

**МИНИСТЕРСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ПО ДЕЛАМ ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ, ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ  
И ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ**

**Всероссийский ордена «Знак Почета»  
научно-исследовательский институт противопожарной обороны»**

На правах рукописи



**Гордиенко Денис Михайлович**

**ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ОСОБО ОПАСНЫХ И ТЕХНИЧЕСКИ  
СЛОЖНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ НЕФТЕГАЗОВОГО  
КОМПЛЕКСА**

Специальность 05.26.03 – Пожарная и промышленная безопасность  
(отрасль нефтегазовая, технические науки)

**ДИССЕРТАЦИЯ**

на соискание ученой степени  
доктора технических наук

Научный консультант  
доктор технических наук, профессор  
Ю.Н. Шебеко

Москва – 2017

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ.....</b>	<b>4</b>
<b>ГЛАВА 1 СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПОДХОДОВ К ОЦЕНКЕ</b>	
<b>И УПРАВЛЕНИЮ ПОЖАРНЫМ РИСКОМ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ</b>	
<b>ОБЪЕКТОВ.....</b>	
<b>1.1 Обзор подходов и применяемых методов определения расчетных величин</b>	
<b>пожарного риска.....</b>	<b>13</b>
<b>1.2 Методология определения расчетных величин пожарного риска для</b>	
<b>производственных объектов.....</b>	<b>32</b>
<b>1.3 Определение критериев допустимого пожарного риска.....</b>	<b>51</b>
<b>1.4 Предложения по совершенствованию методики определения</b>	
<b>индивидуального и социального пожарного риска для производственных</b>	
<b>зданий и сооружений нефтегазовой отрасли.....</b>	<b>61</b>
<b>1.5 Апробирование предложений по совершенствованию методики определения</b>	
<b>расчетных величин пожарного риска. Применение методики, результаты</b>	
<b>и их обсуждение на примерах.....</b>	<b>83</b>
<b>ГЛАВА 2 ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ</b>	
<b>ТОВАРНО-СЫРЬЕВЫХ СКЛАДОВ ЛВЖ И СУГ,</b>	
<b>РАЗМЕЩАЕМЫХ В СТЕСНЕННЫХ УСЛОВИЯХ.....</b>	
<b>2.1 Состояние проблемы обеспечение пожарной безопасности товарно-сырьевых</b>	
<b>складов ЛВЖ и СУГ, размещаемых в стесненных условиях.....</b>	<b>106</b>
<b>2.2 Количественная оценка пожарного риска для товарно-сырьевых складов ЛВЖ и</b>	
<b>СУГ, размещаемых в стесненных условиях.....</b>	<b>109</b>
<b>2.3 Особенности разработки мероприятий по обеспечению пожарной безопасности</b>	
<b>товарно-сырьевых складов ЛВЖ и СУГ, размещаемых в стесненных условиях.....</b>	<b>117</b>
<b>2.4 Типовые требования пожарной безопасности для товарно-сырьевых складов</b>	
<b>ЛВЖ и СУГ.....</b>	<b>128</b>
<b>ГЛАВА 3 ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ</b>	
<b>МОРСКИХ НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩИХ ПЛАТФОРМ.....</b>	
<b>3.1 Состояние проблемы обеспечение пожарной безопасности морских</b>	
<b>стационарных нефтегазодобывающих платформ.....</b>	<b>183</b>

3.2 Количественная оценка пожарного риска для типовой морской стационарной нефтегазодобывающей платформы.....	202
3.3 Особенности разработки мероприятий по обеспечению пожарной безопасности морской стационарной нефтегазодобывающей платформы.....	222
3.4 Основные требования пожарной безопасности к морским стационарным нефтегазодобывающим платформам.....	264
<b>ГЛАВА 4 ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ.....</b>	<b>313</b>
4.1 Состояние проблемы обеспечения пожарной безопасности магистральных трубопроводов.....	313
4.2 Методика определения расчетных значений пожарного риска для линейной части магистральных трубопроводов.....	317
4.3 Количественная оценка пожарного риска на примере типовых магистральных трубопроводов.....	327
4.4 Комплекс мероприятий по обеспечению пожарной безопасности магистральных трубопроводов.....	336
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....</b>	<b>352</b>
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....</b>	<b>354</b>
<b>Приложение А. АКТЫ ВНЕДРЕНИЯ.....</b>	<b>379</b>

## ВВЕДЕНИЕ

### **Актуальность темы исследования**

В настоящее время в России осуществляется проектирование и строительство значительного количества особо опасных и технически сложных производственных объектов нефтегазового комплекса повышенной пожарной опасности, аварии с пожарами и взрывами на которых могут привести к катастрофическим последствиям.

