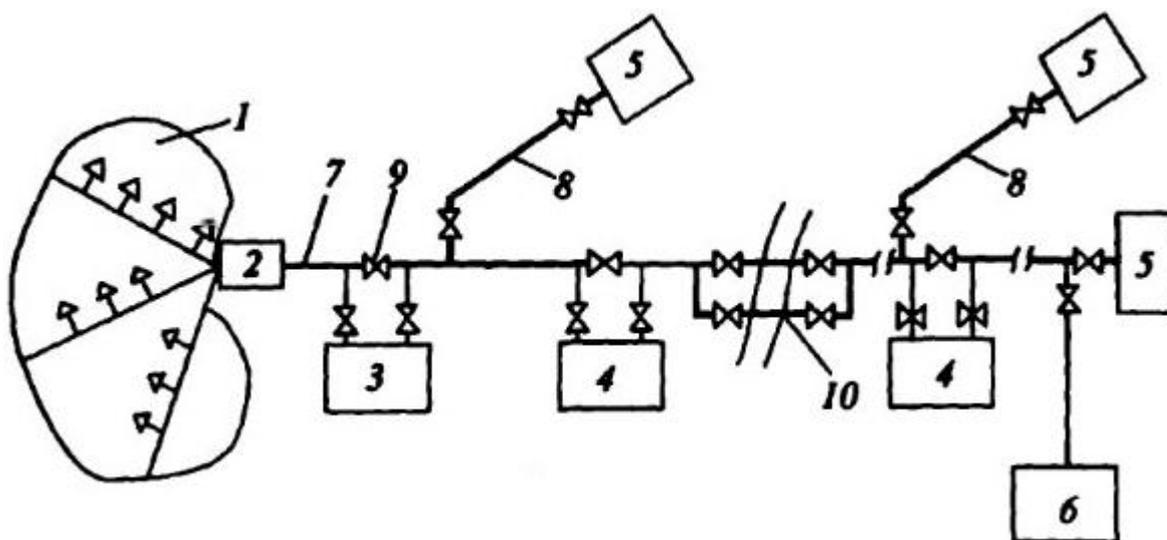


Рисунок 4 – Состав сооружений магистральных газопроводов [3]

1 – газосборные сети; 2 – промышленный пункт сбора газа; 3 – головные сооружения; 4 – компрессорная станция; 5 – газораспределительная станция; 6 – подземные хранилища; 7 – магистральный трубопровод; 8 – ответвление; 9 – линейная арматура; 10 – двухниточный переход через водную преграду

Компрессорные станции (КС) необходимы для перекачивания газа из подземных хранилищ или месторождения до потребителя. Там же происходит осушка газа и его очистка от твердых и жидких примесей.

Все объекты компрессорных станций проектируются в виде блочно-модульных исполнений и оборудуются центробежным нагнетателем с приводом от электродвигателей или газотурбинных установок. Электроприводом оснащено порядка 20 % всех КС, а газотурбинным приводом — около 80 %.

Газоперекачивающие агрегаты (ГПА) сжимают природный газ до уровня, достаточного чтобы обеспечить его транспортировку с заданным технологическим параметром. ГПА расположены в блок-контейнерах, которые состоят из отсеков нагнетателей и приводов.

Охлаждение газа осуществляется установкой, состоящей из аппаратов воздушного охлаждения (АВО). Сжатие газа сопровождается его нагревом, увеличением его вязкости, затратой мощности на перекачку и продольным напряжением в трубопроводе. Когда газ охлаждают после его сжатия, увеличивается устойчивость и производительность газопровода, ослабляется действие коррозионных процессов. Охлаждают газ водой и воздухом в

теплообменном аппарате разной конструкции. Аппараты воздушного охлаждения выполнены в виде вентилятора с диаметром лопастей до 7 метров. Их количество определяется расчетами. Рабочая температура среды, подлежащей охлаждению, на входе в АВО до 70 °С, а на выходе до 45 °С.

В конце каждого магистрального газопровода сооружаются газораспределительные станции (ГРС). Высоконапорный газ подавать потребителям нельзя, поэтому на ГРС понижают его давление до необходимого уровня, очищают его от конденсата и механических частиц, одорируют и измеряют расход.

Газопроводы отличаются от нефтепроводов тем, что вместо задвижек на них через каждые 30 км устанавливаются шаровые краны, а конденсатосборники служат для сбора выпадающего конденсата. Наиболее распространенный диаметр газопроводов находится в границах между 720 и 1420 мм. Арматура и трубы выдерживают рабочее давление равное 10 МПа.

Если требуется проложить два и более магистральных газопровода в одном технологическом коридоре, то их соединяют перемычкой с запорными арматурами. Перемычки располагаются не ближе 40 км друг от друга, а также после и компрессорных станций и перед ними.

Для компенсации неравномерности газопотребления строят подземные хранилища газа (ПХГ). Использование этих сооружений позволяет существенно экономить капиталовложения в хранилища [3].

## **2.4 Постановка задачи исследования**

На сегодняшний день, как следует из представленного материала, слабо представлены вопросы надежности и технического риска эксплуатации трубопроводов. С одной стороны они слабо разработаны, с другой – представляют коммерческую тайну, так как тесно связаны с прогнозами ущерба и стоимостью акций компании на рынке.

Цель работы: разработка алгоритма расчета пожарных рисков линейного трубопровода для ООО «Газпром». Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- изучить функционирование линейного газопровода на участке;
- детализация типовых участков магистрального газопровода;
- составить дерево событий для типовых участков магистрального газопровода;
- провести расчет рисков типовых участков магистрального газопровода;
- составить алгоритм расчета пожарных рисков типовых участков магистрального газопровода.

Разработать практические рекомендации для участка входа магистрального газопровода на компрессорную станцию.

### **3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МАГИСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДА «ПАРАБЕЛЬ- ЧАЖЕМО»**

Создание производственного объединения «Газпром Трансгаз Томск» начинается в 1977 году. Metallургические и химические гиганты Кузбасса нуждались в газе, сжигаемом ранее в факелах нефтяных месторождений Западной Сибири. Именно для этого начали проектировать первый магистральный газопровод Западной Сибири: Нижневартовск - Парабель – Кузбасс длиной 1162 километра. Сооружение газовой магистрали необходимо было провести не только в сложных природно-климатических условиях, но и в максимально короткие сроки. Для этого привлекли девять девять крупных трестов и главков Миннефтегазстроя СССР. Строителями были преодолены 900 км труднопроходимых болот пойменной части Оби, 9 крупных и 137 мелких и средних рек.

На сегодняшний день старейшее предприятие «Газпром Трансгаз Томск» работает на территории, простирающейся от Нижневартовска до Хабаровска. Более 400 крупнейших потребителей Кемеровской, Новосибирской, Томской и Омской областей, Алтайского края и Республики Алтай обеспечиваются газом двумя магистральными газопроводами «СРТО-Омск-Новосибирск-Кузбасс» и «Нижневартовск-Парабель-Кузбасс». В их состав входят такие промышленные гиганты региона, как «Томскэнерго», Нижневартовская ГРЭС, Кемеровский «АЗОТ», Западно-Сибирский и Кузнецкий металлургические комбинаты, Сибирский химический комбинат, Томский нефтехимический комбинат.

ООО «Газпром Трансгаз Томск» технически перевооружает, проводит мероприятия по реконструкции и ремонту объектов линейного газопровода, обеспечивая экологическую безопасность и надежность трубопроводного транспорта, бесперебойное снабжение всех потребителей, развивая экономику нашей страны.

В 2011 году был осуществлен капитальный ремонт самых сложных участков газопровода «Нижевартовский ГПЗ – Парабель – Кузбасс», проходящих по Васюганским болотам и северу региона. Поставки газа потребителям не прекращались даже во время. Кроме того, прошла реконструкция очень важного участка газопровода в районе села Проскоково, который эксплуатировался в течение 30 лет в однониточном варианте. В результате реконструкции была построена вторая нитка, что существенно повысило надежность работы всей магистрали и процесса газоснабжения Западной Сибири.

На данный момент заменено 1550 км труб, построено 17 контрольных пунктов телемеханики в Александровском филиале и 14 в Томском. На магистральном трубопроводе «Соболево-Петропавловск-Камчатский» проходит внедрение новых технологий. В 2011 году доля телемеханизации объектов магистральной части составила порядка 63%. Завершена реконструкция компрессорной станции «Парабель» и «Чажемто», а в северном поселке Вертикос сдан в эксплуатацию жилой комплекс.

### **3.1 Топография района расположения**

Магистральный газопровод «Парабель-Чажемто» имеет длину порядка 120 км, простираясь по Парабельскому и Колпашевскому району Томской области (рис. 5), расположенной в границах низменной Западно-Сибирской равнины. Местность равнинная, высотные отметки этой территории не превышают 110 метров. Территория представлена болотно-лесистой местностью. До 40 % территории заняты болотами. Леса представлены большей частью елями, пихтами и кедрами. Почвы – суглинками переменных консистенций. В регионе характерна разветвлённая сеть рек.

В данной местности возможны лесные и торфяные пожары. Кроме того, чрезвычайные ситуации могут быть вызваны высоким уровнем паводковых вод и резким понижением температуры окружающей среды в

зимний период до  $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Сейсмоактивности на территории рассматриваемой местности нет.

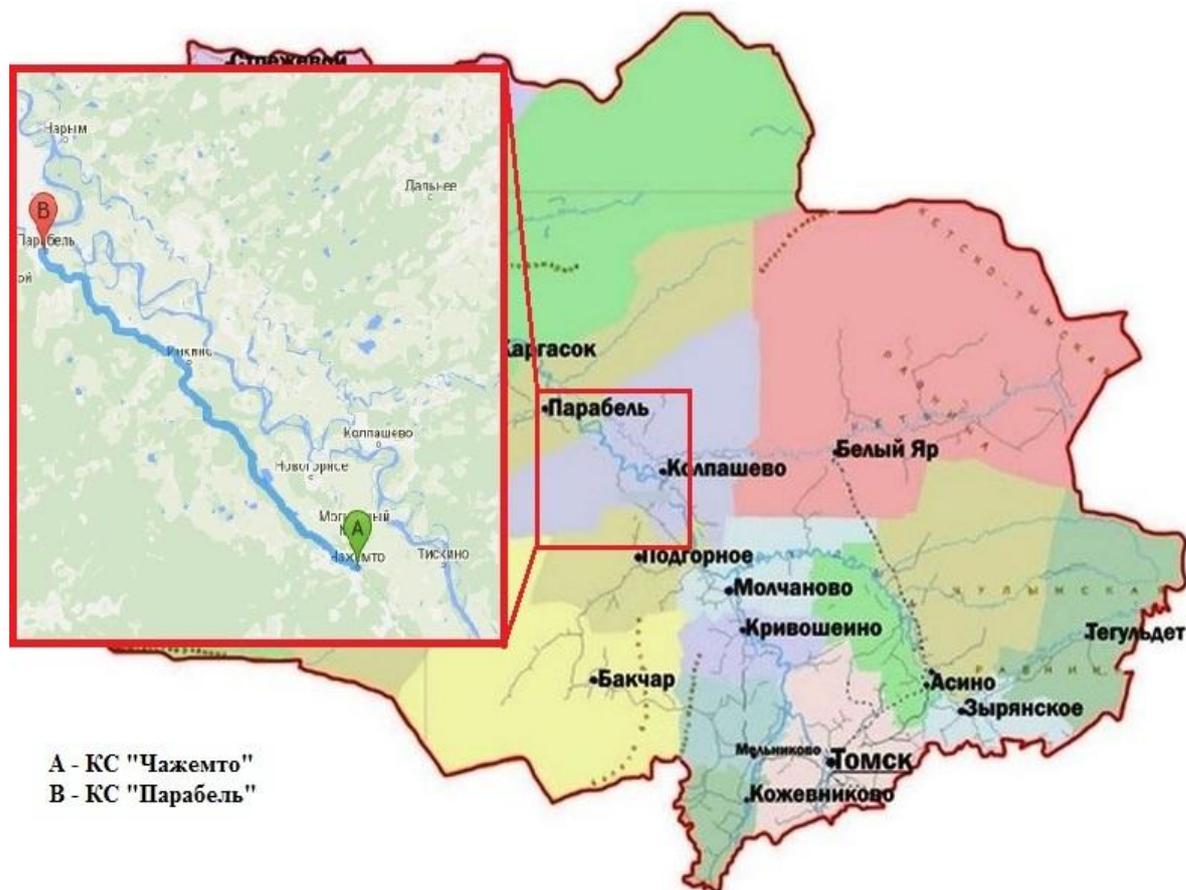


Рисунок 5 – Расположение МГ «Парабель-Чажемто» на карте Томской области

### 3.2 Границы запретных санитарно-защитных зон

На линейной части газопроводов запретных зон не существует, поэтому на территориях, по которым проходит магистральный трубопровод, не имеют какого-либо запрета на прохождение посторонних лиц и, следовательно, не имеют ограждения. Однако для того, чтобы обеспечивались нормальные условия эксплуатации, и исключалась всяческая возможность повреждения газопроводов в соответствии с «Правилами охраны магистральных трубопроводов» установлены охранные зоны.

Охранные зоны газопроводов представляют собой участки земли, ограниченные условными линиями, которые проходят в 25 метрах от оси линейного газопровода с каждой стороны [4]. На этих участках запрещено проведение каких-либо земляных работ, если они не согласованы заранее с

линейно-производственным управлением магистральных газопроводов, а также действий, приводящих к повреждению целостности газопровода. На участках линейных газопроводов устанавливаются опознавательные таблички с обозначением ширины охранной зоны и указанием запрета на земляные и взрывные работы.

В соответствии со СНиП 2.05.06-85\*, помимо охранных зон, для газопроводов, компрессорных и газораспределительных станций установлены минимальные безопасные расстояния (далее МБР) до населенного пункта, промышленного и сельскохозяйственного объекта, автомобильной и железной дороги, линии электропередач, аэродрома и других объектов. Величина МБР варьируется в зависимости от диаметра и класса газопровода, а также от социальной значимости объекта. В приведенной ниже таблице (табл.2) приведены значения МБР для линейного газопровода первого класса и различного диаметра [5].

Таблица 2 – Минимальные безопасные расстояния от КС и газопроводов [5]

| Диаметр газопровода 1 класса, мм | До 300 | 300 - 600 | 600 - 800 | 800 - 1000 | 1000 - 1200 | 1200 - 1400 |
|----------------------------------|--------|-----------|-----------|------------|-------------|-------------|
| МБР от газопровода 1 класса, м   | 100    | 150       | 200       | 250        | 300         | 350         |
| МБР от КС, м                     | 500    | 500       | 700       | 700        | 700         | 700         |

Таким образом, для участка магистрального трубопровода «Парабель-Чажемто» величина минимального безопасного расстояния составляет 300 метров, для КС «Парабель» и КС «Чажемто» зона МБР составляет 700 метров.

Санитарно-защитная зона для линейных трубопроводов определяется исходя из минимального расстояния от населённого пункта и отдельных объектов, которые установлены для обеспечения их безопасности строительными правилами и нормами [6].

Размер санитарно-защитной зоны для магистрального газопровода «Парабель-Чажемто» совпадает с минимальным безопасным расстоянием, которое определено в СНиП 2.05.06-85\*.

Размер санитарно-защитной зоны для компрессорных станций «Парабель» и «Чажемто» совпадает с МБР, определенным также в СНиП 2.05.06-85\*, так как КС расположены в 1 км от ближайших населенных пунктов.

### **3.3 Природно-климатические условия в районе расположения магистрального трубопровода**

Сооружения магистрального газопровода, рассматриваемые в данной работе, расположены на территории Томской области, которая относится к холодной климатической зоне. Несмотря на внушительную протяженность области с севера на юг и разные климатические условия на границах области, практически вся ее территория находится в границах таежной зоны. Особенностью умеренно-континентального циклического климата являются значительные суточные и годовые амплитуды с более длительным зимним периодом.

Климатические условия северной части Томской области обладают особенной суровостью и долгим зимним сезоном. Период с отсутствием мороза составляет порядка 100-105 дней.

