



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ  
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Безопасность технологических процессов  
и производств»

## **Методические указания к выполнению курсовой работы**

# **«Анализ и оценка промышленной безопасности объекта газоснабжения»**

по дисциплине «Травмобезопасность в  
газовом хозяйстве и сосудов под давлением»  
для подготовки бакалавров по направлению  
20.03.01 «Техносферная безопасность»  
всех форм обучения

Автор  
Стасева Е.В.

Ростов-на-Дону, 2018

## Аннотация

УДК 69.05:658.382 (076.5)

Методические указания к выполнению курсовой работы «Анализ и оценка промышленной безопасности объекта газоснабжения» по дисциплине «Травмобезопасность в газовом хозяйстве и сосудов под давлением».

Устанавливают состав, последовательность и объем выполнения курсовой работы. Предназначены для подготовки бакалавров по направлению 20.03.01 «Техносферная безопасность» всех форм обучения.

Утверждено на методическом семинаре кафедры «Безопасность технологических процессов и производств» «11» января 2018 г., протокол №4/2017-2018.

## Автор

к.т.н., доцент кафедры «БТПиП» Стасева Е.В.





## Оглавление

<b>ВВЕДЕНИЕ .....</b>	<b>4</b>
<b>1. СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ .....</b>	<b>5</b>
1.1 Задание на курсовую работу .....	5
1.2 Содержание и оформление расчетно-пояснительной записки.....	5
<b>2. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ .....</b>	<b>8</b>
2.1. Определение типовых сценариев возможных аварий .....	8
2.2. Определение зон действия основных поражающих факторов при авариях с указанием применяемых для этого методик расчётов.....	10
2.3 Пример расчета .....	15
<b>СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ .....</b>	<b>38</b>



## ВВЕДЕНИЕ

Курсовая работа по дисциплине «Травмобезопасность в газовом хозяйстве и сосудов под давлением» выполняется студентами направления подготовки 20.03.01 – "Техносферная безопасность" на 3-м курсе, в 5-м семестре. Необходимые сведения содержат следующие документы:

- Декларация промышленной безопасности опасного производственного объекта.
- Анализ риска аварий на опасном производственном объекте.
- План действий по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера на объекте экономики.
- План ликвидации возможных аварий на опасном производственном объекте.
- Технологический регламент технологической установки и т.п.
- Другие документы.

## 1. СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

### 1.1 Задание на курсовую работу

Студент выполняет курсовую работу на тему, связанную с промышленной безопасностью объекта экономики (газовое хозяйство). Курсовая работа является расчетно-аналитической.

Задание на выполнение курсовой работы выдается каждому студенту преподавателем и включает в себя:

- наименование курсовой работы;
- дату выдачи задания;
- срок предоставления работы;
- содержание курсовой работы;
- исходные данные;
- рекомендуемую литературу;
- график консультаций.

Задание подписывается руководителем курсовой работы и утверждается зав. кафедрой. По курсовому проектированию проводятся еженедельные консультации руководителем. Курсовая работа оформляется согласно требованиям настоящих методических указаний и в соответствии с требованиями "Правил оформления и требований к содержанию курсовых проектов (работ) и выпускных квалификационных работ", утвержденные Приказом по ДГТУ №227 от 30.12.2015 г., Приказа №102 от 11.04.2017 г. "О введении изменения к документу "Правила оформления и требования к содержанию курсовых проектов (работ) и выпускных квалификационных работ" в действие, оценивается дифференцированной оценкой. Объем работы не более 40 машинописных листов.

Вариант задания к курсовой работе выдается в соответствии с шифром зачетной книжки или номером списка по журналу.

### 1.2 Содержание и оформление расчетно-пояснительной записки

Расчетно-пояснительная записка курсовой работы должна содержать следующие части:

- титульный лист;
- задание и исходные данные;
- оглавление (с указанием номера страниц);
- введение (приводятся общие сведения, указывается цель работы);
- специальные разделы записки;
- заключение;
- список использованных источников;
- приложения;
- графическая часть.

Графическая часть работы выполняется на листах формата А-1.

**Курсовая работа** на тему «**Анализ и оценка промышленной безопасности объекта газоснабжения – ГРС (тип и месторасположения указать согласно варианта задания)**» выполняется по следующему примерному плану :

**ПЛАН КУРСОВОЙ РАБОТЫ:**

№ п/п	Наименование	Примечание (содержание раздела и графической части)
<b>Введение</b>		Приводятся общие сведения о промышленной безопасности опасных производственных объектов (цели, задачи разработки декларации промышленной безопасности, ссылка на положение ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов», ФЗ « Об охране окружающей природной среды», литературный обзор по теме.
<b>1. Данные о технологии промышленного объекта газоснабжения – ГРС (указать тип ГРС по варианту)</b>		
1.1	Общие сведения о промышленном объекте ГРС (назначение и описание месторасположения)	Приводятся общие сведения, назначение промышленного объекта (ГРС; ГИС; ГНС; и т.д.) [4-10]. Месторасположение промышленного объекта, удаленность/близость к населенным пунктам и местам проживания людей).
1.2	Описание технологического процесса объекта газоснабжения (техническая характеристика и технологическая схема ГРС, функции)	
1.2	Перечень и характеристика опасных веществ, участвующих в производственном процессе	Графическая часть. Лист 1: «Ситуационная карта-схема района расположения объекта» «Технологическая схема ГРС», (с указанием основных элементов и характеристик ГРС ) (формат А-1).
1.4	Перечень основного технологического оборудования, в котором обращаются опасные вещества	
1.5	Обоснование отнесения объекта газоснабжения к ОПО, определение класса опасности и необходимости разработки ДПБ	
<b>2. Анализ и оценка опасностей промышленного объекта</b>		
2.1	Данные статистики аварийности и травматизма на объектах газоснабжения.	
2.2	Причины и факторы ,способствующие возникновению и развитию аварийных ситуаций на объекте	
2.3	Перечень и описание сценариев развития аварийных ситуаций на ГРС	

<b>3. Расчетная часть. Расчет вероятных зон действия основных поражающих факторов при различных сценариях аварий</b>		
3.1	Сценарий № 1. Взрыв газа в технологическом блоке ГРС	Графическая часть. Лист 2: "Результаты расчетов. Зоны действия поражающих факторов при авариях на ГРС (формат А-1).
3.2	Сценарий №2. Взрыв газа при разрушении газопровода-отвода	
3.3	Сценарий № 3. Разлив метанола	
3.4	Сценарий №4. Разлив одоранта	
3.5	Сценарий №5. Разлив и воспламенение конденсата на площадке ГРС	
3.6	Оценка возможного числа пострадавших с учетом смертельно пораженных среди персонала и населения в случае аварии	
<b>4. Разработка предложений и мероприятий по повышению безопасности объекта и уменьшению риска аварий</b>		
4.1	Обоснование необходимости разработки решений по повышению безопасности объекта газоснабжения	Лист 3: «Мероприятия по повышению безопасности объекта и уменьшению риска аварий на ГРС» (формат А-1).
4.2	Описание предложений и мероприятий по повышению безопасности ГРС	
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b>		
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ</b>		
<b>ПРИЛОЖЕНИЯ:</b>		
А - Расчет массы газа в газопроводе-отводе		
Б - Расчет массы газа в технологическом оборудовании ГРС		
В - Расчет массы опасного вещества - метанола		
Г - Расчет массы опасного вещества - одоранта		
Д - Расчет массы опасного вещества - газового конденсата		
<b>ГРАФИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ:</b>		
1. Ситуационная карта-схема района расположения ГРС. Общие данные о промышленном объекте. Технологическая схема ГРС		
2. Результаты расчетов. Зоны действия поражающих факторов при авариях на ГРС		
3. Мероприятия по повышению безопасности объекта и уменьшению риска аварий на ГРС		

## 2. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

### 2.1. Определение типовых сценариев возможных аварий

Аварии, приводящие к протяжённому разрыву трубопровода, происходят по различным причинам, наиболее значимые факторы, определяющие реализацию того или иного исхода аварии, рассмотрим применительно к газопроводу-отводу и оборудованию ГРС.

В случае разрыва трубопровода, проложенного в слабых грунтах (торфяник, зона речных пойм или болот, песок), может произойти вырывание трубы из грунта не только на участке непосредственного разрушения, но и в прилегающей зоне, в результате чего открытые края трубопровода могут оказаться на поверхности грунта со смещёнными осями, зачастую ориентированными под некоторым углом к горизонту.

Как следствие аварийное истечение газа вероятнее всего будет происходить в виде двух «настильных» невзаимодействующих струй в противоположных направлениях с ориентацией, близкой к исходной оси трубопровода, или возможными отклонениями примерно  $\pm 15^\circ$ .

***Возникновение аварийных разрывов на газопроводах-отводах, технологических газопроводах ГРС, а также на подключённых к ним технологических аппаратах, приводит к физическим процессам двух видов:***

- *внутренним* – нестационарным газодинамическим процессам в самих трубопроводах, определяющих динамику выброса природного газа в атмосферу;
- *внешним* – определяющим воздействие процесса разрушения участка трубопровода или технологического оборудования на окружающую среду;

***Внешние процессы сопровождаются:***

- образованием волн сжатия за счёт расширения в атмосфере природного газа, выброшенного под давлением из разрушенного участка трубопровода (оборудования);
- образованием волн сжатия, образующихся при воспламенении газового шлейфа и расширении продуктов его сгорания;
- термическим воздействием пожара на окружающую среду;
- образованием и разлётом осколков (фрагментов) разрушенного участка трубопровода (оборудования).

Обработка актов расследований аварий на газопроводах в соответствии с данными, приведенными в СТО РД Газпром. 39-1.10-084-2003 [14], произошедших за период с 1991 по 2000г., показала, что вероятность механического поражения различных реципиентов осколками труб значительно ниже вероятности воздействия других поражающих факторов, в первую очередь термического воздействия при воспламенении газа.

Рассмотрим как поражающий фактор волну сжатия, образующуюся за счёт расширения в атмосфере газа, выброшенного под давлением из разрушенного участка трубопровода (оборудования).

В момент разрушения участка газопровода сначала реализуется только энергия

сжатого газа. Воспламенение газа если и происходит, то с определённой задержкой и уже вне полости трубопровода, после смешения газа с воздухом до определённых величин ( $5 \div 15$  % объёма) и при одновременном появлении источника зажигания.

Для получения заведомо верхней оценки воздействия избыточного давления воздушной волны сжатия, возникающей при разрушении газопровода, принимаются следующие положения:

1. Процессы расширения сжатого газа и его возможного воспламенения и сгорания в атмосфере не синхронизированы, а смещены во времени, т.е. энергии этих процессов при расчётах энергетического потенциала не суммируются.

2. Энергетические потенциалы указанных процессов могут быть выражены, согласно существующей практике, через тротиловый эквивалент взрыва конденсированного взрывчатого вещества (ВВ).

### ***Рассмотрим поражающие факторы, связанные с воспламенением газа.***

По результатам анализа статистики [14] установлено, что воспламенение природного газа при авариях на газопроводах в подавляющем большинстве случаев происходило непосредственно в месте их разрушения. Выявлено, что при авариях на суглинках и глинах воспламенение газа происходит значительно чаще, чем на слабых грунтах. В зависимости от времени задержки воспламенения сам режим горения выброшенного газа может протекать по-разному.

На основании ***анализа причин возникновения аварий*** и факторов, влияющих на исходы аварий, а также с учётом несущей способности грунтов при разрыве на полное сечение газопровода-отвода возможны **следующие (наиболее опасные) варианты развития аварии на АГРС и газопроводе-отводе:**

#### ***Сценарий № 1. Взрыв газа в технологическом блоке АГРС.***

Разгерметизация технологического газопровода в помещении блока редуцирования и измерения расхода газа →

→ образование в помещении взрывоопасной газовой смеси →

→ при возникновении источника зажигания – взрыв →

→ избыточное давление во фронте ударной волны →

→ разрушение технологического блока, повреждение оборудования, возможно (при нахождении на территории АГРС) поражение персонала.

#### ***Сценарий № 2. Взрыв газа при разрушении газопровода-отвода.***

Разрыв подземного газопровода-отвода на полное сечение:

→ образование котлована в «нормальном» грунте →

→ образование волн сжатия за счёт расширения в атмосфере природного газа, выброшенного под давлением из разрушенного участка трубопровода →

→ воздействие ударной волны на окружающую среду →

→ истечение газа в виде симметричной (условно) полусферы →

→ «раннее» воспламенение с образованием ударной волны →

→ воздействие ударной волны на окружающую среду.