Современные опасные производственные объекты нефтегазового комплекса представляют собой сложный комплекс технологических установок, зданий и сооружений, которые характеризуются высокой концентрацией горючих веществ и материалов, технологического оборудования и трубопроводов, отсутствием достаточных противопожарных разрывов, значительными горизонтальными и вертикальными размерами. Так, например, при реконструкции современных нефтехимических комбинатов появляется необходимость проектирования и строительства пожаровзрывоопасных зданий высотой более 50 м, а иногда и более 100 м.

Кроме того, в последнее время в результате развития населенных пунктов, процессов урбанизации и превращения нескольких населенных пунктов в агломерации значительное число особо опасных производственных объектов нефтегазового комплекса либо приблизилось к населенным пунктам, либо оказалось непосредственно в черте городской застройки.

Такая ситуация сложилась с большинством нефтеперерабатывающих и нефтехимических заводов, включающими в свой состав товарно-сырьевые склады ЛВЖ, ГЖ и СУГ, а также с некоторыми магистральными трубопроводами.

Примерами таких объектов могут служить Московский, Туапсинский, Хабаровские НПЗ, Тобольский НХК, а также подходящие к ним магистральные нефтепроводы, газопроводы и продуктопроводы. Аварии с пожаром и взрывом на таких объектах также могут иметь катастрофические последствия как для самих производственных объектов, так и для населенных пунктов.

Еще одним ярким примером особо опасных производственных объектов нефтегазового комплекса являются морские нефтегазодобывающие платформы, высокая пожарная опасность которых подтверждается крупномасштабными инцидентами,

имевшими место на практике. Аварии с пожарами и взрывами на морских нефтегазодобывающих платформах могут привести к катастрофическим последствиям, для ликвидации которых может потребоваться привлечение сил и средств на уровне одного или даже нескольких государств.

Особое внимание к обеспечению, в том числе, и пожарной безопасности особо опасных и технически сложных объектов нашло свое отражение в законодательстве Российской Федерации. Для таких объектов установлен особый порядок разработки проектной документации, а также ее государственной экспертизы.

Согласно Градостроительному кодексу Российской Федерации к особо опасным и технически сложным объектам, входящим в состав объектов нефтегазового комплекса, относятся опасные производственные объекты, на которых получают, используются, перерабатываются, образуются, хранятся, транспортируются, уничтожаются опасные вещества в количествах, превышающих предельные. Такие вещества и предельные количества опасных веществ соответственно указаны в Федеральном законе от 21 июля 1997 года № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов».

Таким образом, обеспечение пожарной безопасности особо опасных и технически сложных производственных объектов нефтегазового комплекса является актуальной проблемой.

#### **Степень разработанности темы исследования.**

В области обеспечения пожарной безопасности объектов нефтегазового комплекса в прошлом был выполнен ряд исследований. Здесь следует отметить работы Н.Н. Брушлинского, А.Н. Елохина, Н.Н. Бурдакова, А.П. Шевчука, А.Н. Баратова, Ю.Н. Шебеко, И.А. Болодяна, В.И. Присадкова, В.П. Назарова, С.А. Швыркова, С.В. Пузача, В.В.Холщевникова, М.В. Лисанова, В.П. Молчанова, Ю.И. Дешевых, А.И. Гилетича, В.С. Сафонова, М.Н. Мансурова, М.В. Лисанова, А.Н. Черноплекова, И.В. Каплина, *C.M. Pietersen, M. Morris, G.A. Clay, V.C. Marshall, B.J.M. Alle, N.A. Roberts, A. Wolski, B.J. Paaske, L. Nesheim, O. Thomassen, L. Tronstad, A. Rajendram*, и других российских и зарубежных ученых.

Однако, несмотря на большое количество отечественных и зарубежных исследований в рассматриваемой области многие вопросы, касающиеся данного исследования, остаются неохваченными.