Абсолютная минимальная температура воздуха составляет порядка - 51 °С, средняя температура воздуха на протяжении 184 суток составляет - 13,4 °С, средняя месячная относительная влажность воздуха в наиболее холодный месяц 80%, количество осадков за холодный период года 119 мм. В зимний период преобладает южное направление ветра со средней скоростью порядка 4 м/с.

В теплый период года климатическая картина меняется до неузнаваемости. А именно: абсолютная максимальная температура воздуха достигает +35 °С, средняя месячная относительная влажность воздуха

составляет 72%, показатель количества осадков равен 392 мм, северо-западное направление ветра со средней скоростью около 3 м/с [7].

### **3.4 Аварийные ситуации магистрального газопровода «Парабель – Кузбасс»**

В период с 2000 года на участке газопровода «Парабель – Кузбасс» произошло четыре крупных аварии.

В апреле 2003 года произошла авария на 6 км первой нитки этого участка газопровода. В месте аварии произошел пожар. Был отключен участок аварии, а газ подавался потребителям по резервной магистрали. Причиной аварии стали ремонтные работы на параллельной нитке нефтепровода с одноименным названием. Авария была ликвидирована в течение четырех суток.

Взрыв газа в декабре 2005 года способствовал повреждению основной нитки газопровода «Парабель – Кузбасс». Авария произошла в районе Шигарского района и сопровождалась огненным факелом и мощной вспышкой. После того как перекрыли задвижки топливо выгорало еще в течение нескольких часов. Местные котельные были переведены на резервное топливо (уголь и мазут). Авария произошла по техногенной причине.

В июне 2007 года произошел разрыв газопровода диаметром 1020 миллиметров и последующее возгорание на 110-ом километре (район Чажемто). Томское линейное производственное управление находилось всего лишь в двух километрах южнее аварии. Пострадавших не было.

28 июля 2009 года произошел разрыв газопровода диаметром 1000 миллиметров и возгорание образовавшегося газового факела высотой 5 метров (рис.6). Авария произошла в Кемеровской области в районе города Топки. В результате разрыва четыре рыбака, находившихся недалеко от места аварии, получили ожоги. Кроме того, в ожоговый центр был

госпитализирован мальчик в возрасте 14 лет. Причиной аварии стала усталость металла трубопровода.



Рисунок 6 – Авария на газопроводе «Парабель – Кузбасс» Топкинского района

## 4. МЕТОДИКА ОЦЕНКИ РИСКА

Методология оценки и управления риском позволяет учитывать не только вероятностную природу аварии, но и совокупность влияния всех факторов, определяющих как характер их развития, так и масштаб воздействия на человека и среду, в которой он обитает. Благодаря количественным показателям риска, стали реальны оценка потенциальной опасности и сравнение опасностей различной природы.

Методика оценки и анализа риска состоит из расчета вероятности возникновения нежелательного события и оценки последствия.

Анализ риска рассматривается как часть системного подхода к применению практических мер и процедур в решении задач по предупреждению или минимизации последствий опасности для жизни людей и окружающей среды. Он основывается на собранной информации, определяя меры по осуществлению безопасности технологической системы. Следовательно, основной задачей анализа риска является обеспечение рационального основания для принятия решения в отношении риска.

В данном случае риск представляет собой сочетание вероятности и последствия определенного происшествия [8].

Итак, применение сложных технологических процессов, отсутствие возможности охвата всего спектра явлений, способного привести к аварийным ситуациям, создало почву для использования 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.

Дерево событий является дедуктивным логическим построением, использующим концепцию финального события (обычно аварию или отказ всей системы, одного блока) с целью определения возможных путей, при действии которых это событие может произойти.

Этот метод дает возможность проследить протекание возможных аварийных ситуаций и аварий, которые возникли в результате реализации событий, активирующих данную аварийную ситуацию [9]. Изучение дерева отказов представляет «осмысливаемый вперед» процесс, другими словами это процесс, где исследование протекания аварийной ситуации начинается с исходного события, после чего идет рассмотрение цепочки последующих событий, приводящих к инициированию аварии.

При анализе логических деревьев отказов, обычно, руководствуются следующими пунктами [10]:

- возможность предотвратить дальнейшее развитие аварийной ситуации и аварии, зависящее от количества этапов и времени их реализации. Это можно объяснить большей степенью вероятности успешной ликвидации аварийной ситуации и аварии, которая связана с увеличением затрат времени на ограничение распространения аварийных ситуаций и аварий, а также количеством стадий, на которых возможна эта локализация;
- наличие на этапе нескольких разветвлений «И» или «И/ИЛИ», свидетельствующих о приобретении аварией и аварийной ситуацией «цепного» типа развития. Другими словами авария развивается одновременно по нескольким вариантам, увеличивая их число («эффект домино»). Это в большей степени усложняет успешную локализацию и ликвидацию пожара;
- наличие у этапа разветвлений типа «ИЛИ», где одно разветвление приходит на этап локализации аварии или аварийной ситуации, говорит о возможности предотвратить дальнейшее развитие аварии и аварийной

ситуации по этому пути. Отсутствующая стадия локализации аварии и аварийной ситуации на разветвлениях типа «ИЛИ» говорит о невозможности приостановления развития аварии и аварийной ситуации на данной разветвляемой стадии;

- большему числу возможных путей развития аварии и аварийной ситуации на один этап соответствует 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 средств по предотвращению 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 выявлять отказы дедуктивным методом.

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 постоянного рассмотрения и всестороннего понимания поведения системы только одного определенного отказа [11].

Деревья событий описывают 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 технолого-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 [12]. Иначе говоря, дерево событий это перспективный метод решения задач по безопасности и надежности, а также по выявлению риска функционирования технической системы.

#### **4.1 Анализ магистрального газопровода «Парабель-Чажемто»**

Как было отмечено выше, данный отрезок линейного газопровода имеет длину 120 км, диаметр трубы 1020 мм, рабочее давление 3,5-3,7 МПа. Для более детальной оценки пожарных рисков произведем его деление на отрезки в соответствии с топографической обстановкой данной местности и отразим это на схеме.

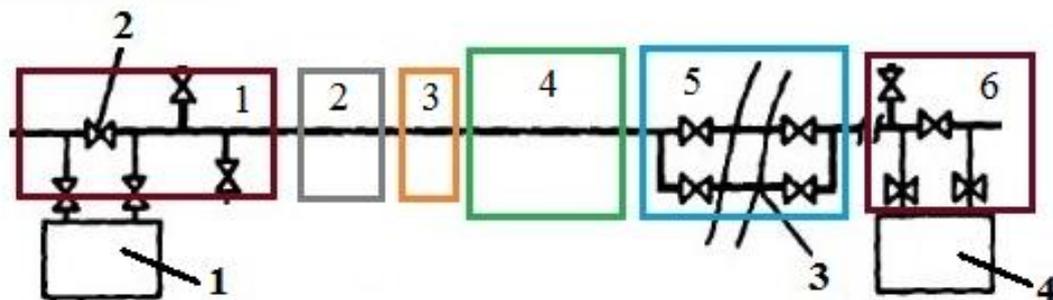
Таким образом, на всем своем протяжении газопровод «Парабель-Чажемто» переходит через следующие рельефные участки местности (см. рис. 7.):

1. Берет начало от КС «Парабель», расположенной на возвышенности.
2. Проходит по участку с оползневыми явлениями.
3. Переход через торфяники.
4. Болотистая местность.

5. Переход через реку Парбиг.

6. Заканчивается на КС «Чажемто», расположенной на возвышенности.

В результате, разбив трассу газопровода на перечисленные элементы, получаем следующую схему (рис.7).



**Рисунок 7 – Схема топографической обстановки магистрального газопровода**

**1 – компрессорная станция «Парабель»; 2 – линейная арматура; 3 – двухниточный переход через водную преграду; 4 – компрессорная станция «Чажемто»**

Процесс прокладки газопровода имеет определенные особенности, которые зависят от местности.

На участке магистрального газопровода, где рельеф местности имеет резкие пересечения, а также заболоченных местах допускают укладку газопровода в специальные земляные насыпи, которые выполняются с поверхностным закреплением грунта и тщательным послойным уплотнением. Если на пути газопровода присутствуют водотоки, то в теле насыпей предусматриваются сооружения, пропускающие воду.

Прокладывая газопровод в гравийно-галечниковых, щебнистых и скальных грунтах и засыпке этими грунтами предусматривается подсыпка из мягких грунтов шириной порядка 10 сантиметров. Покрытия изоляции в таких условиях должны защищаться от повреждения присыпкой газопровода из мягкого грунта на толщину 20 сантиметров или применением специальных защитных устройств при засыпке.

Проектирование подземных газопроводов в районах распространения просадочного грунта зависит от степени просадочности. Сложенные

просадочными грунтами грунтовые условия в зависимости от степени просадки грунта от собственного веса, делятся на два типа:

1. Грунтовые условия с возможностью просадки грунта от внешней нагрузки, но при отсутствии просадки от собственного веса или при ее величине не более 5 сантиметров.

2. Грунтовые условия с возможностью просадки от собственного веса более 5 сантиметров.

Кроме того, при наземной и подземной прокладке газопровода важно предусматривать противоэрозионные мероприятия, используя местные материалы, а при переходе газопровода через крутые склоны, промоины, оросительные каналы и кюветы в местах пересечений устанавливаются перемычки, которые предотвращают проникание воды в траншею и распространение ее в русле газопровода. При прокладке газопровода в направлении уклона более 20 % предусматривается устройство противоэрозионного экрана и перемычек как из искусственного материала, так и из естественного грунта (например, глины).

Если избежать возникновение просадки основания невозможно, то при расчете прочности газопровода и его устойчивости необходимо учитывать напряжения от изгиба, которые могут быть вызваны просадкой основания.

Прокладывая газопровод в земляных насыпях, на пересечении с балками, оврагами и ручьями предусматривается устройство водопропускных сооружений (труб, лотков и т.д.). Поперечное сечение водопропускного сооружения определяют исходя из максимального расхода воды, повторяемого один раз в 50 лет. Если трасса находится вблизи провалов и оврагов, влияющих на безопасность ее целостности, то предусматриваются мероприятия по укреплению этих районов местности.

На трассе газопровода предусматривается установка постоянных реперов через каждые 5 километров.

Укрепление переходов, откосов, склонов предусматривается и использованием геотекстильных материалов.

В условиях горной местности, а также в районах с сильно пересеченным рельефом предусматривается прокладка газопровода в долине реки вне зоны затопления или по водораздельному участку, избегая крутые и устойчивые склоны. Если эти условия выполнить не получается, то прокладка газопровода осуществляется на полках серпантина [13].

#### 4.2 Построение дерева событий и расчет вероятности главного события

Главным событием является истечение газа вследствие разрыва газопровода. Оно может быть индуцировано несколькими исходными (рис.8), к примеру:

- М1 – Истечение газа из системы на возвышенности.
- М2 – Утечка газа на оползневых участках.
- В1 – Несанкционированное вскрытие.
- М3 – Утечка газа в торфяной местности.
- М4 – Истечение газа из системы в болотистой местности.
- М5 – Аварийная ситуация в русле реки.

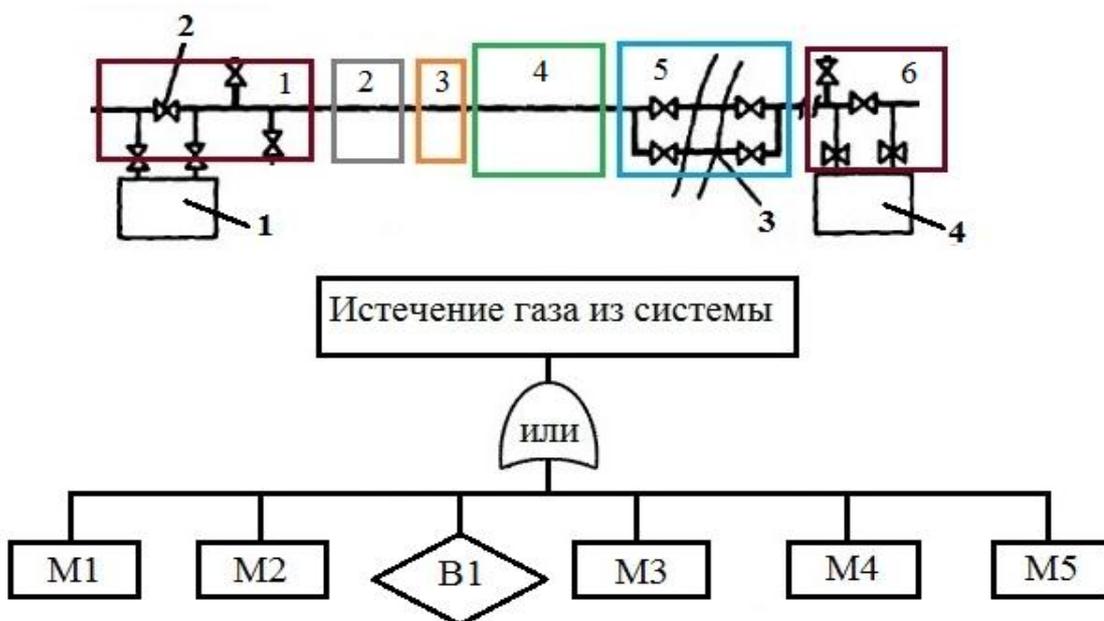


Рисунок 8 – Главное и индуцированные события дерева отказов

Каждое событие может привести к главному событию (истечение газа из системы) и требует дальнейшего развития.

Событие В1 можно считать базовым, так как для него существует адекватная историческая информация. Для обозначения неразвитых и базовых событий используются круги и ромбы соответственно. В анализе неразвитых событий нет необходимости или возможности.

Таблица 3 – Типичные инициирующие события

| Обозначение | Характеристика события  | Вероятность события      |
|-------------|---|--------------------------|
| М6          | Разрушение газопровода из-за внешних воздействий  | $12 \cdot 10^{-5}$       |
| В2          | Рост внутреннего давления   | $12 \cdot 10^{-6}$       |
| МI          | Разрушение газопровода в результате техногенного воздействия  | $1,1 \cdot 10^{-5}$      |
| МII         | Влияние человеческого фактора   | $1 \cdot 10^{-4}$        |
| МIII        | Воздействие окружающей среды  | $2 \cdot 10^{-5}$        |
| В5          | Авиакатастрофа  | $1 \cdot 10^{-6}$ /год   |
| В6          | Воздействие от средств передвижения   | $1 \cdot 10^{-5}$ /год   |
| В19         | Непровар корня шва  | $3 \cdot 10^{-6}$        |
| В20         | Несоблюдение технологии производства  | $4 \cdot 10^{-7}$        |
| В21         | Нерегулярное обслуживание участка   | $1 \cdot 10^{-4}$        |
| В22         | Коррозия  | $1 \cdot 10^{-6}$        |
| В23         | Землетрясение   | $1 \cdot 10^{-5}$ /год   |
| В24         | Падение опоры ЛЭП   | $1 \cdot 10^{-5}$        |
| В25         | Молния  | $1 \cdot 10^{-6}$        |
| В26         | Падение метеорита   | $4 \cdot 10^{-9}$        |
| М7          | Природное воздействие   | $12 \cdot 10^{-4}$       |
| МIV         | Случайная нагрузка: (В11 – сейсмическое воздействие; В12 – взрыв; В13 – внезапная разгерметизация; В14 – пожар; В15 – нестационарный режим эксплуатации; В16 – механические повреждения) [13] | $1,2 \cdot 10^{-2}$ /год |
| В7          | Вымывание конструкции газопровода   | $3 \cdot 10^{-5}$        |
| В8          | Закупорка льдом   | $1 \cdot 10^{-3}$        |
| В9          | Метеоосадки (дожди)   | $2 \cdot 10^{-4}$        |
| В10         | Воздействие температуры   | $1 \cdot 10^{-6}$        |

| Обозначение | Характеристика события                                      | Вероятность события |
|-------------|---|---------------------|
| M8          | Температурное воздействие                                   | $3 \cdot 10^{-6}$   |
| B17         | Нагрев металла в результате тления торфа                    | $1 \cdot 10^{-6}$   |
| B3          | Промерзание трубы   | $2 \cdot 10^{-6}$   |
| M9          | Разрыв в результате природных особенностей речной местности | $6 \cdot 10^{-9}$   |
| B18         | Повреждение в результате карчехода                          | $2 \cdot 10^{-4}$   |
| B4          | Разрыв в результате ремонта на параллельной ветке           | $1 \cdot 10^{-3}$   |

Далее строим схематичное дерево событий в соответствии с правилами, о которых говорили выше.