Узел приёма метанола (УПМ), узел одоризации и узел сбора конденсата относятся к участкам первой категории. Анализ аварий на подобных объектах позволяет сделать выводы о **наиболее вероятных сценариях развития аварий на этих объектах:**

#### **Сценарий № 3. Разлив метанола.**

Перекачивание метанола из автоцистерны в ёмкость для метанола →  
→ нарушение герметичности оборудования или нарушение правил ТБ →  
→ разлив метанола на площадку узла приёма метанола →  
→ испарение разлившегося метанола с подстилающей поверхности →  
→ заражение прилегающей территории, интоксикация персонала →  
→ перенос вторичного облака в наиболее опасном направлении.

#### **Сценарий № 4. Разлив одоранта.**

Перекачивание одоранта из автоцистерны в ёмкость для одоранта →  
→ нарушение герметичности оборудования или нарушение правил ТБ →  
→ разлив одоранта на площадку с твёрдым покрытием →  
→ испарение разлившегося одоранта с подстилающей поверхности →  
→ заражение прилегающей территории, интоксикация персонала →  
→ перенос вторичного облака в наиболее опасном направлении.

#### **Сценарий № 5. Разлив и воспламенение конденсата.**

Перекачивание конденсата из ёмкости для сбора в автоцистерну  
→ нарушение герметичности шланга или автоцистерны →  
→ разлив конденсата на площадку с твёрдым покрытием →  
→ воспламенение конденсата →  
→ прямое огневое воздействие на технологическое оборудование →  
→ термическое излучение пожара

### **2.2. Определение зон действия основных поражающих факторов при авариях с указанием применяемых для этого методик расчётов**

Анализ опасностей и рисков, расчёты последствий возможных аварий проводятся в соответствии с требованиями МЧС РФ, Госгортехнадзора РФ, ОАО "Газпром". С этой целью используются физико-математические модели взрывов, пожаров, испарения токсичных веществ, оценки последствий аварий и расчёты зон поражения различной степени тяжести, а также другие модели и оценки, нашедшие отражение в специальных нормативно-методических документах [14, 19-25].

Согласно возможным сценариям, основными поражающими факторами принимаются **термическое излучение пожара** и **избыточное давление во фронте ударной волны**. Зоны действия данных поражающих факторов отображаются концентрическими кругами или эллипсами с центром в месте воспламенения или взрыва. **Параметры этих зон определяются расчётами в зависимости от вида воспламенения или взрыва.**

**В качестве показателей последствий аварий приняты следующие критерии:**

- степень поражения людей от термического излучения пожара;
- степень поражения людей от избыточного давления ударной волны;
- степень разрушения зданий, сооружений и транспорта от избыточного давления ударной волны.

Термическое воздействие на человека при возникновении пожара на газопроводе и технологическом оборудовании связано с ожогами и последующими биохимическими изменениями верхних слоёв кожного покрова. Степень повреждения кожи при воздействии высоких температур зависит не только от величины, но и от длительности термического воздействия.

При относительно слабом термическом излучении будет повреждаться только верхний слой кожи (эпидермис), на глубину  $\approx 1$  мм. Более интенсивный тепловой поток может привести к поражению не только эпидермиса, но и дермы (нижний слой), на глубину  $< 2$  мм, а излучение большей интенсивности будет воздействовать и на подкожный слой, на глубину  $> 2$  мм. Эти три уровня соответствуют принятым категориям ожогов I, II и III степеней. Предельно допустимые значения интенсивности термического излучения приведены в таблице 2.1, на основании которых **делаются выводы о степени поражения людей от термического излучения пожара после аварий** (сценарий № 5).

Как свидетельствует анализ несчастных случаев при пожарах в промышленности, активное (адекватное) поведение человека (попытка убежать из зоны опасности или использовать какие-либо укрытия) может весьма существенно снизить меру поражения. Поскольку радиационный тепловой поток от характерных огневых источников убывает с увеличением расстояния по законам, близким к  $\sim 1/x \dots 1/x^2$ , то при активном покидании человеком со скоростью  $\sim 2,5$  м/с зоны негативного воздействия, полученная им интегральная тепловая нагрузка будет значительно ниже, чем в случае пассивного поведения.

**Поражение человека от избыточного давления ударной волны, возникающей при взрыве газоздушного облака, характеризуется следующими критериями:** кровоизлияния, сотрясения, контузии, разрыв барабанных перепонки, переломы, гиперемия сосудов, летальный исход [14, 21, 26, 27].

На основании данных, приведённых в таблице 2.2, **делаются выводы о степени поражения людей от избыточного давления ударной волны, возникающей при расширении сжатого газа или взрыве газоздушного облака, при авариях** по сценариям № 1 и 2.

Таблица 2.1. Предельно допустимая интенсивность термического излучения пожаров проливов ЛВЖ и ГЖ

№ п/п	Степень поражения человека, в зависимости от длительности воздействия	Интенсивность термического излучения, кВт/м <sup>2</sup>
1.	Без негативных последствий в течение длительного времени	1,4
	Без опасно для человека в брезентовой одежде	4,2
2.	Ожог I степени, через 15 ÷ 20 с.	7,0
	Ожог II степени, через 30 ÷ 40 с.	7,0
	Непереносимая боль через 20 ÷ 30 с.	7,0
3.	Непереносимая боль через 3 ÷ 5 с.	10,5
	Ожог I степени, через 6 ÷ 8 с.	10,5
	Ожог II степени, через 12 ÷ 16 с.	10,5
4.	Летальный исход с вероятностью 50 % через >200 с.	10,0 ÷ 12,0
	Летальный исход с вероятностью 50 % через 70÷80 с.	44,5
5.	Летальный исход с вероятностью 100 % через >200 с.	32,0
	Летальный исход с вероятностью 100 % через 55÷60с.	75,0
	Летальный исход с вероятностью 100 % через 30÷40с.	95,0
	Летальный исход с вероятностью 100 % через 15÷20с.	160,0
	Летальный исход с вероятностью 100 % через 8÷10с.	340,0

Таблица 2.2. Предельно допустимые значения избыточного давления ударной волны, воздействующей на человека

№	Степень поражения человека	Избыточное давление, кПа
1.	Разрывы барабанных перепонок, небольшие кровоизлияния в лёгкие (поражение 1-й степени )	20
2.	Кроме указанного выше, общее сотрясение организма, болезненный удар по голове, межмышечное кровоизлияние (поражение 2-й степени)	50
3.	Давление, трудно переносимое организмом, вызывающее состояние контузии (поражение 3-й степени)	70
4.	Переломы рёбер, гиперемия сосудов мягкой мозговой оболочки	100
5.	Порог смертельного поражения	200
6.	Летальный исход в 50% случаев	350
7.	Безусловное смертельное поражение	500

Воздушная ударная волна, образующаяся при расширении в атмосфере газа, выброшенного под давлением из разрушенного участка газопровода или при воспламенении газовоздушного облака, может вызвать разрушения или повреждения зданий и сооружений, систем электро-, газо- и водоснабжения, транспортных средств и других объектов. Степень разрушения определяется величиной избыточного давления, расстоянием до центра аварии, характеристиками объектов, а также условиями взаимо-

действия с ними ударной волны. Следует подчеркнуть, что в случае нахождения людей в момент прохождения ударной волны в зданиях, сооружениях или рядом с другими объектами, перечисленными выше, поражение человека может наступить от механического воздействия за счёт разрушений уже при избыточном давлении 30÷50 кПа.

Необходимо также учитывать, что степень разрушения объектов зависит не только от избыточного давления, но и от **импульса волны давления**.

Значения границ областей различных степеней разрушений зданий приведены в таблице 2.3 [14].

Таблица 2.3. Граничные параметры воздействия ударной волны для различных степеней разрушений

№ линии	Степень разрушения зданий, сооружений	$\Delta P_{ф}$ , кПа	$I$ , кПа•с	$W$ ,
1.	Минимальные повреждения (разрыв соединений, разрушение остекления)	4,5	0,12	0,15
2.	Значительные повреждения элементов, несущих нагрузку	18,0	0,30	0,40
3.	Значительные разрушения ( 50÷70 % стен разрушено или на грани разрушения )	40,0	0,50	0,80

Общая оценка воздействия ударной волны на различные объекты приведена в таблице 2.4.

Согласно сценариям № 3 и 4, основными поражающими факторами принимаются глубина, площадь зоны заражения и продолжительность поражающего действия аварийно химически опасного вещества (АХОВ). Нормативно-методические документы [22] дают следующие определения основных терминов, используемых при прогнозировании масштабов заражения АХОВ:

- **зона заражения АХОВ** – территория, на которой концентрация АХОВ достигает значений, опасных для жизни людей;
- **первичное облако** – облако АХОВ, образующееся в результате мгновенного (1 ÷ 3 мин) перехода в атмосферу части АХОВ из ёмкости при её разрушении;
- **вторичное облако** – облако АХОВ, образующееся в результате испарения разлившегося вещества с подстилающей поверхности;
- **пороговая токсодоза** – ингаляционная токсодоза, вызывающая начальные симптомы поражения;
- **эквивалентное количество АХОВ** – количество хлора, масштаб заражения которым при инверсии эквивалентен масштабу заражения количеством АХОВ, перешедшим в первичное (вторичное) облако, при инверсии;
- **площадь зоны фактического заражения АХОВ** – площадь территории зараженной АХОВ в опасных для жизни пределах;
- **Площадь зоны возможного заражения АХОВ** – площадь территории в пределах которой под воздействием изменения направления ветра может перемещаться облако АХОВ.

Таблица 2.4. Общая оценка воздействия ударной волны на различные объекты

№ п/п	Объект	Избыточное давление, соответствующее степени разрушения, кПа			
		полное	сильное	среднее	слабое
1.	Кирпичные малоэтажные жилые здания	35÷45	25÷35	15÷25	8÷15
2.	Деревянные сооружения	20÷30	12÷20	8÷12	6÷8
3.	Промышленные здания бескаркасной конструкции или с лёгким металлическим каркасом	60÷80	40÷50	30÷40	20÷30
4.	Подземные сети (газ, водопровод)	1500	1000÷1450	600÷990	400÷590
5.	Трубопроводы наземные	-	130	50	20
6.	Смотровые колодцы и задвижки	1500	1000	300	200
7.	Высоковольтные линии электропередач	120÷200	80÷120	50÷70	20÷40
8.	Шоссейные дороги с асфальтовым или бетонным покрытием	4000	3000	1500	300
9.	Железнодорожные пути	400	250	175	125
10.	Силовые линии электрифицированных железных дорог	120	100	60	40
11.	Вагоны товарные деревянные	40	35	30	15
12.	Цистерны для нефтепродуктов	80	70	50	30
13.	Вагоны цельнометаллические	150	90	60	35
14.	Сельскохозяйственная техника	60	40	25	10
15.	Резервуары и ёмкости стальные наземные	90	80	55	35
16.	Газгольдеры, хранилища ГСМ и химических веществ	40	35	25	20
17.	Частично заглубленные резервуары для хранения нефтепродуктов	100	75	40	20
18.	Подземные резервуары	200	150	75	40

При заблаговременном прогнозировании масштабов заражения на случай производственных аварий, в качестве исходных условий рекомендуется [22] **принимать следующие допущения:**

- расчётный выброс АХОВ ( $Q_0$ ) равен количественно максимальной по объёму единичной ёмкости (технологической, складской, транспортной и др.), а для сейсмических районов равен общему запасу АХОВ;
- метеорологические условия: температура воздуха – максимальная для данной местности; степень вертикальной устойчивости воздуха – инверсия; скорость ветра 1,0 м/с;
- ёмкости, содержащие АХОВ, при авариях разрушаются полностью и весь объём АХОВ свободно разливается;
- толщина слоя жидкости ( $h$ ) для АХОВ, разлившихся свободно на подстилающей поверхности, принимается равной 0,05 м по всей площади разлива;

- предельное время пребывания людей в зоне заражения и продолжительность сохранения неизменными метеорологических условий (степень вертикальной устойчивости атмосферы, направление и скорость ветра) составляет 4 часа;
- расчётный выброс АХОВ ( $Q_0$ ), при авариях на газо- и продуктопроводах принимается равным максимальному количеству АХОВ, содержащемуся в трубопроводе между автоматическими отсекаателями.