Анализ ранее выполненных работ позволил сформулировать **научную задачу** данной работы: совершенствование методов оценки пожарного риска для зданий производственных объектов нефтегазовой отрасли с целью:

- повышения точности расчетных методов;
  - обеспечения возможности учета более широкого перечня мероприятий по обеспечению пожарной безопасности;
  - возможности более точного учета воздействия опасных факторов пожара (ОФП) на человека, реализующихся при различных сценариях развития пожара.
- Также необходима разработка методики определения расчетных величин пожарного риска для линейной части магистральных трубопроводов.

При этом, ранее не проводились исследования по разработке комплекса научно-обоснованных требований к мероприятиям по предотвращению пожара и противопожарной защите морских стационарных нефтегазодобывающих платформ на шельфе России, складов СУГ, ЛВЖ и ГЖ, магистральных трубопроводов при размещении их в особых условиях (на расстояниях до окружающих объектов менее нормативных).

Таким образом, **целью диссертационной работы** является методологическое обеспечение пожарной безопасности особо опасных и технически сложных производственных объектов нефтегазового комплекса.

Достижение поставленной цели потребовало решение **следующих основных задач:**

- 1) совершенствование и развитие методов оценки пожарной опасности и пожарного риска;
- 2) совершенствование критериев допустимого пожарного риска, в том числе критерия, основанного на учете частоты потери основной функции обеспечения безопасности;
- 3) разработка и апробирование подходов к использованию методов логических деревьев событий при выработке мероприятий по обеспечению пожарной безопасности;

4) количественная оценка пожарного риска и влияния различных мероприятий по обеспечению пожарной безопасности для морских нефтегазодобывающих платформ, товарно-сырьевых складов ЛВЖ, ГЖ и СУГ, линейной части магистральных трубопроводов;

5) развитие подходов по использованию автоматических установок газового пожаротушения для снижения пожаровзрывоопасности закрытых объемов производственных помещений в целях реализации аварийной предупредительной флегматизации закрытых объемов производственных помещений;

6) разработка комплекса требований к системам предотвращения пожара и противопожарной защиты морских стационарных нефтегазодобывающих платформ, товарно-сырьевых складов ЛВЖ, ГЖ и СУГ, линейной части магистральных трубопроводов, прокладываемых и размещаемых в особых условиях.

**Объектом исследования** являлись методы определения расчетных величин пожарного риска для производственных зданий и сооружений, особенности особо опасных и технически сложных объектов (включая технологические процессы, объемно-планировочные и технические решения, характеризующие пожарную опасность рассматриваемых в работе объектов), методы обеспечения пожарной безопасности особо опасных и технически сложных производственных объектов нефтегазового комплекса.

В качестве **предмета исследования** рассматривались различные противопожарные мероприятия, направленные на снижение пожарной опасности объектов нефтегазового комплекса и позволяющие обеспечить пожарную безопасность на необходимом уровне.

**Научная новизна** диссертационной работы:

1) создана новая методика оценки пожарного риска для зданий и сооружений производственных объектов нефтегазового комплекса, в том числе для линейной части магистральных трубопроводов, в которой в отличие от существующих методик учитываются различные сценарии развития пожара, влияние эскалации, эффективность технических решений по обеспечению пожарной безопасности, вероятностный характер эвакуации, комплексное воздействие опасных факторов пожара на человека;

2) впервые вводится новый критерий допустимого пожарного риска как частота потери основной функции обеспечения безопасности;

3) развит новый подход к использованию методов логических деревьев событий при разработке мероприятий по обеспечению пожарной безопасности;

4) создана новая база количественных данных по оценке пожарного риска особо опасных и технически сложных производственных объектов нефтегазового комплекса (морские стационарные нефтегазодобывающие платформы, товарно-сырьевые склады ГЖ, ЛВЖ и СУГ, взрывопожароопасные производственные здания высотой более 50 м, линейная часть магистральных трубопроводов);

5) предложен новый способ снижения пожаровзрывоопасности закрытых производственных помещений - аварийная предупредительная флегматизация защищаемого пространства с использованием автоматических установок газового пожаротушения;

б) впервые разработан комплекс научно-обоснованных требований к мероприятиям по обеспечению пожарной безопасности морских стационарных нефтегазодобывающих платформ, товарно-сырьевых складов ЛВЖ, ГЖ и СУГ, размещаемых в стесненных условиях, а также линейной части магистральных трубопроводов.

**Теоретическая и практическая значимость работы** заключается в создании научных основ для нормирования пожарной безопасности особо опасных и технически сложных производственных объектов нефтегазового комплекса.