Рассмотрим дальнейшее развитие события M1 – «Истечение газа из системы на возвышенности» (рис.9).

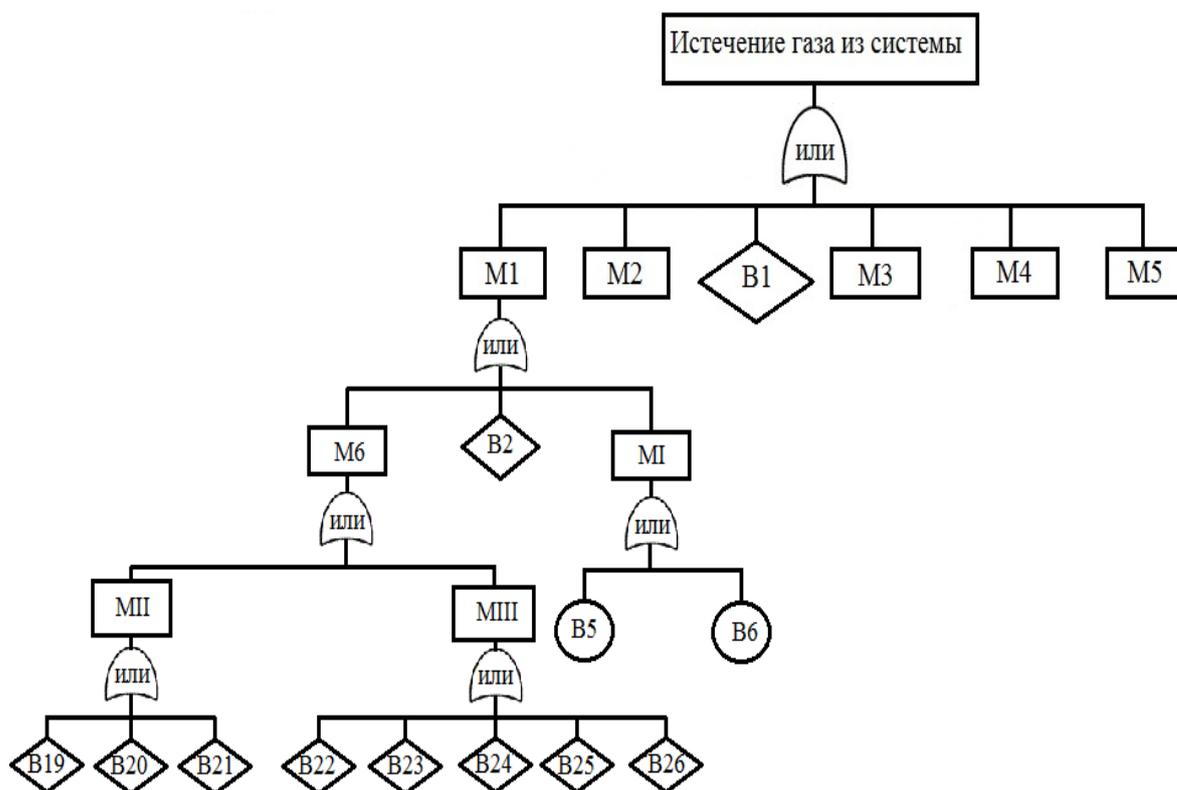
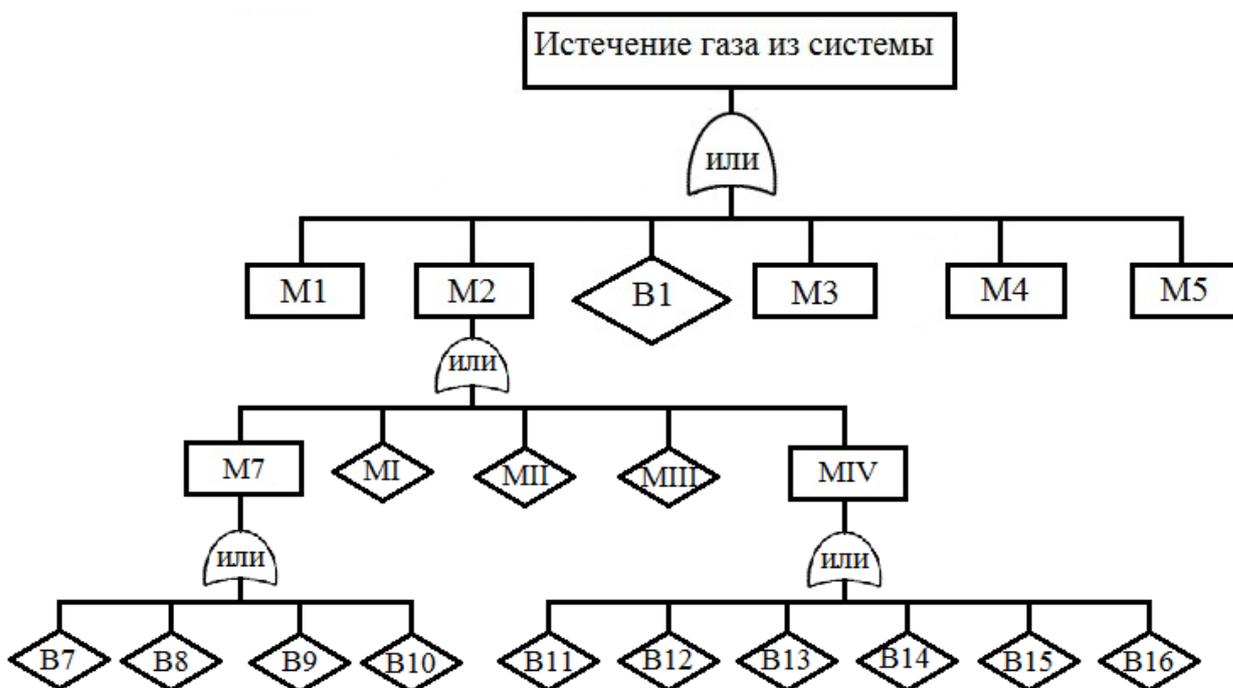


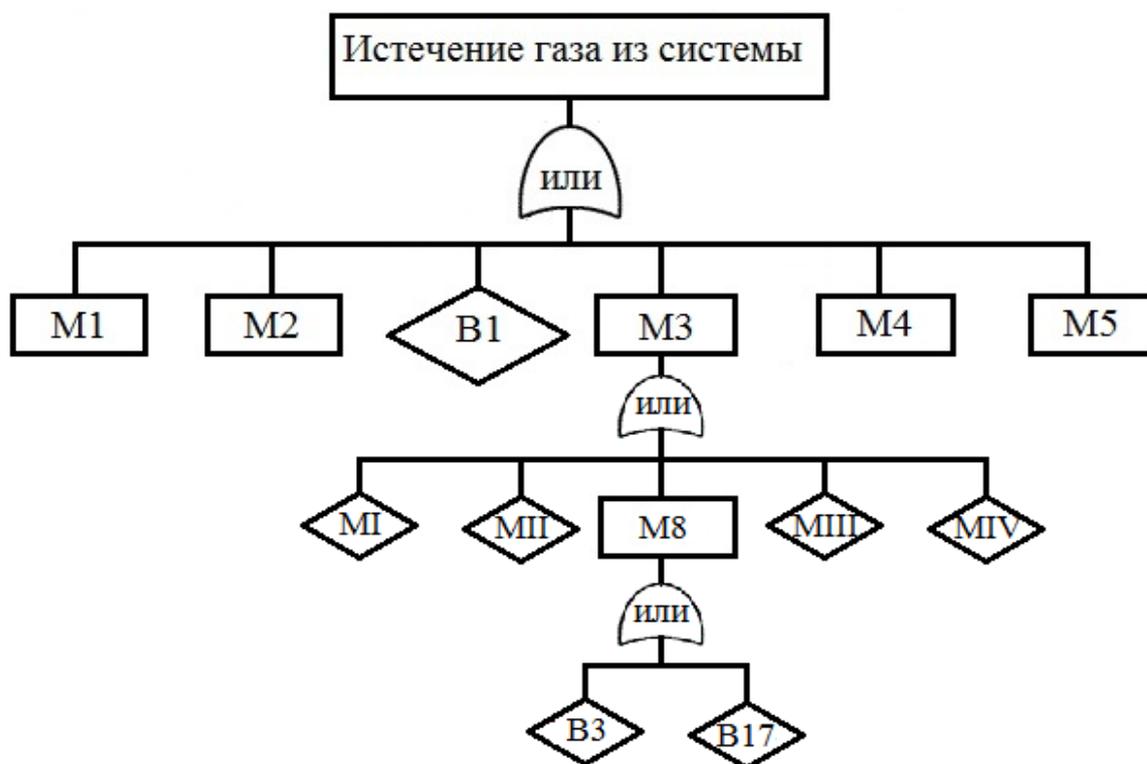
Рисунок 9 – Развитие события M1 – «Истечение газа из системы на возвышенности»

Развитие события M2 – «Утечка газа на оползневых участках» (рис.10).



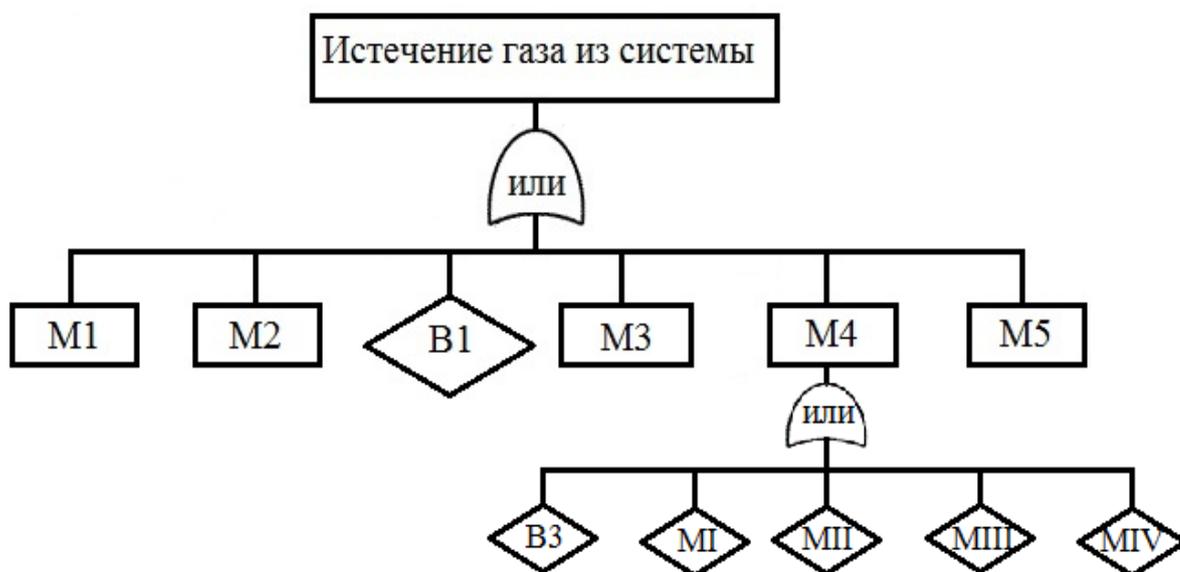
**Рисунок 10 – Развитие события M2 – «Утечка газа на оползневых участках»**

Переходим к следующему рельефному участку и описываем развитие события M3 – «Утечка газа в торфяной местности» (рис.11).



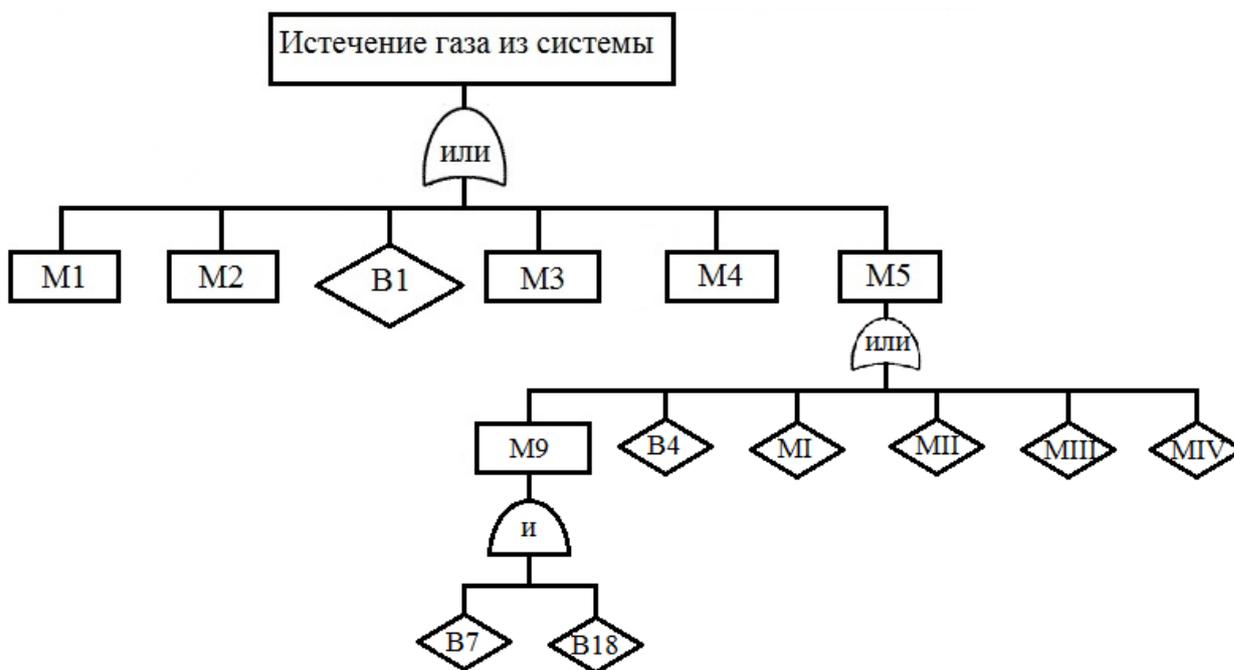
**Рисунок 11 – Развитие события M3 – «Утечка газа в торфяной местности»**

Развитие события M4 – «Истечение газа из системы в болотистой местности» (рис.12).



**Рисунок 12 – Развитие события М4 – «Истечение газа из системы в болотистой местности»**

И, наконец, развиваем событие М5 – «Аварийная ситуация в русле реки» (рис.13).



**Рисунок 13 – Развитие события М5 – «Аварийная ситуация в русле реки»**

Как видно из полного дерева событий (рис.14), мы используем универсальные модули (М I, М II, М III, М IV), полученные в результате анализа особенностей технологического производства, нагрузок и природных условий на различных участках местности.