*Зоны действия поражающих факторов при заражении АХОВ отображаются концентрическими кругами или секторами, в зависимости от предполагаемых условий аварии. Параметры этих зон и продолжительность поражающего действия АХОВ определяются расчётами предложенными в методике РД 52.04.253-90 [22].*

### Сценарий № 1. Взрыв газа в технологическом блоке АГРС

Расчёт зон действия основных поражающих факторов при аварии по сценарию № 1 выполняется согласно физико-математическим моделям, приведённым в нормативно-методических документах [14, 26].

При расчёте значений поражающих факторов при взрывном превращении газозвушных смесей в помещении, в качестве расчётного следует выбирать в соответствии с ГОСТ Р 12.3.047-98 [26] наиболее неблагоприятный вариант аварии, при котором в помещение поступает (или постоянно находится) максимальное количество опасных веществ. Применительно к рассматриваемому сценарию самый неблагоприятный вариант – весь объём блока редуцирования и измерения расхода заполнен газом, при появлении источника зажигания – взрыв.

Место предполагаемой аварии выбирается по следующим критериям:

- блок редуцирования и измерения расхода газа (БРИРГ) является наибольшим по объёму технологическим помещением, в котором обращается сжатый газ, следовательно, при утечке и взрыве газа, последствия будут наиболее тяжёлыми;
- согласно статистике [14], случаи разгерметизации оборудования в блоке редуцирования и измерения расхода газа составляют около 2/3 всех аварийных отказов.

При взрыве газозвушной смеси в замкнутом объёме блок-бокса основным поражающим фактором является избыточное давление воздушной ударной волны. Расчётная схема аварии по сценарию № 1 показана на рис. 2.1.

### 2.3 Пример расчёта

**1. Расчёт избыточного давления в блок-боксе,  $\Delta P$ , кПа,** проводят по формуле:

$$\Delta P = (P_M - P_0) \cdot (m \cdot z / V_{св} \cdot \rho_r) \cdot (100 / C_{ст}) \cdot (1 / K_H), \quad (2.1)$$

где  $P_M$  – максимальное давление, развиваемое при сгорании газозвушной смеси в стехиометрической концентрации в замкнутом объёме, кПа, определяемое по справочным данным [28]. При отсутствии данных допускается принимать  $P_M = 900$  кПа;

$P_0$  – начальное давление, кПа; Допускается [26] принимать  $P_0 = 101,3$  кПа;

$m$  – масса горючего газа, заполнившего помещение в результате аварии, кг;

$z$  – коэффициент участия горючего газа при взрыве газозвушной смеси; согласно [26] принимается по данным таблицы А.1, для горючих газов (метана)  $z = 0,5$ ;

$V_{св}$  – свободный объём помещения,  $m^3$ ; определяется как разность между геометрическим объёмом помещения  $V_{г}$  и объёмом, занимаемым технологическим оборудованием; если свободный объём помещения определить невозможно, то допускается [5] принимать:  $V_{св} = 0,8V_{г}$ ;

$\rho_{г}$  – плотность газа при расчётной температуре  $t_{р}$ ,  $kg/m^3$ ;

$C_{ст}$  – стехиометрическая концентрация газа, % объёма; согласно [28] для метана  $C_{ст} = 9,8$  % об.;

$K_{н}$  – коэффициент, учитывающий негерметичность помещения и неадиабатичность процесса горения. Допускается [26] принимать  $K_{н} = 3$ ;

Расчёт свободного объёма помещения (рис. 2.1),  $V_{св}$ ,  $m^3$ , проводят по формуле:

$$V_{св} = 0,8 V_{г} = 0,8 \cdot (L \cdot B \cdot H), \quad (2.2)$$

где  $L$  – длина блока редуцирования и измерения расхода газа,  $m$ ;  $L = 3,88$   $m$ ;  
 $B$  – ширина блока редуцирования и измерения расхода газа,  $m$ ;  $B = 2,72$   $m$ ;  
 $H$  – высота блока редуцирования и измерения расхода газа,  $m$ ;  $H = 3,0$   $m$ .  
 Значения  $L$ ,  $B$ , и  $H$  принимаются по таблице исходных данных.

$$V_{св} = 0,8 \cdot (3,88 \cdot 2,72 \cdot 3,0) = 25,33 \text{ м}^3.$$

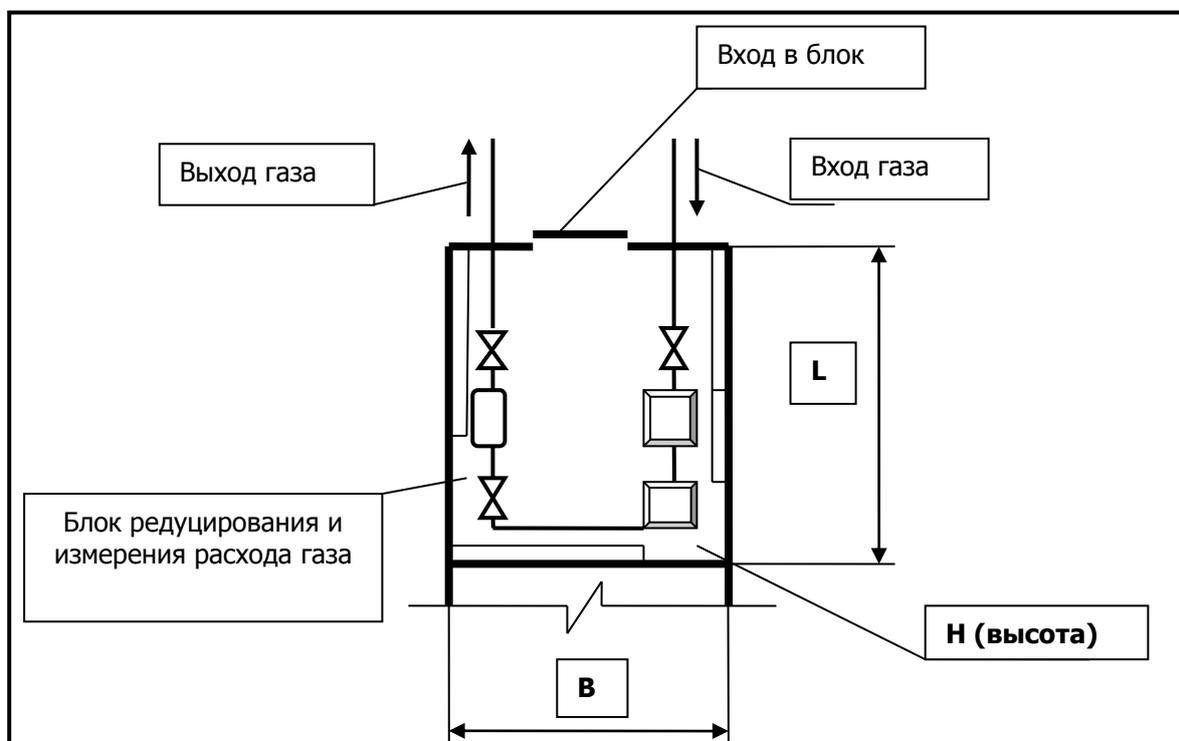


Рис. 2.1. Расчётная схема по сценарию № 1

Расчёт плотности газа при расчётной температуре,  $\rho_r$ , кг/м<sup>3</sup>, проводят по формуле:

$$\rho_r = M / [V_M \cdot (1 + 0,00367 \cdot t_p)], \quad (2.3)$$

где  $M$  – молярная масса, кг/кмоль; согласно [28] у метана  $M=16,043$  кг/кмоль.

$V_M$  – мольный объём, м<sup>3</sup>/кмоль; согласно [26] равный 22,413 м<sup>3</sup>/кмоль.

$t_p$  – расчётная температура, °С; согласно [26] за расчётную температуру следует принимать **максимально возможную температуру воздуха в данном помещении в соответствии с климатической зоной** [29]. При отсутствии данных допускается принимать ее равной +61°С. В расчете принимаем значение максимальной температуры воздуха +41°С. Следовательно,  $t_p = +41$ °С;

$$\rho_r = 16,043 / [22,413 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 41)] = 0,622 \text{ кг/м}^3.$$

Расчёт массы газа  $m$ , кг, заполнившего помещение в результате аварии, проводят по формуле:

$$m = (V_{r1} + V_{r2}) \cdot \rho_r \quad (2.4)$$

где  $V_{r1}$  – объём газа, вышедшего из оборудования БРИРГ, м<sup>3</sup>;

$V_{r2}$  – объём газа, вышедшего из трубопроводов БРИРГ, м<sup>3</sup>;

$\rho_r$  – см. формулу ( 2.3 ).

Расчёт объём газа, вышедшего из оборудования БРИРГ,  $V_{r1}$ , м<sup>3</sup>, проводят по формуле:

$$V_{r1} = 0,01 P_p \cdot V_{об}, \quad (2.5)$$

где  $P_p$  – рабочее давление в оборудовании, кПа;  $P_p = 7357,5$  кПа;

$V_{об}$  – внутренний объём оборудования, где обращается газ, м<sup>3</sup>;  $V_{об} = 0,4$  м<sup>3</sup>;

$$V_{r1} = 0,01 \cdot 7357,5 \cdot 0,4 = 29,43 \text{ м}^3.$$

Расчёт объёма газа, вышедшего из трубопроводов БРИРГ,  $V_{r2}$ , м<sup>3</sup>, проводят по формуле:

$$V_{r2} = (G_T \cdot t_{от}) + (0,01 p \cdot P_p \cdot r_{вн}^2 \cdot L_{тр}), \quad (2.6)$$

где  $G_T$  – расход газа, определяемый в соответствии с технологическим регламентом, м<sup>3</sup>/с;  $G_T = 1,086$  м<sup>3</sup>/с;

$t_{от}$  – время отключения аварийного участка, с; согласно [14, 26], с учётом времени на принятие решение диспетчером и времени срабатывания крана на полное закрытие – 50 с; принимаем  $t_{от} = 50$  с;

$p$  – число пи,  $p = 3,14$ ;

$P_p$  – рабочее давление в трубопроводе, кПа;  $P_p = 7357,5$  кПа;

$r_{вн}$  – внутренний радиус трубопровода, м;  $r = d_{вн}/2 = 0,05$  м;

$L_{тр}$  – длина отсеченного участка трубопровода, м. В данном случае это длина газопровода от блок-бокса переключений до блока редуцирования и измерения расхода газа – 13,5 м. Таким образом  $L_{тр} = 13,5$  м.

$$V_{г2} = (1,086 \cdot 50) + (0,01 \cdot 3,14 \cdot 7357,5 \cdot 0,05^2 \cdot 13,5) = 62,1 \text{ м}^3.$$

Следовательно:  $m = (29,43 + 62,1) \cdot 0,622 = 56,93$  кг.

Расчёт максимального давления, развиваемого при сгорании газозвушной смеси в стехиометрической концентрации в замкнутом объёме,  $P_m$ , кПа, проводят по формуле:

$$P_m = P_0 \cdot (1 + \beta \cdot t_k) \cdot (m/n), \quad (2.7)$$

где  $P_0$  – см. формулу (2.1);

$\beta$  – коэффициент объёмного расширения газов, численно равный коэффициенту давления. Согласно [28],  $\beta = 0,003663$ ;

$t_k$  – калориметрическая температура горения, °С. Согласно [28], для природного газа  $t_k = 1610$  °С (при 20 °С и коэффициенте избытка воздуха  $\alpha = 1,4$ );

$m$  – число молей продуктов сгорания после взрыва, определяемое по реакции горения метана в воздухе. Согласно [28],  $m = 10,52$ ;

$n$  – число молей реагирующих веществ до взрыва, участвующих в реакции горения. Согласно [28],  $n = 14,33$ .

$$P_m = 101,3 \cdot (1 + 0,003663 \cdot 1610) \cdot (10,52/14,33) = 512,85 \text{ кПа.}$$

Таким образом,  $\Delta P = (512,85 - 0,1) \cdot [(56,93 \cdot 0,5) / (25,33 \cdot 0,622)] \cdot (100/9,8) \cdot (1/3) = 2526,563$  кПа.