#### **Методология и методы исследования.**

Методы исследования основаны на использовании элементов теории вероятности и математической статистики, математического моделирования пожаров, выявления закономерностей, описания и обобщения, теоретическом анализе научных работ в области пожарной безопасности опасных производственных объектов.

Моделирование динамики распространения опасных факторов пожара в здании проводилось при помощи программ *FDS (Fire Dynamic Simulator)*, реализующей вычислительную гидродинамическую модель тепломассопереноса при горении, и *CFAST (Consolidated Fire Growth and Smoke Transport Model)*, реализующей двухзонную модель для расчета тепломассопереноса при пожаре. Расчеты времени эвакуа-

ции людей из зданий проводились при помощи упрощенной аналитической модели движения людского потока.

**Положения, выносимые на защиту:**

1) комплекс методов определения расчетных величин пожарного риска для производственных объектов, включающий метод логических деревьев событий, учет вероятностного характера времени блокирования эвакуационных путей ОФП, учет вероятностного характера потери строительными конструкциями несущей способности при определении вероятности эвакуации и учет комплексного воздействия токсичных продуктов сгорания на человека;

2) дополнительный критерий допустимого пожарного риска для особо опасных производственных объектов как значение частоты потери основной функции обеспечения безопасности;

3) результаты оценки пожарного риска для типовой морской стационарной нефтегазодобывающей платформы, товарно-сырьевых складов ЛВЖ, ГЖ и СУГ, размещаемых в особых условиях, линейной части магистральных трубопроводов;

4) предложения по использованию автоматических установок газового пожаротушения для снижения пожаровзрывоопасности в целях реализации аварийной предупредительной флегматизации закрытых объемов производственных помещений;

5) разработанный с учетом предложенных подходов комплекс требований к системе обеспечения пожарной безопасности морских стационарных нефтегазодобывающих платформ, товарно-сырьевых складов ЛВЖ, ГЖ и СУГ, размещаемых в особых условиях, а также линейной части магистральных трубопроводов.

**Степень достоверности и апробация результатов.** Достоверность и обоснованность основных результатов, выводов диссертации обусловлены применением современных методов и средств исследований, внутренней непротиворечивостью результатов и их согласованностью с данными других исследователей, а также положительными результатами внедрения в практику. Идея диссертации базируется на анализе практики и обобщении передового опыта в области обеспечения пожарной безопасности.

Основные результаты работы доложены на:

- 17-й Всероссийской научно-практической конференции (г. Балашиха, ВНИИПО, 2002);
- 18-й Всероссийской научно-практической конференции (г. Балашиха, ВНИИПО, 2003);
- Конференции «Управление рисками и устойчивое развитие единой системы газоснабжения России» (RISM) (г. Москва, ООО «ВНИИГАЗ», 2006);
- Международной конференции «Безопасность морских объектов SOF-2007» (г. Москва, ООО «ВНИИГАЗ», 2007);
- 20-й Международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию создания института «Исторические и современные аспекты решения проблем горения, тушения и обеспечения безопасности людей при пожарах» (г. Балашиха, ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2007);
- 21-й Международной научно-практической конференции (г. Балашиха, ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2008);
- 11-й Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы пожарной безопасности» (г. Балашиха, ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009);
- 11-й Российской научно-практической конференции «Техническое регулирование в нефтяной и газовой промышленности» (г. Москва, ОАО «Газпром», 2009);
- 12-й Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы пожарной безопасности» (г. Балашиха, ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2010);
- 24-ой Международной научно-практической конференции по проблемам пожарной безопасности, посвященной 75-летию создания ВНИИПО (г. Балашиха, ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2012);
- 11-ой Международной выставке и конференции по освоению ресурсов нефти и газа Российской Арктики и континентального шельфа стран СНГ – RAO/CIS Offshore 2013 (г. Санкт-Петербург, ЛЕНЭКСПО, 2013);
- 4-ой ежегодной конференции Института Адама Смита «Промышленная и экологическая безопасность нефтегазовых проектов. Россия и СНГ – HSE In Oil&Gas» (г. Москва, Марриотт Гранд отель, 2014);

– 12-м Международном форуме по промышленной безопасности (г. Санкт-Петербург, Конгресс-Центр «Холидей Инн Санкт-Петербург – Московские ворота», 2014);

– 27-ой Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы пожарной безопасности», посвященной 25-летию МЧС России в рамках проведения Международного салона «Комплексная безопасность – 2015» (г. Москва, ВДНХ, 2015);

– 28-ой Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы пожарной безопасности» (г. Балашиха, ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2016);

– 10-ом Международном салоне «Комплексная безопасность 2017» (г. Ногинск, Ногинский спасательный центр МЧС России, 2017).