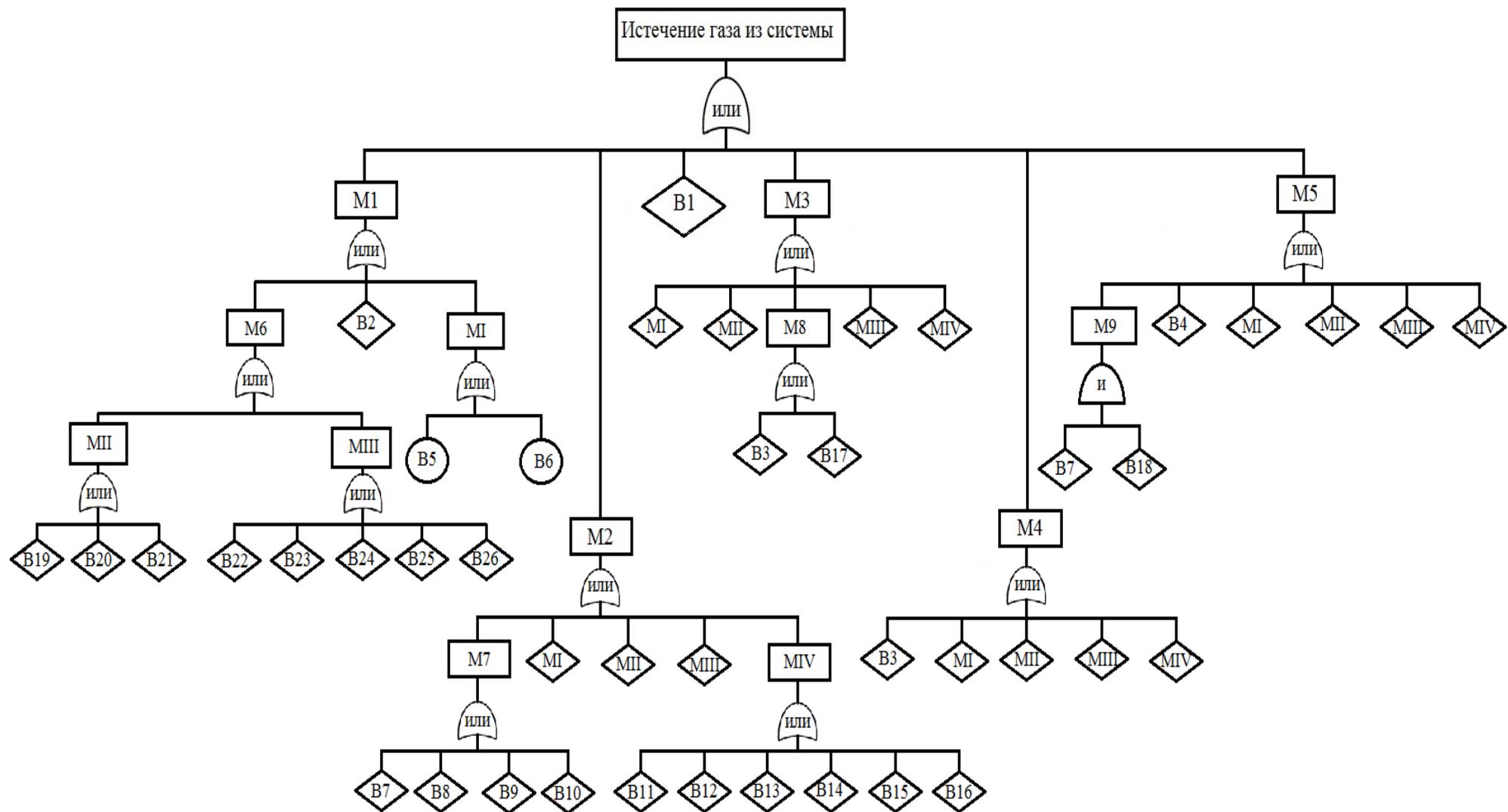


Рисунок 14 – Полное дерево событий газопровода «Парабель – Чажемто»

После построения конечной схемы дерева событий и представив оценочную частоту (вероятность) для всех базовых или неразвивающихся событий, можно приступить к количественному анализу, вычислив вероятность возникновения главного события.

Развитие события М1 «Истечение газа из системы на возвышенности»:

В19, В20 и В21 ведут к событию МII «Влияние человеческого фактора» через логический блок «ИЛИ»:

$$P(\text{MII}) = P(\text{B19}) + P(\text{B20}) + P(\text{B21}) = 3 \cdot 10^{-6} + 4 \cdot 10^{-7} + 1 \cdot 10^{-4} \approx 1 \cdot 10^{-4} \text{ год}^{-1};$$

В22, В23, В24, В25 и В26 ведут к событию МIII «Воздействие окружающей среды» через логический блок «ИЛИ»:

$$\begin{aligned} P(\text{MIII}) &= P(\text{B22}) + P(\text{B23}) + P(\text{B24}) + P(\text{B25}) + P(\text{B26}) = \\ &= 1 \cdot 10^{-6} + 1 \cdot 10^{-5} + 1 \cdot 10^{-5} + 1 \cdot 10^{-6} + 4 \cdot 10^{-9} \approx 2 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}; \end{aligned}$$

МII и МIII ведут к М6 через логический блок «ИЛИ»:

$$P(\text{M6}) = P(\text{MII}) + P(\text{MIII}) = 1 \cdot 10^{-4} + 2 \cdot 10^{-5} = 12 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1};$$

В5 и В6 ведут к событию МI «Разрушение газопровода в результате техногенного воздействия» также через логический блок «ИЛИ»:

$$P(\text{MI}) = P(\text{B5}) + P(\text{B6}) = 1 \cdot 10^{-6} + 1 \cdot 10^{-5} = 1,1 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1};$$

Событие М1 – промежуточное. К нему ведут события М6, В2 и МI через логический блок «ИЛИ». Таким образом:

$$F(\text{M1}) = P(\text{M6}) + F(\text{B2}) + P(\text{MI}) = 12 \cdot 10^{-5} + 12 \cdot 10^{-6} + 1,1 \cdot 10^{-5} \approx 1,4 \cdot 10^{-4} \text{ год}^{-1}.$$

Развитие события М2 «Утечка газа на оползневых участках»:

В7, В8, В9 и В10 ведут к событию М7 «Природное воздействие» через логический блок «ИЛИ»:

$$\begin{aligned} P(\text{M7}) &= P(\text{B7}) + P(\text{B8}) + P(\text{B9}) + P(\text{B10}) = \\ &= 3 \cdot 10^{-5} + 1 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 10^{-4} + 1 \cdot 10^{-6} \approx 12 \cdot 10^{-4} \text{ год}^{-1}; \end{aligned}$$

Событие М2 является также промежуточным событием. К нему ведут события М7, МI, МII, МIII и МIV через логический блок «ИЛИ». Таким образом:

$$\begin{aligned} F(\text{M2}) &= P(\text{M7}) + F(\text{MI}) + F(\text{MII}) + F(\text{MIII}) + P(\text{MIV}) = \\ &= 12 \cdot 10^{-4} + 1,1 \cdot 10^{-5} + 1 \cdot 10^{-4} + 2 \cdot 10^{-5} + 1,2 \cdot 10^{-2} \approx 1,3 \cdot 10^{-2} \text{ год}^{-1}. \end{aligned}$$

Развитие события М3 «Утечка газа в торфяной местности»:

В3 и В17 ведут к событию М8 «Температурное воздействие» через логический блок «ИЛИ»:

$$P(M8) = P(B3) + P(B17) = 2 \cdot 10^{-6} + 1 \cdot 10^{-6} = 3 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1};$$

Событие М3 является также промежуточным событием. К нему ведут события М8, МI, МII, МIII и МIV через логический блок «ИЛИ». Таким образом:

$$\begin{aligned} F(M3) &= P(M8) + F(MI) + F(MII) + F(MIII) + F(MIV) = \\ &= 3 \cdot 10^{-6} + 1,1 \cdot 10^{-5} + 1 \cdot 10^{-4} + 2 \cdot 10^{-5} + 1,2 \cdot 10^{-2} \approx 1,2 \cdot 10^{-2} \text{ год}^{-1}. \end{aligned}$$

Развитие события М4 «Истечение газа из системы в болотистой местности». Событие М4 – промежуточное. К нему ведут события В3, МI, МII, МIII и МIV через логический блок «ИЛИ». Таким образом:

$$\begin{aligned} F(M4) &= F(B3) + F(MI) + F(MII) + F(MIII) + F(MIV) = \\ &= 2 \cdot 10^{-6} + 1,1 \cdot 10^{-5} + 1 \cdot 10^{-4} + 2 \cdot 10^{-5} + 1,2 \cdot 10^{-2} \approx 1,2 \cdot 10^{-2} \text{ год}^{-1}. \end{aligned}$$

Развитие события М5 «Аварийная ситуация в русле реки»:

Событие М9 наступает при одновременном появлении В7 и В18, заданных вероятностями:

$$P(M9) = P(B7) \times P(B18) = 3 \cdot 10^{-5} \times 2 \cdot 10^{-4} = 6 \cdot 10^{-9} \text{ год}^{-1};$$

Событие М5 – промежуточное. К нему ведут события М9, В4, МI, МII, МIII и МIV через логический блок «ИЛИ»:

$$\begin{aligned} F(M5) &= P(M9) + F(B4) + F(MI) + F(MII) + F(MIII) + F(MIV) = \\ &= 6 \cdot 10^{-9} + 1 \cdot 10^{-3} + 1,1 \cdot 10^{-5} + 1 \cdot 10^{-4} + 2 \cdot 10^{-5} + 1,2 \cdot 10^{-2} \approx 1,3 \cdot 10^{-2} \text{ год}^{-1}. \end{aligned}$$

$$B1 = 2 \text{ год}^{-1}.$$

Главное событие «Истечение газа из системы» наступает при возникновении событий М1, М2, М3, М4, М5 и В1, связанных между собой блоком «ИЛИ»:

$$\begin{aligned} F(T) &= P(M1) + P(M2) + P(M3) + P(M4) + P(M5) + F(B1) = \\ &= 1,4 \cdot 10^{-4} + 1,3 \cdot 10^{-2} + 1,2 \cdot 10^{-2} + 1,2 \cdot 10^{-2} + 1,3 \cdot 10^{-2} + 2 = 2,05 \text{ год}^{-1}. \end{aligned}$$

Таким образом, наиболее возможным событием в нашем дереве событий является утечка, связанная с несанкционированным вскрытием или врезкой в

линейную часть трубопровода. В нашем случае частота этого события равна 2 год<sup>-1</sup>. Следовательно, для минимизации вероятности возникновения главного события ключевым образом, кроме прочих мероприятий, необходимо исключить возможность врезки и несанкционированного вскрытия магистрального газопровода.

Если же по каким-то факторам удастся избежать проявление В1, то тогда главное событие «Истечение газа из системы» наступает при возникновении событий М1, М2, М3, М4, М5, связанных между собой блоком «ИЛИ»:

$$F(T) = P(M1) + P(M2) + P(M3) + P(M4) + P(M5) = \\ = 1,4 \cdot 10^{-4} + 1,3 \cdot 10^{-2} + 1,2 \cdot 10^{-2} + 1,2 \cdot 10^{-2} + 1,3 \cdot 10^{-2} = 5 \cdot 10^{-2} \text{ год}^{-1}.$$

В результате проведенного исследования были получены расчетные величины рисков типовых участков магистрального газопровода:

М1 – Истечение газа из системы на возвышенности –  $1,4 \cdot 10^{-4}$  год<sup>-1</sup>.

М2 – Утечка газа на оползневых участках –  $1,3 \cdot 10^{-2}$  год<sup>-1</sup>.

М3 – Утечка газа в торфяной местности –  $1,2 \cdot 10^{-2}$  год<sup>-1</sup>.

М4 – Истечение газа из системы в болотистой местности –  $1,2 \cdot 10^{-2}$  год<sup>-1</sup>.

М5 – Аварийная ситуация при переходе русла реки –  $1,3 \cdot 10^{-2}$  год<sup>-1</sup>.

Общая величина риска главного события «Истечение газа из системы» линейного трубопровода для ООО «Газпром» равна 2,05 год<sup>-1</sup>.

### **4.3 Определение интенсивности теплового излучения**

В таблице 4 представлены примеры, рассчитанные при помощи программного комплекса ТОКСИ+ [14, 15], зон действия поражающего фактора при авариях на отдельных участках газопровода.

Из числа основных поражающих факторов, присущих авариям, к наиболее значимой по размеру зоны поражения относится термическая радиация от горящих струй газа при воспламенении топливно-воздушной смеси (ТВС).

Подход, основанный на оценке последствий аварий, применим и к определению безопасного расстояния для «типового» отрезка газопровода, ведь

расстояние, установленное по расчетам термического поражения от горячей струи газа, лишь немного отличается от расстояния, которое зарегистрировано при аварии, а результат расчета по модели [16] имеет набор меньшего числа принятых допущений и исходных данных по сравнению с моделью расчета последствий аварии.

Таблица 4 – Примеры зон смертельного поражения человека

| Последствия аварии                            | Поражающий фактор       | Зона действия поражающего фактора, м |
|---|-------------------------|--------------------------------------|
| Пожар пролившегося вещества                   | Термическое воздействие | 200                                  |
| Воспламенение облака топливно-воздушной смеси | Термическое воздействие | 2400                                 |
| Горение струи                                 | Термическое воздействие | 300                                  |

Исходя из представленных данных, необходимо провести расчет расстояний действия огненного шара при объеме горения газа.

В нашем случае давление в трубе газопровода составляет 3,5 МПа. В трубе длиной 1 км объем газа составляет порядка 35000 м<sup>3</sup>. Исходя из практики (при горении огненного шара будет принимать участие лишь выделившийся объем, оставшийся объем будет уже гореть в факеле или струе), объем выделившегося газа равен 1000 м<sup>3</sup>.

Образование «Огненных шаров» приводит к тяжелым последствиям. Они вызывают вторичные пожары, так как интенсивность теплового излучения очень высока.

Расчет интенсивности теплового излучения «огненного шара»  $q$ , кВт/м<sup>2</sup>, проводят по формуле (1):

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

где  $E_f$  — средне поверхностная плотность теплового излучения пламени, кВт/м<sup>2</sup>;

$F_q$  — угловой коэффициент облученности;

$\tau$  - коэффициент пропускания атмосферы.

$E_f$  определяют на основе имеющихся экспериментальных данных. Допускается принимать  $E_f$  равным  $450 \text{ кВт/м}^2$ .

$F_q$  рассчитывают по формуле (2):

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

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 (3):

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

Где  $m$  — масса горючего вещества, кг.

$H$  определяют в ходе специальных исследований. Допускается принимать  $H$  равной  $D_s/2$ .

Время существования «огненного шара»  $t_s$ , с, рассчитывают по формуле (4):

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

Коэффициент пропускания атмосферы  $\tau$  рассчитывают по формуле (5):

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

Рассчитаем интенсивность теплового излучения на минимально безопасном расстоянии от трубы газопровода, указанном в СНиП 2.05.06-85 ( $r = 300$  метров).

$$m = 1000 \cdot 0,78 = 780 \text{ кг,}$$

Определяем эффективный диаметр «огненного шара»:

$$D_s = 5,33 \cdot (780)^{0,327} = 47 \text{ м},$$

По формуле (2), принимая  $H = D_s / 2 = 23,5 \text{ м}$ , находим угловой коэффициент облученности  $F_q$ :

$$F_q = \frac{23,5 / 47 + 0,5}{4 \left[ (23,5 / 47 + 0,5)^2 + (300 / 47)^2 \right]^{1,5}} = 0,001$$

По формуле (5) находим коэффициент пропускания атмосферы  $\tau$ :

$$\tau = \exp \left[ -7,0 \cdot 10^{-4} \cdot \left( \sqrt{300^2 + 23,5^2} - 47 / 2 \right) \right] = 0,823 \text{ с}$$

По формуле (1), принимая  $E_f$  равным  $450 \text{ кВт/м}^2$ , находим интенсивность теплового излучения  $q$ :

$$q = 450 \cdot 0,001 \cdot 0,823 = 0,37 \text{ кВт/м}^2.$$

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

$$t_s = 0,92 \cdot (780)^{0,303} = 6,92 \text{ с}.$$

Значение интенсивности теплового излучения «Огненного шара» при радиусе 300 метров составляет  $0,37 \text{ кВт/м}^2$ . Поражение при воздействии «огненного шара» на человека отсутствует [17].