**Выводы.** Сравнивая расчётное значение  $\Delta P$  со значениями избыточного давления, соответствующими различным степеням разрушения зданий, сооружений, техники, приведёнными в таблицах 2.3 и 2.4, можно сделать однозначный вывод, что при взрыве газозвушной смеси в блоке редуцирования и измерения расхода газа, технологический блок будет полностью разрушен.

При оценке последствий взрыва в блоке редуцирования и измерения расхода газа необходимо учитывать внешнюю воздушную ударную волну, которая образуется при разрушении наиболее слабого конструктивного элемента (двери).

**2. Расчёт избыточного давления внешней воздушной ударной волны,  $\Delta P_v$ , кПа, в точке, расположенной на расстоянии  $x$ , м, от разрушенного элемента (двери), проводят по формуле:**

$$\Delta P_v = \Delta P / x_0^m, \quad (2.8)$$

где  $\Delta P$  – см. формулу ( 2.1 );

$x_0$  – приведённое расстояние, м;

$m$  – показатель степени, зависящий от амплитуды воздушной ударной волны. Согласно [14] при малых амплитудах, что соответствует рассматриваемому случаю,  $m = 1$ .

Расчёт приведённого расстояния  $x_0$  проводят по формуле:

$$x_0 = x / x_3^m, \quad (2.9)$$

где  $x$  – расстояние от разрушенного элемента до поражаемого объекта, м;

$x_3$  – характерный линейный размер разрушенного элемента, м;  $x_3 = 1,2$  м;

$m$  – см. формулу ( 2.8 ).

Выбор значений  $x$ , м, проводится на основании следующих критериев:

- для определения степеней возможного поражения персонала необходимо рассчитать значения избыточного давления в наиболее вероятных местах нахождения людей на территории АГРС;
- для оценки возможных повреждений необходимо рассчитать значения избыточного давления в местах расположения сооружений, оборудования и надземных трубопроводов на территории АГРС;
- для оценки возможных последствий для населения и промышленных, социальных и жилых зданий, необходимо рассчитать значения избыточного давления в ближайших точках расположения указанных объектов.

Исходя из названных критериев, выбирают следующие значения  $x$ :

- 5,0 м – расстояние от разрушенной двери до возможного места нахождения персонала;
- 10,0 м – расстояние от разрушенной двери до блок-блока переключений, до наземных трубопроводов одоранта и газа на передавливание одоранта, а также места возможного нахождения персонала;
- 15,0 м – расстояние от разрушенной двери до наземного оборудования ёмкости сбора конденсата, до наземных трубопроводов одоранта и газа на передавливание одоранта, а также места возможного нахождения персонала;
- 17,0 м – расстояние от разрушенной двери до наземного оборудования ёмкости одоранта, а также места возможного нахождения персонала;
- 23,0 м – расстояние от разрушенной двери до въездных ворот, а также места возможного нахождения персонала;
- 200 м – расстояние от разрушенной двери до грунтовой дороги, а также ме-

ста возможного нахождения населения;

– 500 м – расстояние от разрушенной двери до ближайших жилых домов, а также места возможного нахождения населения;

Рассчитав значения избыточного давления  $\Delta P_v$ , в зависимости от значений  $x$ , и сравнив их с предельно допустимыми величинами избыточного давления ударной волны, приведёнными в таблицах 2.2- 2.4, можно сделать выводы о степени возможного поражения человека и степени возможного повреждения сооружений, оборудования и надземных трубопроводов.

В таблице 2.5 приведены расчётные значения  $x_0$ ,  $\Delta P_v$ , в зависимости от  $x$ .

Таблица 2.5. Расчётные значения  $x_0$ ,  $\Delta P_v$ , в зависимости от  $x$

$x$ , м	5,0	10,0	15,0	17,0	23,0	200,0	500,0
$x_0$	4,167	8,333	12,5	14,167	19,167	166,67	416,0
$\Delta P_v$ , кПа	84,87	42,44	28,3	24,96	18,45	2,12	0,85

Примечание. На листе графической части курсовой работы необходимо изобразить зоны возможного поражения человека от внешней ударной волны, которые ограничены полуокружностями с радиусами  $x$ . Центр полуокружностей совпадает с источником внешней ударной волны – местом расположения разрушенной двери блока редуцирования и измерения расхода газа.

**Выводы.** Сравнение полученных расчётных значений  $\Delta P_v$  (см. таблицу 2.5) с пороговыми значениями, приведёнными в таблице 2.2, позволяет сделать следующие выводы:

- на расстоянии 5,0 м от разрушенной двери человек получит поражение 3-й степени;
- на расстоянии 10,0 м – 2-й степени;
- на расстоянии 15,0 м – 2-й или 1-й степени;
- на расстоянии 23,0 м – 1-й степени;
- на расстоянии 200 – 500 м от разрушенной двери человек не получит повреждений.

Учитывая характер местности в районе возможной аварии (пастбища, автодорога, озеро и др.), в зоны возможного поражения могут попасть работающие на сельскохозяйственных участках люди, проезжающие в автотранспорте, отдыхающие на озере и т.д. Необходимо провести инструктаж местного населения с целью адекватного поведения в случае аварии на АГРС. Как показывает опыт, правильные действия человека во время аварии значительно снижают негативные последствия.

Ближайший населённый пункт к месту возможной аварии: п. Красноармейский (3670 жителей), расстояние до которого 0,5 км. Учитывая радиусы зон возможного поражения от внешней ударной волны (см. таблицу 2.5) население п. Красноармейский не пострадает от последствий аварии.

Сравнение полученных расчётных значений  $\Delta P_v$  (см. таблицу 2.5), с пороговыми

значениями, приведёнными в таблицах 2.3, 2.4, позволяет сделать следующие выводы:

- на расстоянии 10,0 м от разрушенной двери блок-бокс переключений получит сильные повреждения, наземные трубопроводы одоранта и газа на передавливание одоранта получат сильные повреждения;
- на расстоянии 15,0 м от разрушенной двери наземное оборудование ёмкости сбора конденсата получит средние повреждения, наземные трубопроводы одоранта и газа на передавливание одоранта получат средние повреждения;
- на расстоянии 17,0 м от разрушенной двери наземное оборудование ёмкости одоранта получит средние повреждения;
- на расстоянии 23,0 м от разрушенной двери въездные ворота получат слабые повреждения, это граница возможных повреждений;
- на расстоянии 200,0 м от разрушенной двери на грунтовой дороге автомобильная и сельскохозяйственная техника не получит повреждений;
- на расстоянии 500,0 м от разрушенной двери на границе жилой застройки дома, сооружения и т.п., а также автомобильная и сельскохозяйственная техника не получит повреждений.

Из сделанных по результатам расчётов выводов следует, что взрывы природного газа в блоках АГРС не представляют серьёзной опасности для населения, промышленных, социальных, жилых зданий и других объектов, находящихся за пределами нормативных разрывов.

### **Сценарий № 2. Взрыв газа при разрушении газопровода-отвода**

Расчёт зон действия основных поражающих факторов при аварии по Сценарию № 2 выполнен согласно физико-математическим моделям, приведённым в нормативно-методических документах [14, 19].

Разрушение участка трубопровода является быстро протекающим процессом. Характерные скорости «лавинообразного» распространения трещин для труб из различных марок сталей обычно составляет 100÷250 м/с. При так называемом «хрупком» разрушении скорости движения трещины могут достигать 400÷450 м/с. Поэтому можно принять, что в формировании первичной волны сжатия участвует в основном та масса газа, которая заключена в объёме разрушенного участка трубопровода. Далее в период условно симметричного (полусферического) расширения исходного объёма выбрасываемого газа, происходит «раннее» зажигание газозооушной смеси (ГВС). В этом случае происходит взрыв и возникает воздушная ударная волна.

Место предполагаемой аварии выбрано по следующим критериям:

- точка предполагаемой аварии (ПК 100) является ближайшей точкой газопровода-отвода к посёлку Красноармейский;
- точка предполагаемой аварии на газопроводе-отводе (ПК 100) расположена достаточно близко к автодороге IV категории.

Расчётная схема аварии по сценарию № 2 показана на рис. 2.2.

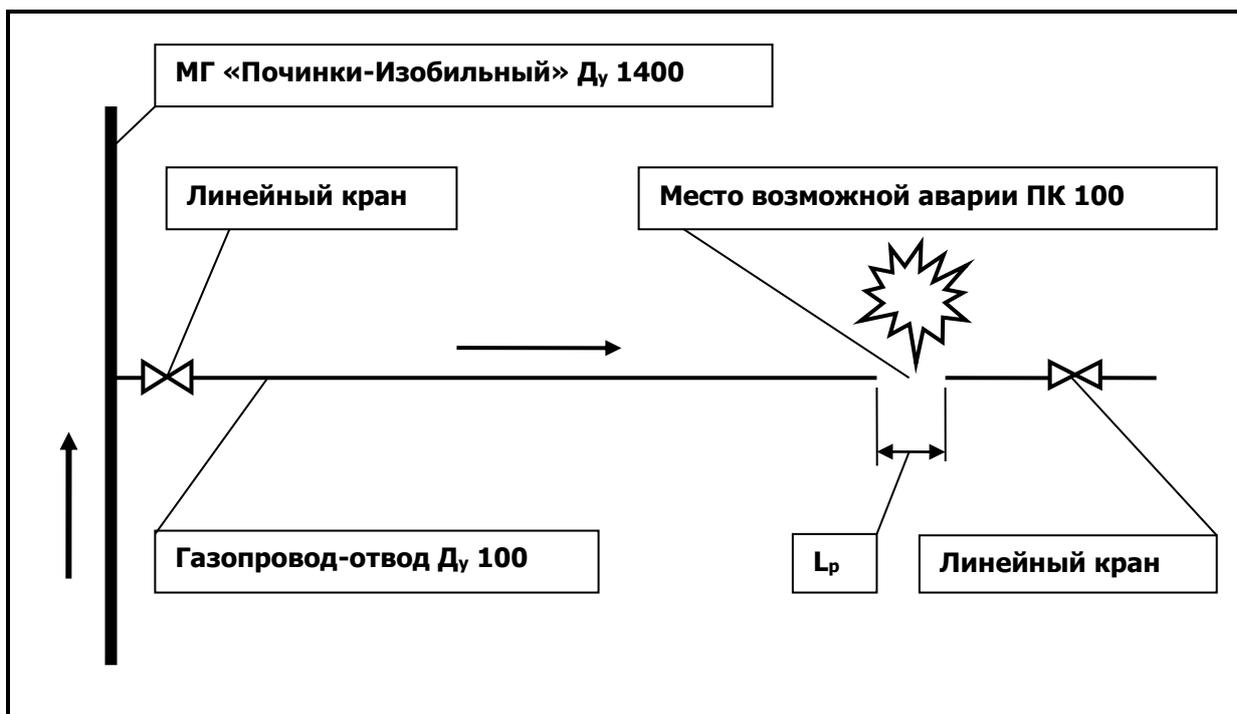


Рис. 2.2. Расчётная схема аварии по сценарию № 2

Энергетический потенциал процесса разрушения участка трубопровода может быть выражен, согласно существующей практике, через **тротильный эквивалент взрыва** конденсированного взрывчатого вещества.

Расчёт массы тротилового эквивалента для полусферической волны давления  $M_{\text{ТНТ}}$ , кг, проводится по формуле:

$$M_{\text{ТНТ}} = 1,9 \eta (M_{\text{Г}} \cdot A_{\text{Г}} / Q_{\text{ТНТ}}), \quad (2.10)$$

где  $\eta$  – коэффициент, учитывающий плотность грунта. Согласно [14] для тяжелых суглинков  $\eta = 0,8$ ;

$M_{\text{Г}}$  – масса сжатого газа, участвующая в формировании первичной ударной волны, кг;

$A_{\text{Г}}$  – работа расширения единицы массы газа, Дж/кг;

$Q_{\text{ТНТ}}$  – теплота сгорания тротила, Дж/кг. Согласно [14],  $Q_{\text{ТНТ}} = 4,24 \cdot 10^6$  Дж/кг.