**Практическая реализация результатов работы** состоит в следующем:

1) предложенный комплекс требований к мероприятиям по предотвращению пожара и противопожарной защите использован при разработке нормативных документов по пожарной безопасности:

– сводов правил по пожарной безопасности СП 4.13130.2013 «Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям», СП 155.13130.2014 «Склады нефти и нефтепродуктов. Требования пожарной безопасности», СП 156.13130.2014 «Станции автомобильные заправочные. Требования пожарной безопасности», СП 240.1311500.2015 «Хранилища сжиженного природного газа. Требования пожарной безопасности»;

– проектов сводов правил по пожарной безопасности «Морские стационарные платформы для добычи нефти и газа на континентальном шельфе. Требования пожарной безопасности», «Склады сжиженных углеводородных газов. Требования пожарной безопасности»;

2) предложения по совершенствованию методики по определению расчетных величин пожарного риска при разработке и внесении изменений в «Методику определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах», разработке «Пособия по определению расчетных величин пожарного риска для производственных объектов» (издана ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2012 г.);

3) разработан и внедрен комплекс мероприятий по обеспечению пожарной безопасности следующих объектов:

- новый комплекс по производству олефинов ОАО «Нижекамскнефтехим»;
- объекты проекта «Сахалин-2»;
- комплекс гидрокрекинга ООО «Афипский НПЗ»;
- магистральные газопроводы проекта «Южный поток»;
- морская ледостойкая стационарная платформа «Приразломная»;
- объекты комплекса по добыче, подготовке, сжижению газа, отгрузке сжиженного природного газа и газового конденсата Южно-Тамбейского газоконденсатного месторождения (проект Ямал СПГ);
- объекты «Западно – Сибирского комплекса глубокой переработки углеводородного сырья в полиолефины мощностью 2,0 млн. тонн в год с соответствующими объектами общезаводского хозяйства».

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано более 137 научных работ.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, выводов, списка литературы и одного приложения. Содержание работы изложено на 386 страницах машинописного текста, включает в себя 57 таблиц, 40 рисунков, список литературы из 267 наименований.

## ГЛАВА 1

# СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПОДХОДОВ К ОЦЕНКЕ И УПРАВЛЕНИЮ ПОЖАРНЫМ РИСКОМ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

### 1.1 Обзор подходов и применяемых методов определения расчетных величин пожарного риска

В области оценки и анализа риска накоплен определенный зарубежный и отечественный опыт. Активно осуществляется разработка и совершенствование методологии оценки пожарного риска.

В последние годы принят ряд международных стандартов и руководящих документов по анализу, оценке и менеджменту риска [1-14], в том числе стандартов, ориентированные на некоторые виды наиболее опасных производственных объектов. Следует отметить, что некоторые из этих международных стандартов приняты в России в качестве соответствующих гармонизированных национальных стандартов (например, [1-4]).

Как показывает анализ литературных источников [1-19], в настоящее время за рубежом отсутствует общепризнанный единый метод оценки пожарного риска. При этом способы анализа риска устанавливаются для объектов, представляющих повышенную опасность, например, атомных электростанций, объектов производства, транспортировки и хранения значительных количеств пожаровзрывоопасных веществ и материалов. Например, в странах ЕЭС вопросы количественной оценки уровня опасности промышленных объектов отражены на законодательном уровне Директивой Севезо II о предотвращении крупных аварий [15-17].

Для остальных объектов устанавливаются лишь общие принципы, по которым должен оцениваться пожарный риск, тогда как методики расчетов издаются в качестве рекомендаций (например, [6]), сопровождающих соответствующие стандарты (например, [4, 5]). В качестве расчетных методов допускается применять как качественный анализ, так и количественный, включая индексные методы и расчетно-аналитические. Выбор метода должен производиться в соответствии с целями проведения анализа риска и имеющимися данными об объекте.

Целью анализа риска может быть, как установление количественных значений риска для сравнения его с предельно допустимым значением и оценки достаточности уровня обеспечения пожарной безопасности, так и определение относительного уровня опасности для сравнения различных объектов, либо выбора альтернативных проектных решений на одном объекте.