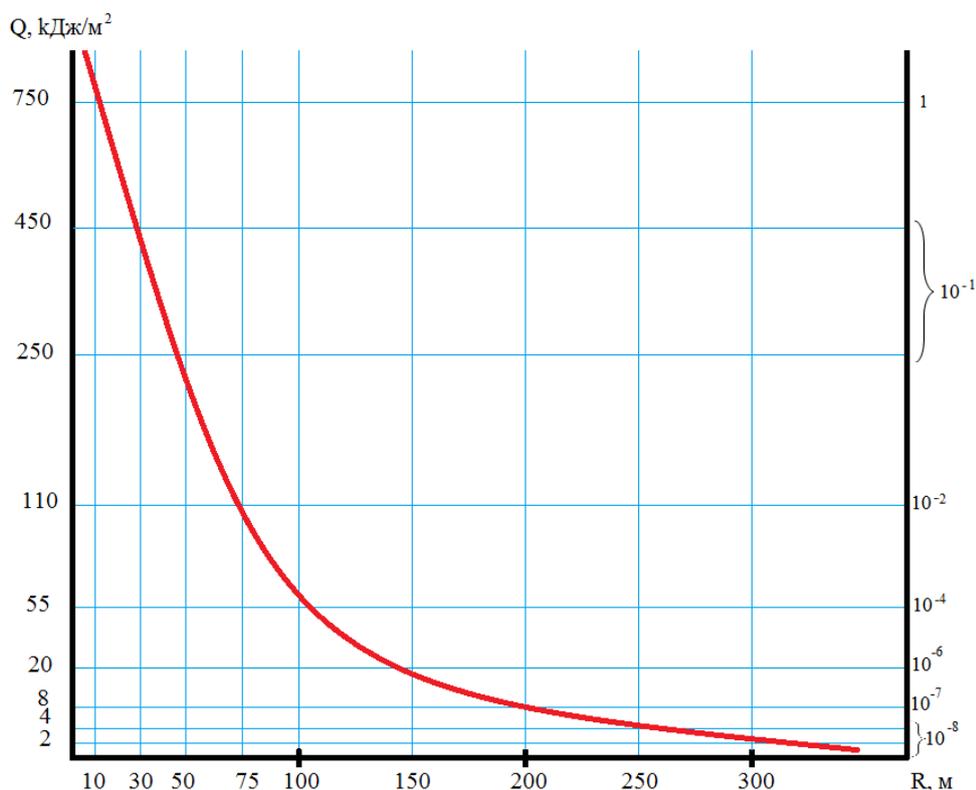
Далее рассчитаем интенсивность теплового излучения при разных вариантах удаленности от трассы газопровода, определим предельно допустимые дозы теплового излучения при воздействии «огненного шара» (от нити магистрального газопровода до границы минимального безопасного расстояния) и, согласно ГОСТ Р 12.3.047 – 98, соотнесем их со степенью поражения людей и вероятностью смертельного исхода. Полученные данные сведем в таблицу 5.

Таблица 5 – Величина теплового излучения в зависимости от расстояния от оси газопровода

| Расстояние от оси газопровода, м | Интенсивность теплового излучения, кВт/м <sup>2</sup> | Доза теплового излучения, Дж/м <sup>2</sup> (q·t <sub>s</sub> ) | Степень поражения [17] | Вероятность смертельного исхода |
|----------------------------------|---|---|------------------------|---------------------------------|
| 250-300                          | 0,37  | 2563  | —                      | 10 <sup>-8</sup>                |
| 200-250                          | 0,59  | 4083  | —                      |                                 |

| Расстояние от оси газопровода, м | Интенсивность теплового излучения, кВт/м <sup>2</sup> | Доза теплового излучения, Дж/м <sup>2</sup> (q·t <sub>s</sub> ) | Степень поражения [17] | Вероятность смертельного исхода |
|----------------------------------|---|---|------------------------|---------------------------------|
| 150-200                          | 1,2   | 8304  | —                      | 10 <sup>-7</sup>                |
| 100-150                          | 2,76  | 19099   | —                      | 10 <sup>-6</sup>                |
| 75-100                           | 8,19  | 56678   | —                      | 10 <sup>-4</sup>                |
| 50-75                            | 16,24   | 112380  | Ожоги первой степени   | 10 <sup>-2</sup>                |
| 30-50                            | 35,34   | 244553  | Ожоги второй степени   | 10 <sup>-1</sup>                |
| 10-30                            | 66,81   | 462336  | Ожоги третьей степени  |                                 |
| 0-10                             | 112,18  | 776286  | Смертельное поражение  | 1                               |

На основании таблицы 5 для большей наглядности построим график зависимости дозы теплового излучения от расстояния до оси газопровода (рис. 15).



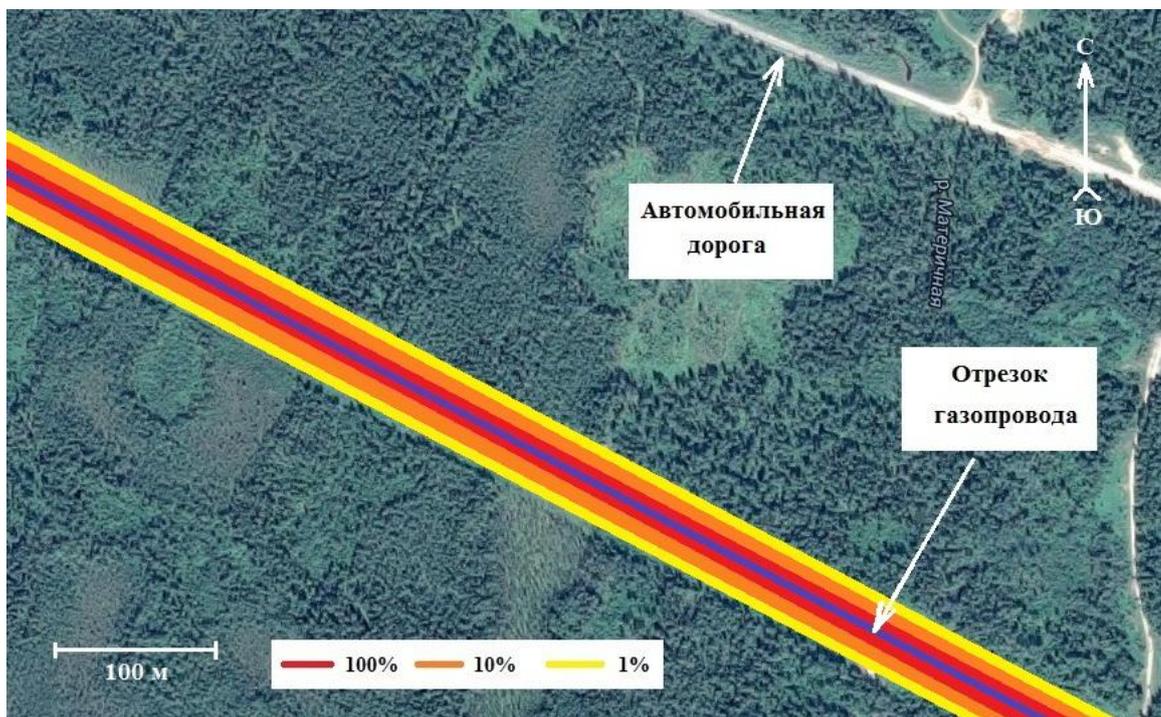
**Рисунок 15 – Зависимость дозы теплового излучения от расстояния оси газопровода**

Таким образом, минимальное безопасное расстояние согласно СНиП 2.05.06-85\*, которое в нашем случае равно 300 м, достаточно для того, чтобы минимизировать риск смертельного исхода при возникновении чрезвычайной

ситуации. В случае утечки газа и его возгорания доза теплового излучения на границе этого участка составит порядка  $2,5 \text{ кДж/м}^2$ , что не может нести никакой отрицательной нагрузки на организм человека.

На всем своем протяжении газопровод «Парабель – Чажемто» имеет просеку шириной от 50 до 75 метров. Это значит, что полученные нами данные применимы ко всем типовым участкам этого газопровода в радиусе 75 метров от его оси. Полученные вероятности смертельного исхода для радиуса более 75 метров могут быть завышены, ведь лесной массив играет роль экрана и может ограждать от воздействия теплового излучения, а значит, и снижать последствия ее воздействия на человека.

Для иллюстрации вышеизложенного изобразим схему потенциального территориального риска при действии дозы теплового излучения на участке газопровода «Парабель – Чажемто» с указанием вероятности наступления смертельного исхода (рис. 16).



**Рисунок 16 – Зона потенциального территориального риска линейного газопровода «Парабель – Чажемто»**

#### **4.4 Разработка методологии проведения анализа рисков на линейном газопроводе**

Изучив процесс функционирования линейного газопровода с детальным изучением типовых участков трубопровода «Парабель-Чажемто», мы получили следующие расчетные величины пожарных рисков для этих участков:

- участок газопровода на возвышенности –  $1,4 \cdot 10^{-4}$  год<sup>-1</sup>;
- участок газопровода на оползневых участках –  $1,3 \cdot 10^{-2}$  год<sup>-1</sup>;
- участок газопровода в торфяной местности –  $1,2 \cdot 10^{-2}$  год<sup>-1</sup>;
- участок газопровода в болотистой местности –  $1,2 \cdot 10^{-2}$  год<sup>-1</sup>;
- участок газопровода при переходе русла реки –  $1,3 \cdot 10^{-2}$  год<sup>-1</sup>.

В дальнейшем, исследуя любой другой участок линейного газопровода, можно проводить детализацию и рассматривать его отдельные участки. При расчете пожарного риска можно использовать полученные нами расчетные величины аналогичных типовых участков. Таким образом, составим унифицированный алгоритм расчета пожарных рисков магистрального газопровода (рис. 17).

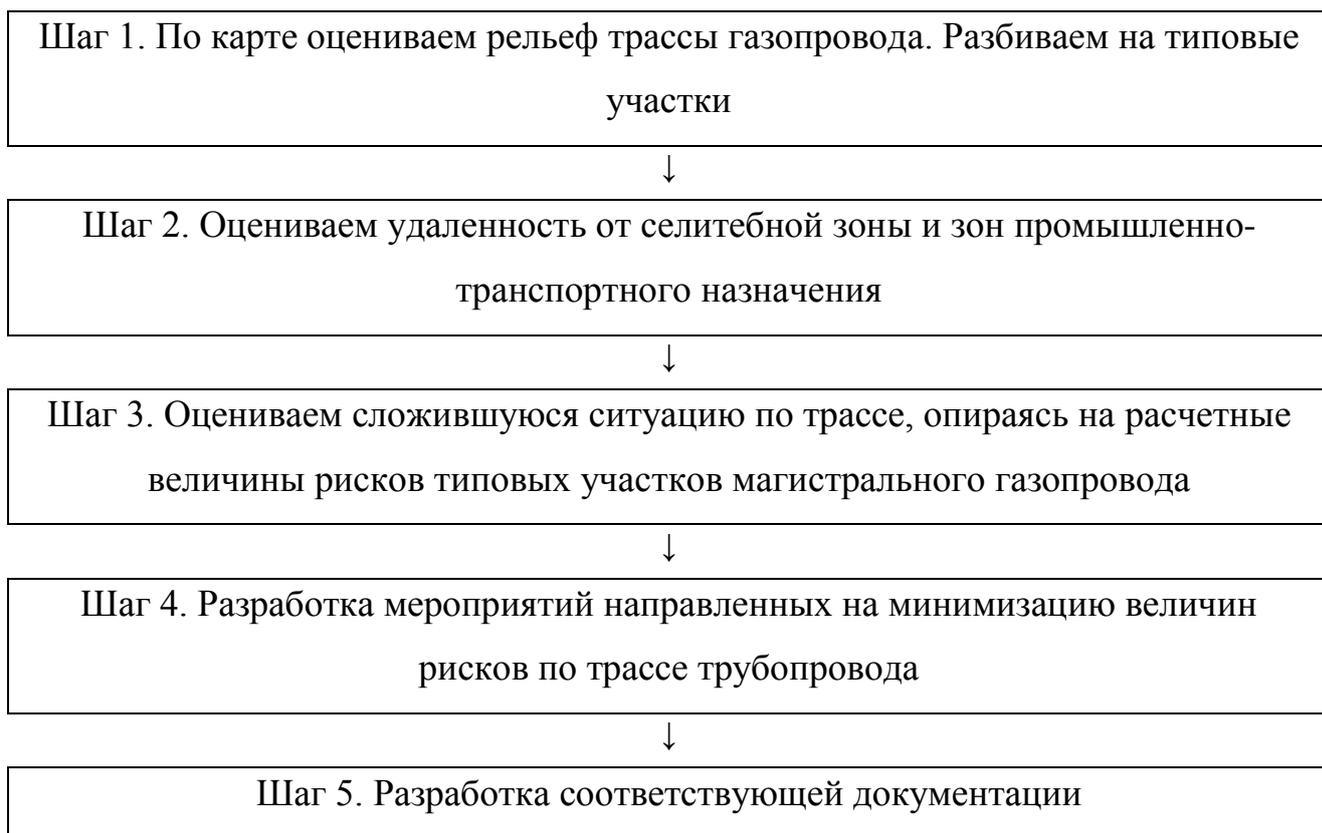
На первом этапе необходимо провести топографическую оценку местности, рассмотреть особенности рельефа, климата и способность к сейсмоустойчивости. Провести деление трассы газопровода на составные типовые участки и детально изучить каждый из них.

Далее оцениваем удаленность оси газопровода от селитебной зоны и зон промышленно-транспортного назначения. Согласно СНиП 2.05.06-85\* устанавливаем минимальные безопасные расстояния, зависящие от класса газопровода (рабочего давления и диаметра трубы).

На третьем этапе проводим анализ типичных иницирующих событий на трассе газопровода с расчетом вероятностей их возникновения. Опираясь на полученные расчетные величины рисков, оцениваем сложившуюся ситуацию на участке газопровода, рассчитываем зону потенциального территориального риска в случае возникновения ЧС и соотносим ее с установленным минимальным безопасным расстоянием.

После анализа сложившейся ситуации необходимо разработать и осуществить комплекс возможных мероприятий, направленных на устранение, либо минимизацию величин рисков, связанных с рассматриваемым участком газопровода. Превентивные меры могут заключаться как в изучении особенностей технологического процесса с целью исправления допущенных ошибок, так и в установке дополнительных средств защиты от воздействия природного и человеческого характера.

Финальный этап разработки алгоритма расчета пожарных рисков на линейном газопроводе заключается в разработке паспорта безопасности объекта и соответствующей проектно-сметной документации, включающей в себя пояснительную записку, конструктивные и объемно-планировочные решения, требования к обеспечению полной безопасной эксплуатации объекта, проект организации строительства объекта и т.д.



**Рисунок 17 – Схема алгоритма расчета пожарных рисков линейного газопровода**

#### **4.5 Разработка предложений по повышению технологической безопасности на линейном газопроводе**

Для предупреждения развития аварий и локализации выбросов (сбросов) опасных веществ на газопроводе можно предусмотреть следующие мероприятия:

Для обеспечения минимального количества опасных веществ, выходящих в окружающую среду при аварии, предусмотреть возможность отключения участка с помощью запорной арматуры с дистанционным и ручным управлением, установленной на входе-выходе с участка.

При развитии аварийной ситуации на наиболее опасном участке, предусмотреть сброс в атмосферный воздух через продувочные свечи (с дистанционным запалом) газа из поврежденного газопровода.

### **5. ПОСТРОЕНИЕ ЗОНЫ АКТИВНОЙ МОЛНИЕЗАЩИТЫ**

Прямые удары молнии могут стать одной из причин взрыва на трассе газопровода. Вероятнее всего это может произойти в местах, где трубы газопровода выходят на поверхность, а именно на территории компрессорных станций «Парабель» и «Чажемто». Поэтому необходимо провести молниезащиту этого участка газопровода.

Молниезащитой называют 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.

Для обеспечения абсолютной защиты труб газопровода от воздействия молний мы предлагаем установить активные молниеприемники, которые способны не просто принимать удар молнии, но и отводить его в сторону от защищаемого объекта. Основным недостатком пассивных систем молниезащиты заключается в том, что они ждут удара молнии. Активный вариант

молниезащиты обнаруживает заранее возможность удара молнии и не допускает разряда через молниеотвод, принуждая разряд пройти через молниеотвод.