Полагая процесс расширения газа в атмосфере адиабатическим ( $PV^k = \text{const}$ ), расчёт работы расширения единицы массы газа  $A_{\text{Г}}$ , Дж/кг, проводится по формуле:

$$M_{\text{ТНТ}} = 1,9 \eta (M_{\text{Г}} \cdot A_{\text{Г}} / Q_{\text{ТНТ}}), \quad (2.10)$$

$$A_{\text{Г}} = - (P_{\text{р}} / \rho_{\text{р}}) \cdot (1 / (k-1)) \cdot [(P_{\text{а}} / P_{\text{р}})^{(k-1/k)} - 1], \quad (2.11)$$

где  $P_{\text{р}}$  – давление в трубопроводе до разрыва (рабочее), кПа;  $P_{\text{р}} = 7357,5$  кПа;

$\rho_{\text{р}}$  – плотность газа в трубопроводе до разрыва, кг/м<sup>3</sup>;

$k$  – показатель адиабаты. Согласно [28], для метана  $k = 1,32$ ;

$P_a$  – давление атмосферное, кПа;  $P_a = 101,3$  кПа.

Расчёт массы сжатого газа, участвующего в формировании первичной ударной волны  $M_r$ , кг, проводится по формуле:

$$M_r = (\pi/4) \cdot d_{тр}^2 \cdot \rho_n \cdot P_p [293/(T_p \cdot z \cdot 1,033)] \cdot L_p, \quad (2.12)$$

где  $\pi$  – число пи;  $\pi = 3,14$ ;

$d_{тр}$  – внутренний диаметр трубопровода, м;  $d_{тр} = 0,1$  м;

$\rho_n$  – плотность газа при нормальных условиях ( $P_a = 101,3$  кПа;  $T = 0^\circ$  C), кг/м<sup>3</sup>;

Согласно исходным данным,  $\rho_n = 0,687$  кг/м<sup>3</sup>;

$P_p$  – давление в трубопроводе до разрыва (рабочее), кгс/см<sup>2</sup>;  $P_p = 75$  кгс/см<sup>2</sup>;

$T_p$  – температура газа в газопроводе до разрыва, К. Принимаем  $T_p = T_{oc}$ ;

$T_{oc}$  – температура окружающей среды, К. Так как газопровод-отвод подземный, за температуру окружающей среды принимаем температуру почвы на глубине 0,8 м. По принятым данным среднегодовая температура почвы (на глубине 0,8 м) равна 11°C,  $T_{oc} = 284,15$  К;

$z$  – коэффициент сжимаемости газа. Расчёт  $z$  проводится по формуле:

$$z = 100 / (100 + 0,12 P_p^{1,15}), \quad (2.13)$$

где  $P_p$  – см. формулу (2.12);

$$z = 100 / (100 + 0,12 \cdot 75^{1,15}) = 0,85;$$

$L_p$  – длина разрушенного участка трубопровода, м (см. рис.2.4). Согласно [14] наиболее вероятная длина разрушенного участка на газопроводах диаметром менее 529 мм составляет от 5 до 20 м. Учитывая значение рабочего давления и диаметр газопровода, принимаем  $L_p = 10$  м;

$$M_r = (3,14/4) \cdot 0,1^2 \cdot 0,687 \cdot 75 \cdot [293/(284,15 \cdot 0,85 \cdot 1,033)] \cdot 10 = 4,75 \text{ кг.}$$

Расчёт плотности газа до разрыва,  $\rho_p$ , кг/м<sup>3</sup>, проводится по формуле:

$$\rho_p = [\rho_n (P_p / T_a)] / [z (P_a / T_p)], \quad (2.14)$$

где  $\rho_n, T_p, z$  – см. формулу (2.12);

$P_p, P_a$  – см. формулу (2.11);

$T_a$  – температура нормальных условий, К.  $T_a = 273,15$  К;

$$\rho_p = [0,687(7357,5/273,15)] / [0,85 (101,3/284,15)] = 61,068 \text{ кг/м}^3.$$

Следовательно,

$$A_r = - (7357,5/ 61,068) \cdot [1/(1,32-1)] \cdot [(101,3/ 7357,5)^{1,32-1/ 1,32} - 1] = 242,3 \text{ Дж/кг}$$

Таким образом.

$$M_{\text{ТНТ}} = 1,9 \cdot 0,8(4,75 \cdot 242,3/ 4,24 \cdot 10^6) = 4,126 \cdot 10^{-4} \text{ кг.}$$

Характеристиками воздушной волны сжатия, вызванной расширением природного газа, являются: избыточное давление на фронте волны, импульс положительной фазы сжатия, период положительной фазы сжатия.

Расчёт избыточного давления на фронте волны  $\Delta P_{\text{фр}}$ , (кПа), проводится по формуле:

$$\Delta P_{\text{фр}} = 1000[(0,084/ R_n) + (0,27/ R_n^2) + (0,7/R_n^3)], \quad (2.15)$$

где  $R_n$  – приведённое расстояние от точки аварии до поражаемого объекта.

Расчёт приведённого расстояния от точки аварии до поражаемого объекта,  $R_n$ , проводится по формуле:

$$R_n = R / M_{\text{ТНТ}}^{0,33}, \quad (2.16)$$

где  $R$  – расстояние от точки аварии до поражаемого объекта, м;

$M_{\text{ТНТ}}$  – см. формулу (2.10).

Расчёт импульса положительной фазы сжатия  $I^+$ , (кПа•с), проводится по формуле:

$$I^+ = 0,4(M_{\text{ТНТ}}^{0,67}/R), \quad (2.17)$$

где  $R$  – см. формулу (2.16);

$M_{\text{ТНТ}}$  – см. формулу (2.10);

Расчёт периода положительной фазы сжатия  $\tau^+$ , с, проводится по формуле:

$$\tau^+ = 1,5 \cdot 10^{-3} \cdot M_{\text{ТНТ}}^{0,167} \cdot \sqrt{R}, \quad (2.18)$$

где  $R$  – см. формулу (2.16);

$M_{\text{ТНТ}}$  – см. формулу (2.10).

В таблице 2.6 приведены расчётные величины  $\Delta P_{\text{фр}}$ ,  $I^+$ ,  $\tau^+$ , в зависимости от выбранных значений  $R$ .

Таблица 2.6. Расчётные величины  $\Delta P_{\text{фр}}$ ,  $I^+$ ,  $\tau^+$ , в зависимости от значений  $R$

$R$ , м	$\Delta P_{\text{фр}}$ , кПа	$I^+$ , кПа•с	$\tau^+$ , с
2	0,0173	0,00108	0,000577
5	0,0069	0,000432	0,000913
10	0,0034	0,000216	0,00129

**Выводы.** Сравнение полученных расчётных значений  $\Delta P_{\text{фр}}$ ,  $I^{+}, T^{+}$  (см. таблицу 2.6) с пороговыми значениями, приведёнными в таблицах 2.2 – 2.4, позволяет сделать вывод, что возникающая при разрушении газопровода-отвода первичная воздушная волна не представляет прямой угрозы для жизни человека, оказавшегося даже в непосредственной близости ( $> 2,0$  м) от центра разрыва, и не способна вызвать какие-либо повреждения зданий и сооружений, расположенных за пределами существующих нормативных разрывов.

Для расчёта параметров воздушной ударной волны, возникающей при «раннем» зажигании, происходящем в период условно симметричного (полусферического) расширения исходного объёма выбрасываемого газа, в качестве наиболее консервативной расчётной схемы принимаем [14], что вся участвующая в процессе масса газа смешана с воздухом до стехиометрической концентрации и происходит центральное поджигание газозвушной смеси в объёме эквивалентной полусферы.

Согласно [19], метан относится к 4 классу горючих веществ по степени чувствительности к возбуждению взрыва, а окружающая местность в районе предполагаемой аварии (ПК 100) относится к 4 виду «свободное пространство». Исходя из этих положений, определяем режим взрывного превращения: дефлаграционный, диапазон б, что в свою очередь определяет формулу расчёта скорости видимого фронта пламени.

Расчёт скорости видимого фронта пламени  $w_{\text{ф}}$ , м/с, проводится по формуле:

$$w_{\text{ф}} = 26 M_{\text{э}}^{0,167}, \quad (2.19)$$

где  $M_{\text{э}}$  – эквивалентная масса газа, участвующая во взрывном превращении, кг.

Расчёт эквивалентной массы газа  $M_{\text{э}}$ , кг, проводится по формуле:

$$M_{\text{э}} = M_{\text{Г}} + (2G_{\text{кр}} \cdot \Delta t_{\text{з}}), \quad (2.20)$$

где  $M_{\text{Г}}$  – масса газа, заключённая при рабочем давлении в пределах разрушенного участка, кг; см. формулу (2.12);

$G_{\text{кр}}$  – критический расход газа в месте разрыва из одной стороны разрыва трубопровода, кг/с;

$\Delta t_{\text{з}}$  – время задержки воспламенения, с.

При расчётах исходят из предположения, что  $\Delta t_{\text{з}}$  составляет несколько секунд.

Принимаем  $\Delta t_{\text{з}} = 1, 2, 3$  секунды.

Расчёт критического расхода газа  $G_{\text{кр}}$ , кг/с, проводится по формуле:

$$G_{\text{кр}} = \mu \left( \pi d_{\text{тр}}^2 / 4 \right) \sqrt{P_{\text{р}} \cdot \rho_{\text{р}} \cdot k \cdot [2 / (k+1)]^{(k+1) / (k-1)}}, \quad (2.21)$$

где  $\mu$  – коэффициент расхода, который характеризует степень заполнения струёй истекающего газа поперечного сечения трубы на последнем участке аварийного газопровода. Согласно [20] в соответствии с результатами экспериментальных работ  $\mu$  меняется в интервале от 0,85 в начале процесса истечения, до 1,0 в период окончания. Принимаем  $\mu = 0,85$ ;

- $p$ ,  $d_{тр}$  – см. формулы (2.12);  
 $P_p$  – давление рабочее, Па;  $P_p = 7357500$  Па;  
 $\rho_p$  – см. формулу (2.14);  
 $k$  – см. формулу (2.11);

$$G_{кр} = 0,85(3,14 \cdot 0,1^2 / 4) \sqrt{7357500 \cdot 61,068 \cdot 1,32 \cdot [2/(1,32+1)]^{(1,32+1)/(1,32-1)}} = 95 \text{ кг/с.}$$

Согласно [19] для определения степеней поражения человека и разрушения зданий и сооружений от воздушной ударной волны, образующейся при дефлаграционном взрывном превращении облака ГВС, сначала определяют безразмерные давление и импульс, а затем соответствующие им размерные величины.

Расчёт безразмерного давления  $P_6$  проводят по формуле:

$$P_6 = (w_{\phi} / c_{\text{в}})^2 \cdot [(\sigma - 1) / \sigma] \cdot (0,83 / R_x - 0,14 / R_x^2), \quad (2.22)$$

где  $w_{\phi}$  – см. формулу (2.23);

$c_{\text{в}}$  – скорость звука в воздухе, м/с. Согласно [14]  $c_{\text{в}} = 340$  м/с;

$\sigma$  – степень расширения продуктов сгорания; Согласно [8] для углеводородов метанового ряда  $\sigma = 7$ ;

$R_x$  – безразмерное расстояние от центра облака газовой смеси до поражаемого объекта.

Расчёт безразмерного импульса,  $I_6$ , проводят по формуле:

$$I_6 = (w_{\phi} / c_{\text{в}}) \cdot [(\sigma - 1) / \sigma] \cdot [1 - 0,4(w_{\phi} / c_{\text{в}}) \cdot (\sigma - 1) / \sigma] \cdot (0,06 / R_x + 0,01 / R_x^2 - 0,0025 / R_x^3), \quad (2.23)$$

где  $w_{\phi}$ ,  $c_{\text{в}}$ ,  $\sigma$ ,  $R_x$  – см. формулу (2.22).

Расчёт безразмерного расстояния от центра облака газовой смеси до поражаемого объекта  $R_x$  проводится по формуле:

$$R_x = 0,01R / (E / P_a)^{0,33}, \quad (2.24)$$

где  $E$  – энергозапас наземного взрыва ГВС, МДж;

$P_a$  – давление атмосферное, Па;  $P_a = 101300$  Па.

При расчётах  $P_6$ ,  $I_6$  необходимо учитывать, что формулы (2.22), (2.23) справедливы при  $R_x > R_{кр} = 0,34$ , в противном случае принимаем  $R_x = R_{кр}$ .

Расчёт энергозапаса наземного взрыва ГВС,  $E$ , МДж, проводят по формуле:

$$E = 2 \cdot M_{\text{э}} \cdot Q_{\text{н}}^{\text{п}}, \quad (2.25)$$

где  $M_{\text{э}}$  – см. формулу (2.20);

$Q_{\text{н}}^{\text{п}}$  – низшая теплота сгорания метана, МДж/кг. Согласно исходным данным, для газа, транспортируемого по газопроводу-отводу,  $Q_{\text{н}}^{\text{п}} = 48,96$  МДж/кг.

Расчёт избыточного давления  $\Delta P$ , кПа, проводится по формуле:

$$\Delta P = P_6 \cdot P_a, \quad (2.26)$$

где  $P_6$  – см. формулу (2.22);

$P_a$  – давление атмосферное, кПа;  $P_a = 101,3$  кПа.

Расчёт импульса волны давления  $I^+$ , кПа•с, проводится по формуле:

$$I^+ = 0,1 \cdot I_6 \cdot P_a^{0,67} (E^{0,33} / c_B), \quad (2.27)$$

где  $I_6$  – см. формулу (2.23);

$P_a$  – давление атмосферное, Па;  $P_a = 101300$  Па;

$E$  – см. формулу (2.25);

$c_B$  – см. формулу (2.22).

Рассчитав значения  $\Delta P$ ,  $I^+$  для выбранных аналитически значений  $R$  и сравнив с пороговыми значениями, приведёнными в таблицах 2.2 – 2.4, можно сделать вывод о возможности поражения человека и степени разрушения зданий и сооружений.

В таблице 2.7 приведены расчётные величины  $M_э$ ,  $E$ ,  $w_\phi$ ,  $R_x$ ,  $P_6$ ,  $I_6$ ,  $\Delta P$ ,  $I^+$  в зависимости от выбранных значений  $R$  и  $\Delta T_3$ .

Таблица 2.7. Расчётные величины  $M_э$ ,  $E$ ,  $w_\phi$ ,  $R_x$ ,  $P_6$ ,  $I_6$ ,  $\Delta P$ ,  $I^+$  в зависимости от выбранных значений  $R$  и  $\Delta T_3$

$\Delta T_3$ , с	1			2			3		
$M_э$ , кг	194,75			384,75			574,75		
$E$ , МДж	19069,92			37674,72			56279,52		
$w_\phi$ , м/с	62,7			70,26			75,13		
$R$ , м	25	35	45	25	35	45	25	35	45
$R_x$	0,434	0,607	0,781	0,346	0,485	0,624	0,34	0,425	0,546
$P_6$	0,0341	0,0288	0,0243	0,0452	0,0408	0,0355	0,0514	0,0493	0,0439
$I_6$	0,0781	0,0373	0,0229	0,15	0,0677	0,0395	0,16	0,098	0,0556
$\Delta P$ , кПа	3,45	2,92	2,46	4,57	4,14	3,6	5,2	4,99	4,97
$I^+$ , кПа•с	1,34	0,64	0,39	3,22	1,455	0,85	3,92	2,406	1,366

**Выводы.** Сравнение полученных расчётных значений  $\Delta P$ ,  $I^+$  (см. таблицу 2.7) с пороговыми значениями, приведёнными в таблицах 2.2 – 2.4, позволяет сделать вывод, что возникающая при «раннем» зажигании воздушная ударная волна не представляет прямой угрозы для жизни человека, оказавшегося даже в непосредственной

близости ( $> 20$  м) от центра разрыва (ПК 100), и не способна вызвать какие-либо повреждения зданий и сооружений, расположенных за пределами существующих нормативных разрывов.

### Сценарий № 3. Разлив метанола

Расчёт зон действия поражающих факторов при аварии по сценарию № 3 выполнен согласно физико-математическим моделям, приведённым в РД 52.04.253-90 [22].

Предполагается, что при перекачивании метанола из автоцистерны в ёмкость для метанола нарушается герметичность оборудования и весь объём метанола разливается на площадку. Согласно [22] при предварительном прогнозе последствий аварии принимаются следующие метеоусловия: температура воздуха  $t_{в}=+20$  °С, степень вертикальной устойчивости воздуха – инверсия, скорость ветра – 1,0 м/с, направление ветра – северо-восточное. Толщина слоя жидкости  $h$  для АХОВ, разливающейся свободно на подстилающую поверхность (поддон или обваловка отсутствуют), принимают  $h = 0,05$  м по всей площади разлива.

Продолжительность поражающего действия АХОВ определяется временем его испарения с площади разлива.

Время испарения  $T$ , ч, АХОВ с площади разлива определяется по формуле:

$$T = (hd) / (K_2 K_4 K_7), \quad (2.28)$$

где  $h$  – толщина слоя АХОВ, м; принимаем  $h = 0,05$  м;

$d$  – плотность АХОВ, т/м<sup>3</sup>; Согласно [11] плотность метанола  $d = 0,791$  т/м<sup>3</sup>;

$K_2$  – коэффициент, зависящий от физико-химических свойств АХОВ. Так как метанол не включен в прил. 3 [22],  $K_2$  определяется по формуле:

$$K_2 = 8,1 \cdot 10^{-6} \cdot P_{нп} \sqrt{M}, \quad (2.29)$$

где  $P_{нп}$  – давление насыщенного пара данного АХОВ, при заданной температуре воздуха, мм рт. ст. Согласно [30] для метанола  $P_{нп} = 95,7$ ;

$M$  – молекулярная масса вещества. Согласно [18], у метанола  $M = 32,04$ .

$$K_2 = 8,1 \cdot 10^{-6} \cdot 95,7 \sqrt{32,04} = 0,00439$$

$K_4$  – коэффициент, учитывающий скорость ветра. Согласно прил. 4 [22],  $K_4 = 1$  (при скорости ветра 1 м/с);

$K_7$  – коэффициент, учитывающий влияние температуры воздуха. Так как метанол не включен в прил. 3 [22], принимается  $K_7 = 1$ ;

Тогда,  $T = (0,05 \cdot 0,791) / (0,00439 \cdot 1 \cdot 1) = 9,009 = 9$  ч.

Эквивалентное количество АХОВ во вторичном облаке  $Q_{э2}$ , т, рассчитывается по формуле:

$$Q_{э2} = (1 - K_1) K_2 K_3 K_4 K_5 K_6 K_7 Q_0 / (H \cdot D), \quad (2.30)$$

где  $K_1$  – коэффициент, зависящий от условий хранения АХОВ. Так как метанол не включен в прил. 3 [22], принимается  $K_1 = 0$ ;

$K_2, K_4, K_7$  – коэффициенты в формуле ( 2.29 );

$K_3$  – коэффициент, равный отношению пороговой токсодозы хлора к пороговой токсодозе метанола. Так для хлора – ПДК<sub>мр</sub> = 0,1 мг/м<sup>3</sup>, для метанола – ПДК<sub>мр</sub> = 1,0 мг/м<sup>3</sup> [12], следовательно,  $K_3 = 0,1$ ;

$K_5$  – коэффициент, учитывающий степень вертикальной устойчивости атмосферы. Для инверсии  $K_5 = 1$ ;

$K_6$  – коэффициент, зависящий от времени  $N, ч$ , прошедшего после начала аварии. Принимаем  $N = 1 \div 9 ч$ , что соответствует продолжительности испарения метанола.

Коэффициент  $K_6$  определяется соотношением:

$$K_6 = N^{0,8} \text{ при } N < T;$$

$$K_6 = T^{0,8} \text{ при } N \geq T;$$

$Q_0$  – количество разлившегося при аварии вещества, т. При разливе из надземной ёмкости  $Q_0$  рассчитывается по формуле:

$$Q_0 = d \cdot k_3 \cdot V_A, \quad (2.31)$$

где  $d$  – плотность метанола, см. формулу (2.28)

$k_3$  – коэффициент максимального заполнения ёмкости;  $k_3 = 0,8$ ;

$V_A$  – объём ёмкости, м<sup>3</sup>;  $V_A = 0,6 \text{ м}^3$ ;

$Q_0 = 0,791 \cdot 0,8 \cdot 0,6 = 0,38 \text{ т}$ ;

$h$  – толщина слоя метанола, м; см. формулу ( 2.28 ).

Расчёт глубины зоны заражения вторичным облаком АХОВ при авариях на технологических ёмкостях и транспорте ведётся с использованием прил. 2 и 5 [22]. В прил. 2 приведены значения глубины заражения вторичным облаком АХОВ  $\Gamma_2$ , км, определяемые в зависимости от  $Q_{э2}$  и скорости ветра.

По рассчитанным значениям  $Q_{э2}$  и скорости ветра 1,0 м/с, по прил. 2 интерполированием находим глубину заражения вторичным облаком метанола  $\Gamma_2$ , для каждого значения  $N$ .

Полученное значение  $\Gamma_2$  сравниваем с предельно возможным значением глубины переноса воздушных масс  $\Gamma_n$ , км, которое определяется о формуле:

$$\Gamma_n = N \cdot v, \quad (2.32)$$

где  $N$  – время от начала аварии, ч; см. формулу (2.30 );

$v$  – скорость переноса переднего фронта зараженного воздуха при данной скорости ветра и степени вертикальной устойчивости воздуха, км/ч;

Определяется по прил. 5 [22], при инверсии и скорости ветра 1 м/с,  $v = 5 \text{ км/ч}$ .

За окончательную расчётную глубину зоны заражения  $\Gamma$ , км, принимается меньшее из двух сравниваемых между собой значений  $\Gamma_2$  и  $\Gamma_n$ .

Площадь зоны возможного заражения  $S_B$ , км<sup>2</sup>, для вторичного облака АХОВ рассчитывается по формуле:

$$S_B = 8,72 \cdot 10^{-3} \Gamma_2 \varphi, \quad (2.33)$$

где  $\Gamma$  – глубина зоны заражения, км;

$\varphi$  – угловой размер зоны возможного заражения, град. Принимается по табл. 1 [11], в зависимости от скорости ветра. При скорости ветра 1 м/с,  $\varphi=180^\circ$ .

Площадь зоны фактического заражения  $S_\Phi$ , км<sup>2</sup>, рассчитывается по формуле:

$$S_\Phi = K_8 \Gamma_2 N^{0,2}, \quad (2.34)$$

где  $K_8$  – коэффициент, зависящий от степени вертикальной устойчивости воздуха, при инверсии  $K_8 = 0,081$ ;

$\Gamma$ ,  $N$  – см. формулы ( 2.32 ), ( 2.30 ).

Результаты расчётов: коэффициента  $K_6$ , эквивалентного количества метанола во вторичном облаке  $Q_{э2}$ , глубины заражения вторичным облаком метанола  $\Gamma_2$ , глубины предельно возможного переноса воздушных масс  $\Gamma_\Pi$ , окончательной расчётной глубины заражения  $\Gamma$ , площади зоны возможного заражения  $S_B$ , площади зоны фактического заражения  $S_\Phi$  в зависимости от значений  $N$  приведены в таблице 2.8.

Таблица 2.8. Результаты расчётов  $K_6$ ,  $Q_{э2}$ ,  $\Gamma_2$ ,  $\Gamma_\Pi$ ,  $\Gamma$ ,  $S_B$ ,  $S_\Phi$ , значения  $N$

$N$ , час	$K_6$	$Q_{э2}$ , т	$\Gamma_2$ , км	$\Gamma_\Pi$ , км	$\Gamma$ , км	$S_B$ , км <sup>2</sup>	$S_\Phi$ , км <sup>2</sup>
1	1	0,0042	0,160	5	0,160	0,04	0,0021
2	1,74	0,0073	0,280	10	0,280	0,123	0,0073
3	2,4	0,01008	0,381	15	0,381	0,228	0,0146
4	3,03	0,01273	0,412	20	0,412	0,267	0,0181
5	3,62	0,0152	0,441	25	0,441	0,305	0,0217
6	4,19	0,0176	0,470	30	0,470	0,346	0,0255
7	4,74	0,02	0,4975	35	0,4975	0,388	0,0296
8	5,28	0,0222	0,521	40	0,521	0,426	0,0333
9	5,8	0,0244	0,549	45	0,549	0,473	0,0379

**На листе графической части курсовой работы изобразить зоны возможного заражения при разливе метанола, которые ограничены полуокруж-**

ностью ( $\varphi = 180^\circ$ , согласно данным таблицы 1 [22]) и радиусом, равным глубине заражения  $\Gamma$ , в зависимости от времени, прошедшего с момента начала аварии  $N$ . Центр полуокружности совпадает с источником заражения, биссектриса угла  $\varphi$  совпадает с осью следа облака метанола и ориентирована по направлению ветра. Принимаем северо-восточное направление ветра, так как именно в этом направлении расположен поселок и автодорога IV категории.