### 5.1 Оценка количества попаданий молнии в трубу газопровода

Ожидаемое количество поражений в год определяют по формуле [18]:

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

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  $1 \text{ км}^2$  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 18. Зона представлена двускатной плоскостью с приставленными полуконусами на границах. Горизонтальное сечение области защиты на высоте объекта защиты  $h_x$  представлено прямоугольником с полукругами радиусом  $r_x$ , которые приставлены к малым сторонам этого прямоугольника. Если мы знаем высоту опор  $h_{оп}$  и длину пролета  $a$  с учетом провиса тросов сечением от 35 до 50  $\text{мм}^2$ , то можно определить высоту троса:

$$h = h_{оп} - 2, \text{ при } a < 120 \text{ м}, \quad (7)$$

$$h = h_{оп} - 3 \text{ при } 120 < a < 150, \quad (8)$$

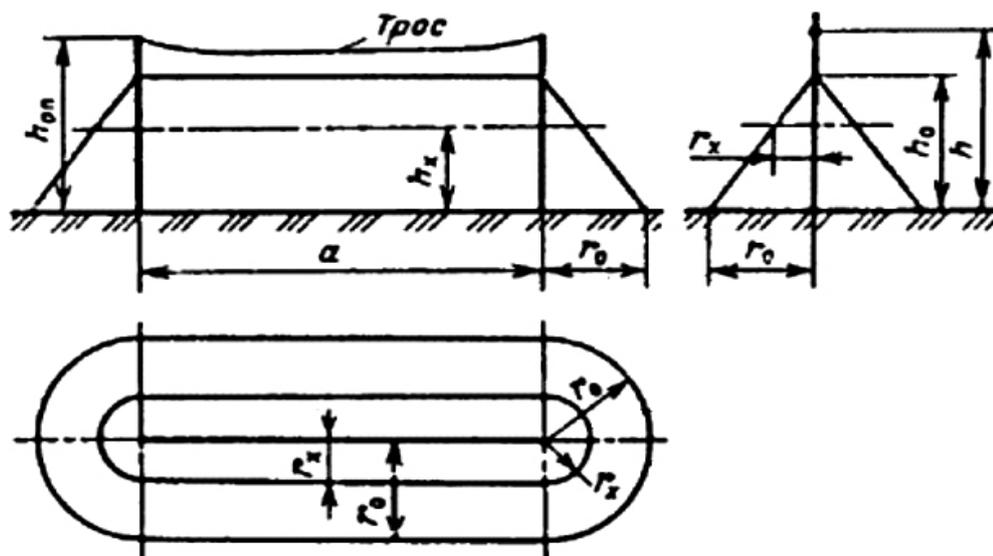


Рисунок 18 – Область защиты одиночного тросового молниеотвода [18]

Область защиты одиночного тросового молниеотвода выполняется в следующих габаритных размерах:

$$h_0 = 0,92 \cdot h, \quad (9)$$

$$r_0 = 1,7 \cdot h, \quad (10)$$

Зная значения высоты самого высокого здания и половину ширины защищаемой территории, можно определить высоту одиночного тросового молниеотвода:

$$h = (r_x + 1,85 \cdot h_x) / 1,7 \quad (11)$$

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

$$r_x = S / 2 \quad (12)$$

Тогда  $r_x = 150 / 2 = 75$  м. Определим высоту тросового молниеотвода по формуле  $h = (75 + 1,85 \cdot 10) / 1,7 = 55$  м.

Пролет троса имеет длину  $a = 150$  м.

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

Тогда зона защиты имеет высоту  $h_0 = 0,92 \cdot 55 = 50,6$  м, а ее радиус на уровне земли  $r_0 = 1,7 \cdot 55 = 93,5$  м.

Поскольку длина нашей зоны защиты составляет 400 м, то для защиты всей территории компрессорной станции необходимо установить две конструкции молниеотвода. Конструкция из 4-х железобетонных подножников одновременно служит фундаментом и заземлителем.

Итак, параметры конструкции молниеотводов выглядят следующим 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**

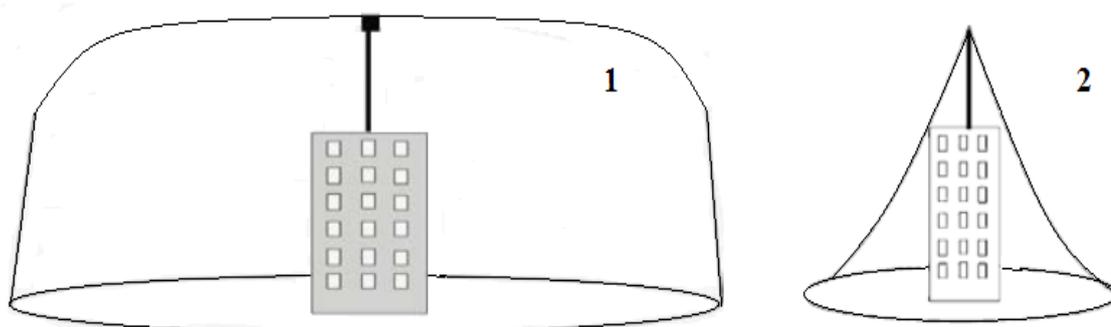
Работа системы активной молниезащиты осуществляется за счет разности потенциалов, которые образуются между поверхностью земли и грозовым облаком. Как только напряженность электрического поля достигнет критического значения, молниеприемник издает опережающий разряд в сторону молнии, так, что если молния возникнет, то молниеприемник обязательно ее поймает и отведет в землю. Так образом обеспечивается защита сооружений, объектов и зданий.

Установка активной молниезащиты не прописана законодательством, но ее применение повышает надежность защиты от молний до ста процентов. Пассивный тип защиты от молниевых ударов может гарантировать перекрытие лишь малой доли ударов молний равной приблизительно 5%. Таким образом, необходимо дополнить рассчитанную нами конструкцию тросового молниеотвода активным молниеприемником (рис. 19), например, системой Forend.



**Рисунок 19 – Штыревой элемент активной молниезащиты Forend**

Если сравнить эффективность активной и пассивной молниезащиты, то можно заметить, что зона защиты активного молниеприемника многократно превосходит зону защиты обычного штыревого. При активной молниезащите все объекты территории, антенны и архитектурные элементы крыши, находящиеся в зоне защиты активного молниеприемника, охвачены так называемой эллипсообразной сферой в виде «капсулы» (рис. 20). Пассивная молниезащита покрывает лишь пространство в окрестности молниеотвода ограниченной геометрии, в зону защиты которого входит только объект, размещенный в его объеме. Поэтому радиус защиты меньше примерно в 8 раз, чем у активной системы молниезащиты.



**Рисунок 20 – Схема защиты активной (1) и пассивной (2) систем молниезащиты [19]**

Радиус действия одного молниеотвода активной системы молниезащиты равен порядка 110 метров, это значит, что система из четырех активных молниеотводов полностью перекроет территорию нашей компрессорной станции и минимизирует риск возникновения ЧС от удара молнии до нуля. Кроме того, активная молниезащита не требует дальнейшего обслуживания в процессе эксплуатации, имея срок службы более 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 6 приведены радиусы защищаемой зоны в зависимости от высоты установки молниеотвода и надёжности защиты, где:

$h$  — высота до вершины молниеотвода, м;

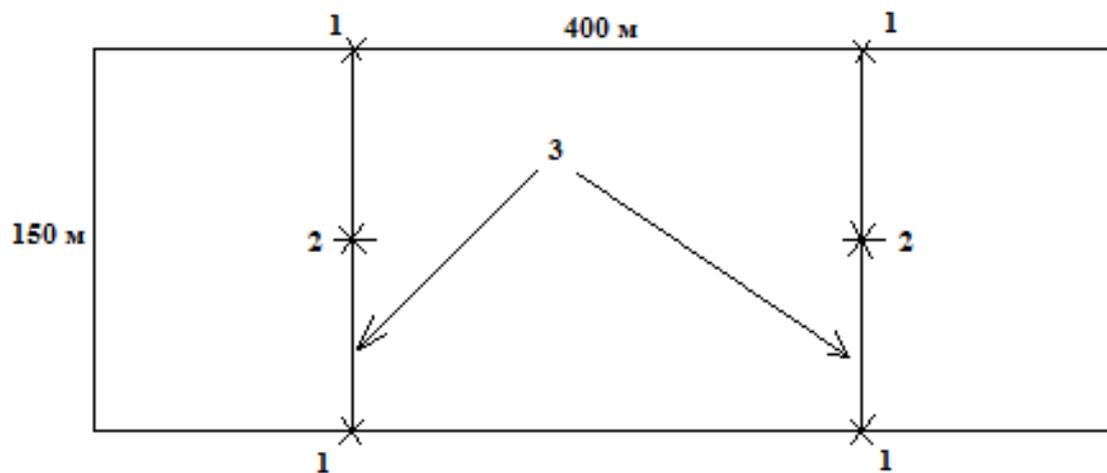
$R_0$  — радиус зоны защиты объекта на уровне земли, м;

Таблица 6 – Зависимость радиуса зоны защиты от высоты молниеотвода

| $h, \text{ м}$ | Радиус защиты $R_0, \text{ м}$ |           |           |
|----------------|--------------------------------|-----------|-----------|
|                | 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 было бы целесообразно установить две конструкции молниеотвода. Таким образом, в зависимости от требуемого

уровня защиты, можно выбрать необходимый вариант конструкции активного молниеприемника. Например, установка двух активных молниеотводов высотой 58 метров на рассматриваемой нами компрессорной станции создаст щит для всей ее территории с вероятностью защиты 98 % (рис. 21).



**Рисунок 21 – Схема молниезащиты территории компрессорной станции**  
**1 – опорка пассивной молниезащиты; 2 – опорка активного молниеотвода; 3 – трос пассивной молниезащиты**

## 6. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

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

#### 6.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Исследования, проводимые в данной выпускной работе, являются инициативными в рамках научно-исследовательской работы для предприятий ООО «Газпром». Следовательно, потенциальными потребителями результатов этого исследования являются предприятия нефтегазовой промышленности, расположенные как на территории Российской Федерации, так и за ее пределами.

Проведем сегментирование рынка услуг по разработке алгоритма расчета пожарного риска для линейного трубопровода по следующим критериям: размер предприятия нефтегазовой промышленности – существующие способы расчета пожарного риска.

Таблица 6 – Карта сегментирования рынка услуг по разработке алгоритма расчета пожарного риска для линейного трубопровода

|                 |         | Способы расчета пожарного риска   |   |  |   |
|-----------------|---------|---|---|--|---|
|                 |         | Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей | Методика определения ущерба окружающей природной среде при авариях на магистральных нефтепроводах | Методическое руководство по оценке степени риска аварий на магистральных нефтепроводах | Алгоритм расчета пожарного риска линейного трубопровода |
| Размер компании | Крупные | +   | +   | +  | +   |
|                 | Средние | +   | -   | -  | +   |
|                 | Малые   | -   | -   | -  | +   |

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

Как видно из приведенной карты сегментирования, алгоритм расчета пожарного риска линейного трубопровода является наиболее универсальным для расчета пожарных рисков магистральных трубопроводов и может использоваться компаниями всех размеров, а так же является наиболее простым в использовании.

### 6.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Проведем данный анализ с помощью оценочной карты, приведенной ниже.

Таблица 7 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

| Критерии  | Вес критерия | Баллы          |                 |                 |                 | Конкурентоспособность |                 |                 |                 |
|---|--------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|   |              | Б <sub>ф</sub> | Б <sub>к1</sub> | Б <sub>к2</sub> | Б <sub>к3</sub> | К <sub>ф</sub>        | К <sub>к1</sub> | К <sub>к2</sub> | К <sub>к3</sub> |
| 1   | 2            | 3              | 4               | 5               | 6               | 7                     | 8               | 9               | 10              |
| <b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b> |              |                |                 |                 |                 |                       |                 |                 |                 |
| 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            |
| Предоставляемые возможности                             | 0,17         | 3              | 3               | 2               | 4               | 0,51                  | 0,51            | 0,34            | 0,68            |
| <b>Экономические критерии оценки эффективности</b>      |              |                |                 |                 |                 |                       |                 |                 |                 |
| 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<sub>ф</sub> - методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей; Б<sub>к1</sub> - методика определения ущерба окружающей

природной среде при авариях на магистральных нефтепроводах;  $B_{к2}$ - методическое руководство по оценке степени риска аварий на магистральных нефтепроводах;  $B_{к3}$  - алгоритм расчета пожарного риска линейного трубопровода.

Анализ конкурентных технических решений определили по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i \quad (13)$$

где  $K$  – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

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

$B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

Опираясь на полученные результаты, можно сказать, что алгоритм расчета пожарного риска линейного трубопровода является наиболее эффективным и универсальным способом для расчета пожарного риска для магистрального трубопровода. Уязвимость конкурентов объясняется несколькими причинами, а именно: дополнительными исследованиями для получения достоверных результатов, использованием дополнительного оборудования, наличием узких специалистов для работ с данными методиками на предприятии и т.д.

### **6.1.3 SWOT-анализ**

SWOT – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT- анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта [20].

Для того что бы найти сильные и слабые стороны алгоритма расчета пожарного риска линейного трубопровода и методов-конкурентов, проведем SWOT–анализ.

Таблица 8 – Матрица SWOT

|   |   |  |
|---|---|--|
|   | <p><b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b><br/> С1. Принципиально новая методика<br/> С2. Наличие опытного руководителя<br/> С3. Способность разрабатываемого метода быть применимым к мало изученным веществам и материалам.<br/> С4. Актуальность разработки.<br/> С5. Не требует уникального оборудования.</p>   | <p><b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b><br/> Сл1. Применение проекта только для нефтеперерабатывающей промышленности.<br/> Сл2. Возможность появления новых методов.<br/> Сл3. Не испытан в работе.<br/> Сл4. Медленный процесс вывода на рынок новой методики.<br/> Сл5. Многостадийность методики.</p> |
| <p><b>Возможности:</b><br/> В1. Возможность создания партнерских отношений с рядом исследовательских институтов.<br/> В2. Большой потенциал применения алгоритма расчета пожарного риска линейного трубопровода в России.<br/> В3. Возможность выхода на внешний рынок.<br/> В4. Рост потребности в обеспечении безопасности технологического-производственного процесса.<br/> В5. В случае принятия рынком выход на большие объемы</p> | <p>Актуальность разработки, опытный руководитель и принципиально новая разработка дает возможность сотрудничать с рядом ведущих исследовательских институтов;<br/> Большой потенциал применения алгоритма, а также возможность выхода на внешний рынок обуславливаются принципиально новой методикой, способностью новой разработки к применению с мало изученными веществами и материалами, актуальностью разработки;<br/> Рост потребности в обеспечении безопасности технологического-производственного процесса возможен за счет принципиально новой разработки, не требующей использования специального оборудования;<br/> За счет новизны и принципиальных отличий возможен выход на большие объемы применения данного алгоритма.</p> | <p>Возможность наличия партнерских отношений с исследовательскими институтами в испытании алгоритма в работе</p>   |

|   |  |  |
|---|--|--|
| <p><b>Угрозы:</b><br/> У1. Отсутствие спроса на алгоритм расчета пожарного риска линейного трубопровода на производстве.<br/> У2. Противодействие со стороны конкурентов: снижение цен, усовершенствование текущих методов.<br/> У3. Захват внутреннего рынка иностранными компаниями.<br/> У4. Закрытие нефтегазоперерабатывающих предприятий на территории РФ.<br/> У5. Подробное изучение термодинамических характеристик используемых веществ и материалов.</p> | <p>Принципиально новая методика и актуальность разработки не сказываются в интересе к методике определения пожарного риска линейного трубопровода;<br/> 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 методики определения пожарного риска 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 9

| 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 сильные сторон и возможности: B1C1C2C4, B2B3C1C3C4, B4C1C4, B5C1.

Таблица 10

| 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: B1Cл3.

Таблица 11

| Сильные стороны проекта |    |    |    |    |    |    |
|-------------------------|----|----|----|----|----|----|
|                         |    | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 |
| Угрозы проекта          | 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 12

| Слабые стороны проекта |    |     |     |     |     |     |
|------------------------|----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                        |    | Сл1 | Сл2 | Сл3 | Сл4 | Сл5 |
| Угрозы проекта         | 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.