**Выводы.** Территория ГРС уже через несколько минут попадёт в зону заражения, а автодорога попадёт в зону заражения через 35 минут.

Населённые пункты не попадают в зоны заражения при разливе метанола при любом направлении ветра, так как максимальная глубина заражения составляет 0,549 км, а в радиусе 1,0 км от ГРС нет населённых пунктов.

#### Сценарий № 4. Разлив одоранта

Расчёт зон действия поражающих факторов при аварии по сценарию № 4 выполнен согласно физико-математическим моделям, приведённым в нормативно-методических документах [22].

Предполагается, что при перекачивании одоранта из автоцистерны в ёмкость для одоранта нарушается герметичность оборудования и весь объём одоранта разливается на площадку с твёрдым покрытием. Согласно [22], при предварительном прогнозе последствий аварии принимаются следующие метеоусловия: температура воздуха  $t_{в}=+20$  °С, степень вертикальной устойчивости воздуха – инверсия, скорость ветра – 1,0 м/с, направление ветра – северное. Толщина слоя жидкости  $h$  для АХОВ, разливающейся свободно на подстилающую поверхность (поддон или обваловка отсутствуют), принимают  $h = 0,05$  м по всей площади разлива.

Продолжительность поражающего действия АХОВ определяется временем его испарения с площади разлива.

Время испарения  $T$ , ч, АХОВ с площади разлива определяется по формуле:

$$T = (hd) / (K_2 K_4 K_7), \quad (2.35)$$

где  $h$  – толщина слоя АХОВ, м; принимаем  $h = 0,05$  м;

$d$  – плотность АХОВ, т/м<sup>3</sup>; согласно [31] плотность одоранта  $d = 0,825$  т/м<sup>3</sup>;

$K_2$  – коэффициент, зависящий от физико-химических свойств АХОВ. Согласно [22] прил. 3, для одоранта  $K_2 = 0,043$ ;

$K_4$  – коэффициент, учитывающий скорость ветра. Согласно [22] прил. 4, для одоранта  $K_4 = 1$  (при скорости ветра 1 м/с);

$K_7$  – коэффициент, учитывающий влияние температуры воздуха. Согласно [22] прил. 3, для одоранта  $K_7 = 1$  (при  $t_{в}=+20$  °С);

$$T = 0,05 \cdot 0,825 / 0,043 \cdot 1 \cdot 1 = 0,9593 = 1ч;$$

Эквивалентное количество АХОВ во вторичном облаке  $Q_{э2}$ , т, рассчитывается по

формуле:

$$Q_{э2} = (1 - K_1) K_2 K_3 K_4 K_5 K_6 K_7 Q_0 / (hd), \quad (2.36)$$

где  $K_1$  – коэффициент, зависящий от условий хранения АХОВ. Согласно [22] прил. 3, для одоранта  $K_1 = 0,06$ ;

$K_2, K_4, K_7$  – коэффициенты см. в формуле ( 2.35 );

$K_3$  – коэффициент, равный отношению пороговой токсодозы хлора к пороговой токсодозе одоранта. Согласно [22] прил. 3, для одоранта  $K_3 = 0,353$ ;

$K_5$  – коэффициент, учитывающий степень вертикальной устойчивости атмосферы. Для инверсии  $K_5 = 1$ ;

$K_6$  – коэффициент, зависящий от времени  $N$ , ч, прошедшего после начала аварии. Коэффициент  $K_6$  определяется соотношением:

$$K_6 = N^{0,8} \text{ при } N < T ;$$

$$K_6 = T^{0,8} \text{ при } N \geq T ;$$

Принимаем  $N = 0,1ч, 0,25ч, 0,5ч, 0,75ч, 1ч$ , что соответствует продолжительности испарения одоранта;

$Q_0$  – количество разлившегося при аварии вещества, т.

При разливе из надземной ёмкости  $Q_0$  рассчитывается по формуле:

$$Q_0 = d \cdot k_3 \cdot V_A, \quad (2.37)$$

где  $d$  – плотность одоранта, см. формулу ( 2.35 );

$k_3$  – коэффициент максимального заполнения ёмкости;  $k_3 = 0,8$ ;

$V_A$  – объём ёмкости, м<sup>3</sup>;  $V_A = 1,0$  м<sup>3</sup>;

$Q_0 = 0,825 \cdot 0,8 \cdot 1,0 = 0,66$  т;

$h$  – толщина слоя метанола, м; см. формулу ( 2.35 ).

Расчёт глубины зоны заражения вторичным облаком АХОВ при авариях на технологических ёмкостях и транспорте ведётся с использованием прил. 2 и 5 [22]. В прил. 2 приведены значения глубины заражения вторичным облаком АХОВ  $\Gamma_2$ , км, определяемые в зависимости от  $Q_{э2}$  и скорости ветра.

По рассчитанным значениям  $Q_{э2}$  и скорости ветра 1,0 м/с, по прил. 2 [22] интерполированием находим глубину заражения вторичным облаком одоранта  $\Gamma_2$ , для каждого значения  $N$ .

Полученное значение  $\Gamma_2$  сравниваем с предельно возможным значением глубины переноса воздушных масс  $\Gamma_n$ , км, которое определяется по формуле:

$$\Gamma_n = N \cdot v, \quad (2.38)$$

где  $N$  – время от начала аварии, ч, см. формулу (2.36 );

$v$  – скорость переноса переднего фронта зараженного воздуха при данной скорости ветра и степени вертикальной устойчивости воздуха, км/ч. Определяется по прил. 5 [22], при инверсии и скорости ветра 1 м/с,  $v = 5$  км/ч.

За окончательную расчётную глубину зоны заражения  $\Gamma$ , км, принимается меньшее из двух сравниваемых между собой значений  $\Gamma_2$  и  $\Gamma_n$ .

Площадь зоны возможного заражения  $S_v$ , км<sup>2</sup>, для вторичного облака АХОВ рассчитывается по формуле:

$$S_v = 8,72 \cdot 10^{-3} \Gamma_2 \varphi, \quad (2.39)$$

где  $\Gamma$  – глубина зоны заражения, км;

$\varphi$  – угловой размер зоны возможного заражения, град. Принимается по табл. 1 [22], в зависимости от скорости ветра. При скорости ветра 1 м/с,  $\varphi = 180^\circ$ ;

Площадь зоны фактического заражения  $S_f$ , км<sup>2</sup>, рассчитывается по формуле:

$$S_f = K_8 \Gamma^2 N^{0,2}, \quad (2.40)$$

где  $K_8$  – коэффициент, зависящий от степени вертикальной устойчивости воздуха, при инверсии  $K_8 = 0,081$ ;

$\Gamma$ ,  $N$  – см. формулы ( 2.39) и ( 2.36 ).

Результаты расчётов коэффициента  $K_6$ , эквивалентного количества одоранта во вторичном облаке  $Q_{32}$ , глубины заражения вторичным облаком одоранта  $\Gamma_2$ , глубины предельно возможного переноса воздушных масс  $\Gamma_n$ , окончательной расчётной глубины заражения  $\Gamma$ , площади зоны возможного заражения  $S_v$ , площади зоны фактического заражения  $S_f$ , в зависимости от значений  $N$ , приведены в таблице 2.9.

**На листе графической части курсовой работы изобразить зоны возможного заражения при разливе одоранта**, которые ограничены полуокружностью ( $\varphi = 180^\circ$ , согласно табл. 1 [22]) и радиусом, равным глубине заражения  $\Gamma$ , в зависимости от времени прошедшего с момента начала аварии  $N$ . Центр полуокружности совпадает с источником заражения, биссектриса угла  $\varphi$  совпадает с осью следа облака одоранта и ориентирована по направлению ветра. Принимаем северное направление ветра, так как именно в этом направлении расположены ближайшие жилые дома п. Красноармейский.

Таблица 2.9. Результаты расчётов  $K_6$ ,  $Q_{э2}$ ,  $\Gamma_2$ ,  $\Gamma_{п}$ ,  $\Gamma$ ,  $S_B$ ,  $S_{ф}$ , значения  $N$ 

$N$ , час.	$K_6$	$Q_{э2}$ , т	$\Gamma_2$ , км	$\Gamma_{п}$ , км	$\Gamma$ , км	$S_B$ , км <sup>2</sup>	$S_{ф}$ , км <sup>2</sup>
0,1	0,1585	0,03618	0,6876	0,5	0,6876	0,7421	0,024
0,25	0,3299	0,0753	1,0524	1,25	1,0524	1,7384	0,06798
0,5	0,5743	0,1311	1,3985	2,5	1,3985	3,0764	0,1382
0,75	0,7944	0,18136	1,6385	3,75	1,6385	4,2138	0,2053
1	1	0,2283	1,8626	5	1,8626	5,4455	0,281

**Выводы.** На расстоянии  $0,5 \div 0,55$  км севернее ёмкости одоранта находится населённый пункт «Красноармейский» (3670 жителей), который может пострадать при данной аварии. Если при разливе одоранта не принять мер по дезактивации, то при ветре северного направления со скоростью 1 м/с через 0,1 ч южная окраина «Красноармейского» попадёт в зону заражения, а через 1 ч значительная часть населённого пункта будет в зоне заражения.

Необходимо провести инструктаж местного населения, с целью адекватного поведения в случае аварии. Как показывает опыт, правильные действия человека во время аварии значительно снижают негативные последствия.

### Сценарий № 5. Разлив и воспламенение конденсата на площадке АГРС

Расчёт зон действия поражающих факторов при аварии по сценарию № 5 выполнен согласно физико-математическим моделям, приведённым в нормативно-методических документах [26, 27].

Предполагается, что при перекачивании конденсата из ёмкости для сбора в автоцистерну происходит нарушение герметичности и весь объём конденсата, находящийся в автоцистерне разливается на площадку с твёрдым покрытием и воспламеняется. Поражающим фактором является термическое излучение пожара разлива конденсата (ЛВЖ).

Расчёт интенсивности термического излучения пожара разлива ЛВЖ  $q$ , кВт/м<sup>2</sup>, проводят по формуле:

$$q = E_f \cdot F_q \cdot \tau, \quad (2.41)$$

где  $E_f$  – среднеповерхностная плотность термического излучения пламени, кВт/м<sup>2</sup>,  $E_f$  принимают на основе имеющихся экспериментальных данных. Учитывая, что конденсат по своему химическому составу и свойствам является нестабильным бензином, принимаем, согласно [26] для бензина  $E_f$ , в зависимости от диаметра

очага горения.

$F_q$  – угловой коэффициент облучённости;

$\tau$  – коэффициент пропускания атмосферы.