## 6.2 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

Идея работы заключается в разработке алгоритма расчета пожарного риска линейного трубопровода для предприятий нефтегазоперерабатывающей промышленности. Выше было обосновано, что данный метод является наиболее эффективным и универсальным, позволяющим работать даже с малоизученными веществами и материалами, используемыми в этой отрасли, а также учитывает факторы окружающей среды. Поэтому используем морфологический подход именно к этой методологии.

Таблица 13 – Морфологическая матрица для алгоритма расчета пожарного риска линейного трубопровода

|                 | 1      | 2       | 3        | 4         |
|-----------------|--------|---------|----------|-----------|
| А. Визуализация | График | Формулы | Числовая | Текстовая |

| результатов  |               |                | информация      | 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 (Исп.1) – 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 (Исп.2) – во втором случае алгоритм позволяет представить конечный результат в виде чисел, расчет данных требует больших временных затрат, для определения признаков горения требует 2 или 3 косвенных признака, рабочий язык программы – русский, использована структурная математическая модель, предусмотрен ручной ввод исходных данных.

3) А1Б2,3,4В4Г4Д3Е2,3,4 (Исп.3) – 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.

## 6.3 Планирование научно-исследовательских работ

### 6.3.1 Структура работ в рамках научного исследования

Таблица 14 – 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                       |

### 6.3.2 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[21,22]:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (14)$$

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

$t_{\min i}$  – 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 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{ч_i}, \quad (15)$$

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.

### 6.3.3 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:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал}, \quad (16)$$

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:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}}, \quad (17)$$

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

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

$T_{\text{пр}}$  – 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:

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

$$k_{\text{кал}}=1,48.$$

Все полученные значения заносим в таблицу (табл. 15).

После заполнения таблицы 15 строим календарный план-график (табл. 16). 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 15 – Временные показатели проведения научного исследования

| Название работы  | Грудоемкость работ  |        |        |                     |        |        |                     |        |        | Исполнители  | Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$ |        |        | Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$ |        |        |
|--|---------------------|--------|--------|---------------------|--------|--------|---------------------|--------|--------|--------------|--|--------|--------|--|--------|--------|
|  | $t_{min}$ , чел-дни |        |        | $t_{max}$ , чел-дни |        |        | $t_{ожж}$ , 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 |              |  |        |        |  |        |        |
| 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 16 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

| №<br>Работ | Вид работ  | Исполнители              | Т <sub>кi</sub> ,<br>кал.<br>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,<br>Студент | 3                                |                                    |   | ▨<br>■ |        |   |   |     |   |        |   |  |
| 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,<br>Студент | 4                                |                                    |   |        |        |   |   |     |   | ▨<br>■ |   |  |
| 10         | Согласование полученных данных с научным руководителем | Руководитель,<br>Студент | 2                                |                                    |   |        |        |   |   |     |   | ▨<br>■ |   |  |
| 11         | Оценка эффективности полученных результатов            | Студент                  | 4                                |                                    |   |        |        |   |   |     |   | ■      |   |  |
| 12         | Работа над выводами                                    | Студент                  | 3                                |                                    |   |        |        |   |   |     |   |        | ■ |  |
| 13         | Составление пояснительной записки к работе             | Студент                  | 7                                |                                    |   |        |        |   |   |     |   |        | ■ |  |

■ – студент; ▨ – научный руководитель.

### 6.3.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

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

#### 6.3.4.1 Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расxi}, \quad (18)$$

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

$N_{расxi}$  – количество материальных ресурсов  $i$ -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м<sup>2</sup> и т.д.);

$C_i$  – цена приобретения единицы  $i$ -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м<sup>2</sup> и т.д.);

$k_T$  – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Транспортные расходы принимаются в пределах 15-25% от стоимости материалов [23]. Данные по материальным затратам, приведенным ниже, взяты по прейскуранту цен сети магазинов «Книжный мир» г. Томск за май 2016 год.

Таблица 17 – Материальные затраты

| Наименование              | Единица измерения | Количество |       |       | Цена за ед., руб. |       |       | Затраты на материалы, (Z <sub>м</sub> ), руб. |        |        |
|---------------------------|-------------------|------------|-------|-------|-------------------|-------|-------|---|--------|--------|
|                           |                   | 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 |

#### 6.3.4.2 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.

### 6.3.4.3 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. Расчет основной заработной платы сводится в табл. 18.

Таблица 18 – Расчет основной заработной платы

| № п/п | Наименование этапов                                    | Исполнители по категориям | Трудоемкость, чел.-дн. |       |       | Зарботная плата, приходящаяся на один чел.-дн., тыс. руб. |       |       | Всего заработная 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                 | Руководитель              | 2                      | 2     | 2     | 3,6   | 3,6   | 3,6   | 7,2   | 7,2   | 7,2   |
| 2.    | Выдача задания по тематике проекта                     | Руководитель, 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 | Руководитель, 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     |

Продолжение таблицы 18

|        |  |                          |   |     |     |     |     |     |      |      |      |
|--------|--|--------------------------|---|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|
| 9.     | Выбор наиболее подходящей и перспективной методики     | Руководитель,<br>Студент | 3 | 1,5 | 3   | 4,4 | 4,4 | 4,4 | 13,2 | 5,9  | 13,2 |
| 10.    | Согласование полученных данных с научным руководителем | Руководитель,<br>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).

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (19)$$

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:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}, \quad (20)$$

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.

#### 6.3.4.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}), \quad (21)$$

где  $k_{внеб}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.) [24].

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 19 – 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.                   |       |       |                                      |       |       |

#### 6.3.4.5 Накладные расходы

Величина накладных расходов определяется по формуле:

$$Z_{накл} = (\sum \text{статей}) \cdot k_{нр}, \quad (22)$$

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

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

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

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

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

### 6.3.4.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Таблица 20 – Расчет бюджета затрат НИИ

| Наименование статьи  | Сумма, руб. |          |          | Примечание           |
|--|-------------|----------|----------|----------------------|
|  | Исп.1       | Исп.2    | Исп.3    |                      |
| 1. Материальные затраты НИИ  | 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 НИИ   | 119828      | 114714,5 | 132863,3 | Сумма ст. 1- 6       |

### 6.4 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:

$$I_{финр}^{исп\ i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}}, \quad (23)$$

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

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

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

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

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

$$I_{pi} = \sum a^i \cdot b^i, \quad (24)$$

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. 21).

Таблица 21 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

| Объект исследования<br>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  |

$$I_{p-исп1} = 5 \times 0,2 + 5 \times 0,3 + 4 \times 0,05 + 4 \times 0,15 + 5 \times 0,1 + 5 \times 0,2 = 4,8$$

$$I_{p-исп2} = 3 \times 0,2 + 3 \times 0,3 + 5 \times 0,05 + 4 \times 0,15 + 4 \times 0,1 + 4 \times 0,2 = 3,55$$

$$I_{p-исп3} = 3 \times 0,2 + 4 \times 0,3 + 3 \times 0,05 + 2 \times 0,15 + 3 \times 0,1 + 3 \times 0,2 = 3,15$$

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

$$I_{исп.i} = \frac{I_{р-исп.i}}{I_{финр.i}}, \quad (25)$$

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

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (см.табл.18) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ( $\mathcal{E}_{ср}$ ):

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{исп.i}}{I_{исп.max}} \quad (26)$$

Таблица 22 – 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 разработка алгоритма в первом исполнении является более эффективным вариантом решения задачи, поставленной в данной работе с позиции финансовой и ресурсной эффективности, далее следует исполнение 2, исполнение 3.

## 7. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

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: 6x5x3м. 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 м<sup>2</sup>.

## **7.1 Производственная безопасность**

### **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 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 м<sup>2</sup>.

Аудитории, имеющие рабочие места с персональными компьютерами, оборудуются защитным заземлением. Кроме того, в них обязательно проводится регулярная влажная уборка и производится проветривание по прошествии 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 23 – Время регламентированных перерывов

| Категория<br>работы с ПК | Уровень нагрузки за рабочую<br>смену при видах работы с ПК |                               |                   | Суммарное время<br>регламентированных<br>перерывов, мин. |                             |
|--------------------------|--|-------------------------------|-------------------|--|-----------------------------|
|                          | Группа А,<br>кол-во<br>знаков                              | Группа Б,<br>кол-во<br>знаков | Группа<br>В, час. | При 8-<br>часовой<br>смене                               | При 12-<br>часовой<br>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 24. Они устанавливаются СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03.

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

Таблица 24 – Допустимые нормы ЭМП

| <b>Наименование параметров</b>                    |                                    | <b>ВДУ ЭМП</b> |
|---|------------------------------------|----------------|
| 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**

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 1 согласно [25].

Таблица 28 – 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 [26, 29]:

$$\Phi = \frac{E \cdot K \cdot S \cdot Z}{N \cdot \eta} \quad (27)$$

где  $\Phi$  - световой поток каждой из ламп (лм);

$E$  - номинальная освещенность (лк);

$K$  - коэффициент запаса (табл. 6) [26, 29];

$N$  - количество ламп в помещении;

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

$S$  - площадь помещения;

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

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

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

$$i = \frac{S}{h(A+B)} \quad (28)$$

где  $A$  - длина помещения,  $A=6$  м;

$B$  - ширина помещения,  $B=5$  м;

$S$  - площадь помещения,  $S=30$  м<sup>2</sup>;

$h=H-h_{cs}-h_{pn}$  - высота подвеса ламп;  $H$  – высота помещения;  $h_{pn}$  – высота рабочей поверхности;  $h_{cs}$  –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 [26, 29].

$L/h=1,4$ , 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. 22).

Возьмем число светильников равное  $N = 8$ .

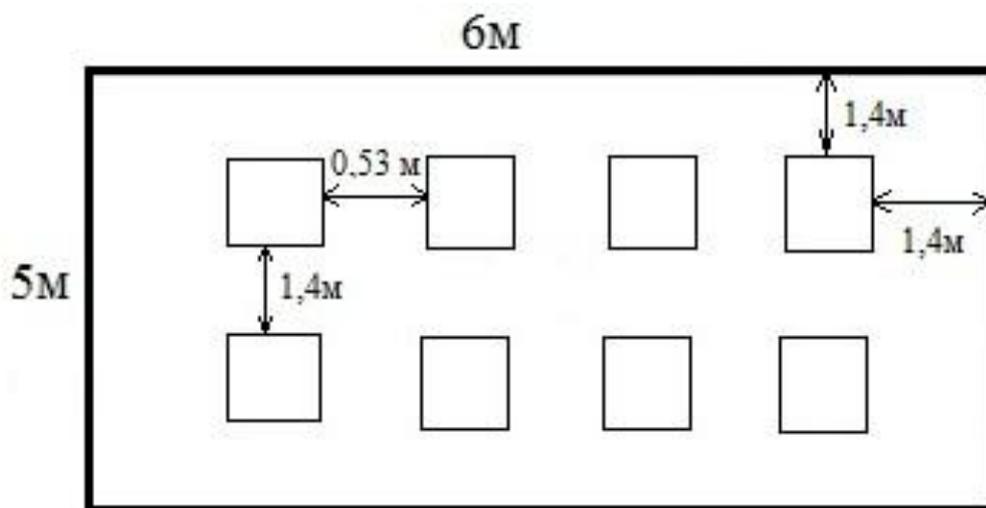


Рисунок 22 – Схема расположения светильников

По рассчитанному  $i$  выберем согласно таблице, приведенной в [26, 29],  $\eta = 55\%$ . 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[26, 29] подбираем близкую по характеристике лампу ЛБ мощностью 20 Вт и световым потоком 1200лм.

Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{л.станд.}} - \Phi_{\text{л.расч.}}}{\Phi_{\text{л.станд.}}} \cdot 100\% \leq +20\% \quad (29)$$

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 [27].

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) [28].

## **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.

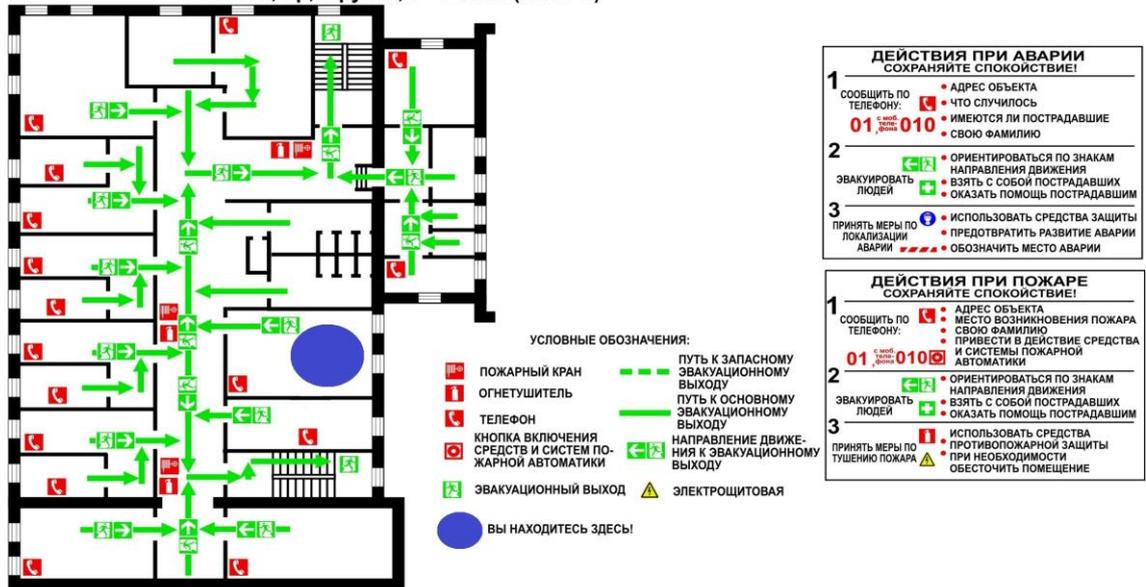
### **7.3.1 Действия при возникновении пожара**

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. 23).

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



**Рисунок 23 – 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

В данной магистерской диссертации были рассмотрены вопросы обеспечения безопасной транспортировки природного газа в России, рассмотрены особенности в системе обеспечения безопасности линейных газопроводов. Проведя технологическую характеристику магистрального газопровода «Парабель-Чажемто», проведен анализ аварийных ситуаций на данном участке газопровода.

Кроме того, был проведен анализ пожарного риска, включающий:

- идентификацию опасностей, а именно, выделение основных присущих процессу транспортировки газа опасностей;
- анализ вероятности главного события в виде истечения газа из системы на участке газопровода;
- оценку воздействия опасных факторов на людей.

В результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

Изучение функционирования линейного газопровода на участке «Парабель – Чажемто» показало, что газопровод можно разбить на 6 типовых участков.

Проведена детализация типовых участков магистрального газопровода. Построены вариофикационные модели событий для типовых участков магистрального газопровода.

Проведен расчет рисков типовых участков магистрального газопровода. Определены зоны потенциального территориального риска линейного газопровода «Парабель – Чажемто».

Разработан алгоритм расчета пожарных рисков линейного трубопровода для ООО «Газпром».

Для предупреждения развития аварий и локализации выбросов (сбросов) опасных веществ на газопроводе можно предусмотреть следующие мероприятия:

Для обеспечения минимального количества опасных веществ, выходящих в окружающую среду при аварии, предусмотреть возможность отключения участка с помощью запорной арматуры с дистанционным и ручным управлением, установленной на входе-выходе с участка.

При развитии аварийной ситуации на наиболее опасном участке, предусмотреть сброс в атмосферный воздух через продувочные свечи (с дистанционным запалом) газ из поврежденного газопровода.

Так же разработаны практические рекомендации для участка входа магистрального газопровода на компрессорную станцию. Предложено установить два активных молниеотвода высотой по 58 метров на рассматриваемой нами компрессорной станции, что создаст щит для всей ее территории с вероятностью защиты 98 %.

Проведено обоснование перспективного алгоритма расчета пожарных рисков линейного трубопровода, включая вопросы экономики.

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СТУДЕНТА

1. Гербель Д.П. Выявление рационального способа утилизации производственных отходов химико-фармацевтической промышленности // Неразрушающий контроль: сборник трудов V Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Неразрушающий контроль: электронное приборостроение, технологии, безопасность». В 2 т, Томск, 26-30 Мая 2014. – Томск: ТПУ, 2014 – Т. 2 – С.195-198.

2. Гербель Д.П. , Фрянова К.О. 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.

3. 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.

4. Гербель Д.П. , Фрянова К.О. 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.

5. Гербель Д.П. , Фрянова К.О. Перспективы развития топливно-энергетического комплекса Кузбасса // 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. 196-198.

6. 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.

7. Гербель Д.П. , Фрянова К.О. 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.

8. Гербель Д.П. , Фрянова К.О. Определение параметров противопожарного разрыва конечных размеров в зависимости от характерных 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.

9. Гербель Д.П. , Фрянова К.О. 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. 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. Тагиев Р.М. Основные аспекты единой технической политики в области противопожарной защиты объектов ООО «Газпром». Средства спасения. Противопожарная защита. — М.: Каталог, 2001.
2. Анализ аварийных ситуаций на линейной части магистральных газопроводов [Электронный ресурс] URL: <http://ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1618>
3. Принципиальные схемы обустройства нефтегазовых объектов [Электронный ресурс] URL: <http://www.neftyanik-school.ru/studentam/uchebnye-kursy/course/15/20?start=1>
4. ВРД 39-1.10-006-2000 «Правила технической эксплуатации магистральных газопроводов».
5. СНиП 2.05.06-85\* «Магистральные трубопроводы».
6. СанПиН 2.2.1/2.1.1.984-00 «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов».
7. СНиП 23-01-99 «Строительная климатология».
8. А.Ф. Егоров, Т.В. Савицкая. Анализ риск, оценка последствий аварий и управление безопасностью химических, нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств: учебное пособие для вузов. — Москва: КолосС, 2010. — 528 с.
9. Классификация и сравнительная оценка факторов риска / В.Я.Онищенко. – Безопасность труда в промышленности, 1995год. – №7 – 23-27с.
10. Анализ риска и его нормативное обеспечение / В.Ф. Мартынюк. – Безопасность труда в промышленности. 1995 год. – №11 – 55-62 с.
11. Надёжность технических систем и оценка риска /Е. Дж. Хенли, Х. Кумамото; пер. с англ. – М.: Машиностроение, 1984год. – 528 с.

12. Основы теории надежности / А. М. Половко, С. В. Гуров; 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006 год. – 704 с.
13. Нормы технологического проектирования магистральных газопроводов: СТО Газпром 2-3.5-454-2010 – введ. 24.05.2010. М., 2010. – 175 с.
14. Сравнение результатов моделирования аварийных выбросов опасных веществ с фактами аварий / С.И. Сумской, К.В. Ефремов, М.В. Лисанов, А.С. Софьин// Безопасность труда в промышленности. – 2008. – №10. – С. 42-50
15. Сравнение результатов расчета последствий аварийных выбросов опасных веществ по программным комплексам ТОКСИ+ и PHAST / М.В. Лисанов, К.В. Ефремов, С.И. Сумской, В.А. Пантелеев // Безопасность труда в промышленности. – 211. – №2 – С. 56-60
16. СТО Газпром 2-2.3-351-2009. Методические указания по проведению анализа риска для опасных производственных объектов газотранспортных предприятий ОАО «Газпром».
17. ГОСТ Р 12.3.047 – 98 «Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля».
18. РД 34.21.122.87 «Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений».
19. Сравнительная характеристика систем активной молниезащиты и классической [Электронный ресурс] URL: [http://molnii-net.ru/download/active\\_vs\\_pass.pdf](http://molnii-net.ru/download/active_vs_pass.pdf)
20. Кузьмина Е.А, Кузьмин А.М. Методы поиска новых идей и решений "Методы менеджмента качества" №1 2003 г.
21. Кузьмина Е.А, Кузьмин А.М. Функционально-стоимостный анализ. Экскурс в историю. "Методы менеджмента качества" №7 2002 г.
22. Основы функционально-стоимостного анализа: Учебное пособие / Под ред. М.Г. Карпунина и Б.И. Майданчика. - М.: Энергия, 1980. - 175 с.

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

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

### Раздел магистерской диссертации, выполненный на иностранном языке

Студент:

| Группа | ФИО                      | Подпись | Дата |
|--------|--------------------------|---------|------|
| 1EM41  | Гербель Дмитрий Павлович |         |      |

Консультант кафедры иностранных языков физико-технического института

| Должность | ФИО                          | Ученая степень, звание             | Подпись | Дата |
|-----------|------------------------------|------------------------------------|---------|------|
| Доцент    | Крицкая Надежда<br>Вадимовна | Кандидат<br>филологических<br>наук |         |      |

Консультант кафедры менеджмента института социально-гуманитарных технологий

| Должность                     | ФИО                        | Ученая степень, звание            | Подпись | Дата |
|-------------------------------|----------------------------|-----------------------------------|---------|------|
| Доцент кафедры<br>менеджмента | Петухов Олег<br>Николаевич | Кандидат<br>экономических<br>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 research results

The influence of environmental factors on constructions of the linear pipeline can result in emergency situations and accidents. It is necessary to pay separate attention to a condition of gas pipelines, the age of twenty percent of the linear pipeline makes more than thirty years.

The researchers conducted in this final work are initiative within research work for the enterprises of LLC Gazprom. Therefore, potential consumers of results of this research are enterprises of the oil and gas industry located both in the territory of the Russian Federation and beyond her limits.

We will carry out market segmentation of services in development of algorithm of calculation of fire risk for the linear pipeline by the following criteria: the size of the enterprise of the oil and gas industry – the existing ways of calculation of fire risk.

Table 1 – The card of market segmentation of services in development of algorithm calculation of fire risk for linear pipeline

|                     |          | 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 | Technique definition of damage to surrounding environment at accidents on the main oil pipelines | The methodical guide to an assessment degree of risk of accidents on the main oil pipelines | Algorithm calculation of fire risk of the linear pipeline |
| Size of the company | Large    | +  | +  | +   | +   |
|                     | Averages | +  | -  | -   | +   |
|                     | Small    | -  | -  | -   | +   |

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

Apparently from the given card of segmentation, the algorithm calculation of fire risk of the linear pipeline is the most universal for calculation of fire risks of the main pipelines 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 <sub>f</sub> | B <sub>k1</sub> | B <sub>k2</sub> | B <sub>k3</sub> | K <sub>f</sub>  | K <sub>k1</sub> | K <sub>k2</sub> | K <sub>k3</sub> |
| 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<sub>f</sub>-technique of assessment consequences of emergency explosions of fuel and air mixes; B<sub>k1</sub> – a technique of definition of damage to surrounding environment at accidents on the main oil pipelines; B<sub>k2</sub>- the methodical

guide to an assessment of degree of risk of accidents on the main oil pipelines;  $B_{k3}$ - 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, one may say, that the algorithm calculation of fire risk of the linear pipeline is the most effective and universal way for calculation of fire risk for the main pipeline. 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 and development project. SWOT- analysis is used to study the external and internal context of the project.

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

Table 3 – SWOT matrix

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

|  |   |  |
|--|---|--|
| <p><b>Opportunities:</b></p> <p>B1. A possibility of creation partnership with a number of research institutes.</p> <p>B2 High potential application of algorithm calculation of fire risk of the linear pipeline in Russia.</p> <p>B3. Possibility of an exit to a foreign market.</p> <p>B4. Growth of need for technology-production safety.</p> <p>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;</p> <p>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;</p> <p>Growth of need for safety of technology-production is possible due to essentially new algorithm which isn't demanding use of the special equipment;</p> <p>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><b>Threats:</b></p> <p>U1. Lack of demand for algorithm calculation of fire risk of the linear pipeline on production.</p> <p>U2. Counteraction from competitors: reduction of prices, improvement of the current methods.</p> <p>U3. Capture of domestic market by foreign competitors.</p> <p>U4. Closing of oil and gas processing complexes in the territory of the Russian Federation.</p> <p>U5. Detailed studying of thermodynamic characteristics of the used substances and materials.</p> | <p>Essentially new technique and relevance of development don't affect in interest in a technique of definition of fire risk of the linear pipeline; 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 of demand for techniques of definition of fire risk of 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 |    |    |    |    |    |    |
|--------------------------|----|----|----|----|----|----|
|                          |    | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 |
| Opportunities project    | 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 |    |     |     |     |     |     |
|---------------------------|----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                           |    | S11 | S12 | S13 | S14 | S15 |
| Opportunities project     | B1 | 0   | 0   | +   | 0   | 0   |
|                           | B2 | -   | -   | 0   | 0   | 0   |
|                           | B3 | 0   | -   | -   | -   | 0   |
|                           | B4 | 0   | 0   | 0   | -   | 0   |
|                           | B5 | -   | -   | -   | 0   | 0   |

The analysis of the interactive table allows to reveal the following correlating weaknesses and an opportunity: B1S13.

Table 6

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

The analysis of the interactive table allows 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   | -   | -   | -   |

The analysis of the interactive table allows to reveal the following correlating weaknesses and threats: Y1S14.

## 2. Identification of possible alternatives of research investigation

The idea of the work consists in development of algorithm calculation of fire risk of the linear pipeline for the enterprises of the oil and gas processing industry. As it has been proved above, this method is the most effective and universal, allowing to work even with the low-studied substances and materials used in this branch, and considering environmental factors. Therefore, the morphological approach is used in this methodology.

Table 8 – A morphological matrix for algorithm calculations of fire risk of linear pipeline

|  | 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 Database | 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

| Main stages                             | № | Scope of work  | Performer's position             |
|---|---|--|----------------------------------|
| Development of technical specifications | 1 | Drawing up and statement a subject of the project                    | Performer' sposition             |
|   | 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,<br>Student |
|   | 5 | Selection of literature for scope of work                            | Student                          |
|   | 6 | Collecting materials and the analysis of the existing developments   | Student                          |

| Main stages                              | №  | Scope of work  | Performer's position          |
|--|----|--|-------------------------------|
| Theoretical 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  $t_{ожки}$  the formula is used:

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

where  $t_{ожки}$  – 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%.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожки}}{ч_i}, \quad (3)$$

where  $T_{pi}$  – the duration of one work, work days;  $t_{ожки}$  – expected labour of one work man-day;  $ч_i$  – the quantity of working people who do the same work at that time men.

### 3.3 Exploitation of the schedule for carrying out 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:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{kal}, \quad (4)$$

where  $T_{ki}$  – duration to fulfill I work in calendar days ;

$T_{pi}$  – duration of fulfilling I work in working days ;  $k_{cal}$  – calendar coefficient.

The calendar coefficient is determined by this formula:

$$k_{cal} = \frac{T_{cal}}{T_{cal} - T_{ввх} - T_{пп}}, \quad (5)$$

where  $T_{cal}$  – the quantity of calendar days in a year;

$T_{ввх}$  – quantity of rest days;  $T_{пп}$  – 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:

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

$$K_{cal} = 1,48.$$

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 $T_{xi}$ |      |      |
|--|------------------------|------|------|------------------------|------|------|------------------------|------|------|---------------------|--|------|------|---|------|------|
|  | $t_{min}$ ,<br>man-day |      |      | $t_{max}$ ,<br>man-day |      |      | $t_{ожл}$ ,<br>man-day |      |      |                     | Ex.1   | Ex.2 | Ex.3 | Ex.1  | Ex.2 | Ex.3 |
|  | Ex.1                   | Ex.2 | Ex.3 | Ex.1                   | Ex.2 | Ex.3 | Ex.1                   | Ex.2 | Ex.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 <sub>ki</sub> ,. | 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                  |  |   | <br> |       |   |   |  |  |   |  |  |
| 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                  |  |   |  |       |   |   |  | <br> |   |  |  |
| 10 | Coordination of the obtained data with the research supervisor | supervisor, student | 2                  |  |   |  |       |   |   |  | <br> |   |  |  |
| 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 its performance.

#### 3.4.1 Calculation of material costs of NTI

Calculation of material costs is performed on the following formula:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_i, \quad (6)$$

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

$N_i$ – 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 inputs

| Denomination          | Unit of measurement | Quantity |       |       | The price for unit, rub. |       |       | Costs of materials, rub. |        |        |
|-----------------------|---------------------|----------|-------|-------|--------------------------|-------|-------|--------------------------|--------|--------|
|                       |                     | Ex. 1    | Ex. 2 | Ex. 3 | Ex. 1                    | Ex. 2 | Ex. 3 | Ex. 1                    | Ex. 2  | Ex. 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 tab. 13.

Table 14 – 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 |       |       |
|----|--|--------------------------|--------------------------|-------|-------|--|-------|-------|--|-------|-------|
|    |  |                          | Ex. 1                    | Ex. 2 | Ex. 3 | Ex. 1                                      | Ex. 2 | Ex. 3 | Ex. 1  | Ex. 2 | Ex. 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 project | 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,<br>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,<br>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).

$$Z_{zn} = Z_o + Z_d, \quad (7)$$

where  $Z_o$  – the main salary;

$Z_d$  – an additional salary (12-20% of  $Z_o$ ).

The maximum main salary of the supervisor (doctor of science) equals about 32 400 rubles, and the student 444 000 rubles.

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

$$Z_d = \kappa_d \cdot Z_o, \quad (8)$$

where  $\kappa_d$  – 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:

$$Z_g = \kappa_g \cdot (Z_o + Z_d), \quad (9)$$

where  $k_{\text{БНЧФ}}$  – 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 15 – Contributions to off-budget funds

| Performer                                | Mainsalary, 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 | 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:

$$Z_{\text{накл}} = \sum \cdot K_{\text{HP}}, \quad (10)$$

where  $k_{\text{HP}}$  – 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  $Z = 103300 \cdot 0,16 = 16528 \text{ rub.}$

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

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

### 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 | The sum 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:

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

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

$\Phi_{pi}$  – execution option  $i$  cost;

$\Phi_{\text{max}}$  – maximum cost of execution of the research project (including analogs).

$$I_{\text{финр}}^{\text{ex}1} = \frac{119828}{132863,3} = 0,9; \quad I_{\text{финр}}^{\text{ex}2} = \frac{114714,5}{132863,3} = 0,86; \quad I_{\text{финр}}^{\text{ex}3} = \frac{132863,3}{132863,3} = 1.$$

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<br>Criteria                  | Weight<br>coefficient of<br>parameter | Ex.1 | Ex.2 | Ex.3 |
|---|---------------------------------------|------|------|------|
| Visualization of results                        | 0,2                                   | 5    | 3    | 3    |
| Use of indirect signs for burning<br>definition | 0,3                                   | 5    | 3    | 4    |
| Inter face                                      | 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 |

$$I_{p-ex1} = 5 \times 0,2 + 5 \times 0,3 + 4 \times 0,05 + 4 \times 0,15 + 5 \times 0,1 + 5 \times 0,2 = 4,8$$

$$I_{p-ex2} = 3 \times 0,2 + 3 \times 0,3 + 5 \times 0,05 + 4 \times 0,15 + 4 \times 0,1 + 4 \times 0,2 = 3,55$$

$$I_{p-ex3} = 3 \times 0,2 + 4 \times 0,3 + 3 \times 0,05 + 2 \times 0,15 + 3 \times 0,1 + 3 \times 0,2 = 3,15$$

The integrated indicator of efficiency of options of execution of development

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

$$I_{ucni} = \frac{I_{p-ex.i}}{I_{финр}^{ex.i}}, \quad (13)$$

$$I_{ex1} = \frac{4,8}{0,9} = 5,3; I_{ex2} = \frac{3,55}{0,86} = 4,13; I_{ex3} = \frac{3,15}{1} = 3,15.$$

Comparison of the 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 ( $\Theta_{cp}$ ):

$$\Theta_{cp} = \frac{I_{ex.i}}{I_{ex. max}} \quad (14)$$

Table 18 – Comparative efficiency of development

| <b>№п/п</b> | <b>Indicators</b>  | <b>Ex.1</b> | <b>Ex.2</b> | <b>Ex.3</b> |
|-------------|--|-------------|-------------|-------------|
| 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.