Расчёт эффективного диаметра разлива  $d$ , м, проводят по формуле:

$$d = \sqrt{4S / \pi}, \quad (2.42)$$

где  $S$  – площадь разлива, м. Согласно размерам площадки  $S = 120 \text{ м}^2$ ;

$\pi$  – число пи;  $\pi = 3,14$ .

$$d = \sqrt{4 \cdot 120 / 3,14} = 12,364 \text{ м. Следовательно, } E_f = 57,7 \text{ кВт/м}^2 \text{ (для всех вариантов).}$$

Расчёт высоты пламени  $H$ , м, проводят по формуле:

$$H = 42 d ( m / \rho_v \sqrt{g \cdot d} )^{0,61}, \quad (2.43)$$

где  $m$  – удельная массовая скорость выгорания топлива,  $\text{кг/м}^2 \cdot \text{с}$ ; Согласно [26] принимаем как для бензина  $m = 0,06 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с}$  ;

$\rho_v$  – плотность окружающего воздуха,  $\text{кг/м}^3$ . Согласно [28]  $\rho_v = 1,293 \text{ кг/м}^3$ ;

$g$  – ускорение свободного падения,  $\text{м/с}^2$ ;  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$  ;

$d$  – см. формулу (2.42);

$$H = 42 \cdot 12,364 ( 0,06 / 1,293 \sqrt{9,81 \cdot 12,364} )^{0,61} = 18,47 \text{ м.}$$

Расчёт углового коэффициента облучённости  $F_q$  проводят по формуле :

$$F_q = \sqrt{F_v^2 + F_H^2}, \quad (2.44)$$

где  $F_v = 1/\pi [ 1/S_1 \cdot \arctg( h / \sqrt{S_1^2 - 1} ) + h/S_1 \{ \arctg( \sqrt{(S_1 - 1)/(S_1 + 1)} ) - (A / \sqrt{A_2 - 1}) \times$

$$\times \arctg( \sqrt{(A + 1)(S_1 - 1)/(A - 1)(S_1 + 1)} ) \} ] ; \quad (2.45)$$

$$\text{где } h = 2H/d = 2 \cdot 18,47 / 12,364 = 2,988 ; \quad (2.46)$$

$$S_1 = 2 R / d, \quad (2.47)$$

где  $R$  – расстояние от геометрического центра разлива (ГЦР) до облучаемого объекта, м;

$$A = ( h^2 + S_1^2 + 1 ) / 2S_1, \quad (2.48)$$

$$FH = 1/\pi [ \{ ((B-1)/S_1)/\sqrt{B_2-1} \} \cdot \arctg \{ \sqrt{(B+1)(S_1-1)} / (B-1)(S_1+1) \} - \{ ((A-1)/S_1) / \sqrt{A_2-1} \} \cdot \arctg \{ \sqrt{(A+1)(S_1-1)} / (A-1)(S_1+1) \} ] ; ( 2.49 )$$

где  $B = ( 1+S_1^2 ) / ( 2S_1 )$ . ( 2.50 )

Расчёт коэффициента пропускания атмосферы  $\tau$  проводят по формуле:

$$\tau = \exp [ - 7,0 \cdot 10^{-4} ( R - 0,5 d ) ], ( 2.51 )$$

где  $R, d$  – см. формулы ( 2.47 ) и ( 2.42 ).

Выбор значений  $R$  проводился на основании следующих критериев:

- при воспламенении разлива конденсата, поведение персонала адекватно ситуации, т.е. бег со скоростью 2,5 м/с<sup>2</sup> в оптимальном направлении;
- для определения степеней возможного поражения персонала, необходимо рассчитать значения интенсивности термического излучения пожара разлива в наиболее вероятных местах нахождения персонала, через промежутки времени, указанные в таблице 2.1.

**Из вышеизложенных критериев, выбраны следующие значения  $R$ :**

- 6,20 м – расстояние от ГЦР (геометрический центр разлива) до края разлива, т.е. до границы пожара. В этой зоне наземное оборудование ёмкостей для сбора конденсата и одоранта;
- 7,50 м – расстояние от ГЦР до ворот, через которые персонал может покинуть территорию АГРС, человек преодолеет это расстояние за 2 с (предполагается что в момент начала аварии персонал находится на расстоянии 2,5 м от ГЦР);
- 10,0 м – расстояние 7,5 м от наиболее вероятных мест нахождения персонала, человек преодолеет за 3 с;
- 15,0 м – расстояние от ГЦР до блок-бокса переключений и технологического; расстояние 12,5 м от наиболее вероятных мест нахождения персонала, человек преодолеет за 5 с;
- 20,0 м – расстояние от ГЦР до блок-бокса управления и мастерской для ремонта оборудования; расстояние 17,5 м от наиболее вероятных мест нахождения персонала, человек преодолеет за 7 с;

Рассчитав величины интенсивности термического излучения пожара разлива конденсата  $q$  в зависимости от выбранных значений  $R$  и сравнив их с предельно допустимыми величинами интенсивности термического излучения пожаров разливов ЛВЖ и ГЖ, приведёнными в таблице 2.1, можно сделать вывод о степени возможного поражения человека

В таблице 2.10 приведены расчётные значения:  $S_1, A, F_v, F_H, F_q, \tau, q$ , в зависимости от выбранных значений  $R$ .

Таблица 2.10

R, м	S <sub>1</sub>	A	B	F <sub>v</sub>	F <sub>H</sub>	F <sub>q</sub>	τ	q
6,20	1,003	5,45	1,000004	0,48225	0,506717	0,69952	0,999987	40,36
7,50	1,2132	4,698	1,0187	0,29389	0,1546	0,33208	0,999078	19,14
10,0	1,6176	3,877	1,118	0,15273	0,2005	0,25169	0,99733	14,48
15,0	2,4264	3,26	1,42	0,04854	0,10557	0,11619	0,993846	6,66
20,0	3,2352	3,152	1,77215	0,02265	0,067742	0,07143	0,990374	4,08

**На листе графической части курсовой работы изобразить зоны расчётных величин термического излучения пожара разлива конденсата на территории АГРС.** Центр окружностей совпадает с геометрическим центром разлива.

**Выводы.** При сравнении расчётных значений  $q$  с предельно допустимыми величинами интенсивности термического излучения пожаров разливов ЛВЖ и ГЖ, приведёнными в таблице 2.7, сделаны следующие выводы: Если по каким-либо причинам человек не сможет покинуть район разлива:

- на границе пожара погибнет с вероятностью 50 % через 90 с.;
- на расстоянии 7,5 м от ГЦР (или 1,3 м от границы пожара), получит ожоги I степени через 3 с, ожоги II степени через 6÷7 с, погибнет с вероятностью 50 % через 2,5 мин;
- на расстоянии 10 м от ГЦР получит (или 3,8 м от границы пожара), ожоги I степени через 5 с, ожоги II степени через 10 с; погибнет с вероятностью 50 % через 3 мин;
- на расстоянии 15 м от ГЦР получит (или 8,8 м от границы пожара), ожоги I степени через 15÷20 с, ожоги II через 30÷40 с;
- на расстоянии 20 м от ГЦР (или 13,8 м от границы пожара), человек не получит повреждений в защитной одежде;
- если человек в момент начала аварии находился на расстоянии 2,5 м от ГЦР и при воспламенении конденсата поступает адекватно ситуации (см. выше):
  - очаг пожара человек покинет через 1,5 с, получив ожоги II степени;
  - на расстоянии 7,5 м от ГЦР (или 1,3 м от границы пожара) человек окажется через 2 с, получив ожоги I степени;
  - на расстоянии 10 м от ГЦР (или 3,8 м от границы пожара) человек окажется через 3 с, получив ожоги I степени;
  - на расстоянии 15 м от ГЦР (или 8,8 м от границы пожара) человек окажется через 5 с, возможно получив лёгкие ожоги;
  - на расстоянии 20 м от ГЦР (или 13,8 м от границы пожара) человек окажется через 7 с, не получив повреждений, также можно укрыться за блок-боксами;

Следовательно при адекватном поведении при воспламенении конденсата, персонал серьёзно не пострадает.

Следует также отметить, что, согласно [14] время термической устойчивости надземных трубопроводов ёмкостей для сбора конденсата и одоранта составляет 50 мин, при  $q=50$  кВт/м<sup>2</sup> расчётное значение интенсивности составляет  $q=40,36$  кВт/м<sup>2</sup>, следовательно, при продолжительном пожаре это оборудование может быть повреждено.

### СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральный закон от 21.07.97г. № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов».
2. ПБ 03-517-02. Общие правила промышленной безопасности для организаций, осуществляющих деятельность в области промышленной безопасности опасных производственных объектов.
3. Методические рекомендации по составлению декларации промышленной безопасности опасного производственного объекта. РД 03-357-00.
4. Нормы технологического проектирования. Магистральные трубопроводы. Часть 1. Газопроводы. Раздел 5. Газораспределительные и газоизмерительные станции.
5. СНиП 42-01-2002. Газораспределительные системы.
6. ВРД 39-1-10-069-2002. Положение по технической эксплуатации газораспределительных станций МГ.
7. Данилов А.А., Петров А.И. Газораспределительные станции. – СПб.: Недра, 1997. – 240 с.
8. Земенков Ю.Д., Фролова Л.Я., Антонова Е.О. Газораспределительные станции: Учеб. пособие. – ТГНГУ, 1999.
9. Кязимов К.Г. Основы газового хозяйства: Учебник.- М.: Высш. шк., 2000. – 462.
10. Жила В.А. и др. Газовые сети и установки. – М, 2003.
11. Вредные вещества в промышленности. Т. 1. Органические вещества. Справочник.- Л: Химия 1976.
12. Перечень и коды веществ, загрязняющих атмосферный воздух. СПб.: Изд. Петербург – XXI, 2006.
13. ГОСТ 23781-87\*. Газы горючие природные. Хроматографический метод определения компонентного состава.
14. СТО РД Газпром. 39-1.10-084-2003. Методические указания по проведению анализа риска для опасных производственных объектов газотранспортных предприятий ООО «Газпром». ООО «ВНИИГАЗ». ООО «ИРЦ Газпром». - М., 2003.
15. ГОСТ 12.3.002-75. ССБТ. Процессы производственные. Общие требования безопасности.
16. РД 03-496-02. Методические рекомендации по оценке ущерба от аварий на опасных производственных объектах. Утв. постановлением Госгортехнадзора России от 29.10.02 N 63.
17. НПБ 105-2003. Определение категорий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности. ГУ ГПС МВД РФ и ВНИИПО МВД РФ.- М., 2003.
18. Пособие по применению НПБ 105-2003. Определение категорий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности при рассмотрении проектно-сметной документации. ВНИИПО МВД РФ.- М., 2003.

19. РД 03-409-01. Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей. Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора РФ.- М., 2001.
20. Отраслевая методика расчёта параметров поражающих факторов при авариях на объектах по транспортировке природного газа, для решения задач декларирования промышленной безопасности и обязательного страхования ответственности. Центр по анализу и управлению риском в газовой промышленности.- М., 2001.
21. Отраслевая методика расчёта ожидаемого материального и экологического ущерба, а также числа пострадавших при авариях, на объектах по транспортировке природного газа, для решения задач декларирования промышленной безопасности и обязательного страхования ответственности. Центр по анализу и управлению риском в газовой промышленности. – М., 2001.
22. РД 52.04.253-90. Методика прогнозирования масштабов заражения сильнодействующими ядовитыми веществами при авариях (разрушениях) на химически опасных объектах и транспорте.- Л.: Гидрометеоиздат, 1991.
23. СТО Газпром 2-2.3-351-2009 "Методические указания по проведению анализа риска для опасных производственных объектов газотранспортных предприятий ОАО Газпром.
24. Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 20 апреля 2015 г. N159 "Об утверждении Руководства по безопасности "Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей".
25. Сборник методик по прогнозированию возможных аварий, катастроф, стихийных бедствий в РСЧС (Кн. 2) МЧС РФ- М., 1994.
26. ГОСТ 12.3.047-98 Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля. Госстандарт РФ. – М., 1998.
27. Сафонов В.С. , Одишария Г.Э., Швыряев А.А. Теория и практика анализа риска в газовой промышленности. НУМЦ Минприроды РФ. – М., 1996.
28. Стаскевич Н.Л., Северинец Г.Н., Вигдорчик Д.Я. Справочник по газоснабжению и использованию газа. - Л.: Недра. 1990.
29. СНиП 23.01-99\*. Строительная климатология Госстрой России. – М., 2000.
30. Методические указания по осуществлению надзора на объектах газового хозяйства РД 12-253-98. Утв. Приказом Госгортехнадзора России от 25.12.98 N 251.
31. Инструкция по технике безопасности при производстве, хранении, транспортировании (перевозке) и использовании одоранта. ОАО "Газпром". – М., 1999 г.
32. Методические рекомендации по осуществлению идентификации опасных производственных объектов (РД 03-616-03). Утв. Приказом ГГТН России № 138 от 19.06.2003 г.

33. РД 03-14-2005. Порядок оформления декларации промышленной безопасности опасных производственных объектов и перечень включаемых в нее сведений.
34. Положение по проведению экспертизы промышленной безопасности на объектах газоснабжения. РД 12-608-03.
35. РД 03-418-01. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов. Госгортехнадзор РФ. 10.07.2001 г. №30. – М., 2001.
36. СНиП 12-03-2001. Безопасность труда в строительстве.
37. Сафонов В.С., Одишария Г.Э., Швыряев А.А. "Теория и практика анализа риска в газовой промышленности. НУМЦ Минприроды РФ. – М., 1996.
38. МДС 11-16-2002 п.6.2. Прил. В.
39. ВРД 39-1.10-006.2000\*. Правила технической эксплуатации магистральных газопроводов.
40. Правила безопасности в газовом хозяйстве. ПБ 12-245-98.