Для оценки пожарного риска применимы общие методы оценки риска технологических систем, проектов, оборудования [1-3] с учетом специфики пожара как одного из видов техногенной аварии.

Стандарт [1] устанавливает указания по выбору и реализации методов анализа риска технологических систем, под которыми понимаются составные объекты любого уровня сложности, которые могут включать персонал, процедуры, материалы, инструменты, оборудование, средства обслуживания, программное обеспечение.

Общий процесс анализа и оценки риска в соответствии с [1] приведен на рисунке 1.1.

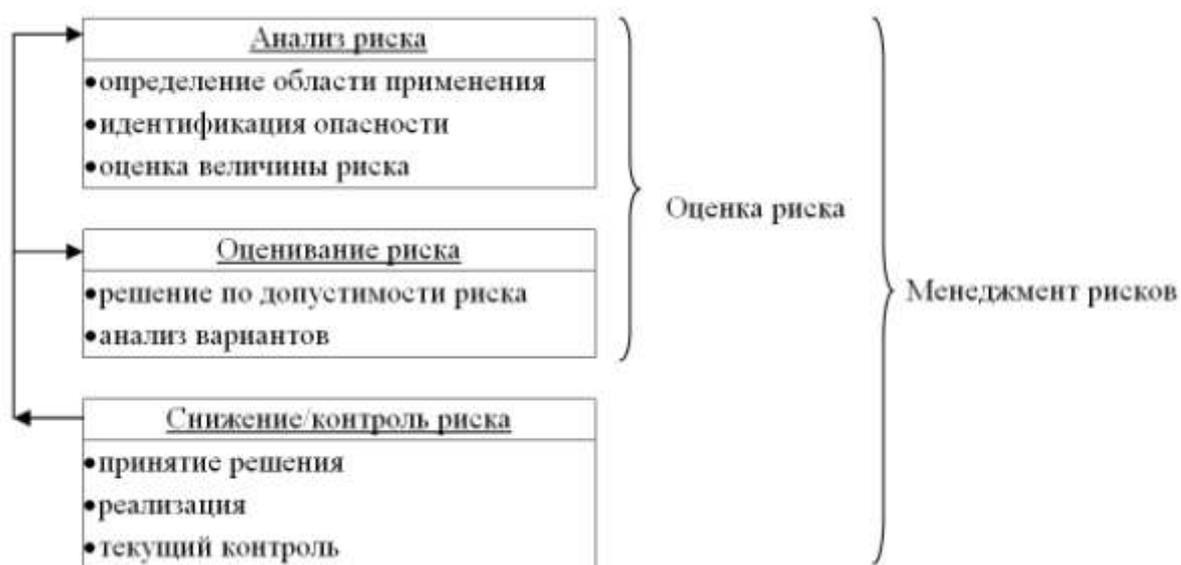


Рисунок 1.1 – Процесс анализа, оценки и управления риском

Методы анализа риска в соответствии со стандартом [1] приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Методы анализа риска

Метод	Описание применения
Анализ «дерева событий»	Совокупность приемов идентификации опасности и анализа частот, в которых используется индуктивный подход с целью перевода различных инициирующих событий в возможные исходы
Анализ видов и последствий отказов, а также анализ видов, последствий и критичности отказов ( <i>FMEA</i> )	Совокупность приемов идентификации главных источников опасности и анализа частот, с помощью которых анализируются все аварийные состояния данной единицы оборудования на предмет их влияния, как на другие компоненты, так и на систему в целом
Анализ «дерева неисправностей»	Совокупность приемов идентификации опасности и анализа частот нежелательного события, с помощью которых определяются все пути его реализации. Используется графическое изображение
Исследование опасности и связанных с ней проблем ( <i>HAZOP</i> )	Совокупность приемов идентификации фундаментальной опасности, при помощи которых оценивается каждая часть системы с целью обнаружения того, могут ли происходить отклонения от назначения конструкции и какие последствия это может повлечь
Анализ влияния человеческого фактора	Совокупность приемов анализа частот в области воздействия людей на показатели работы системы, при помощи которых определяется влияние ошибок человека на надежность
Предварительный анализ опасности	Совокупность приемов идентификации опасности и анализа частот, используемых на ранней стадии проектирования с целью идентификации опасностей и оценки их критичности
Структурная схема надежности	Совокупность приемов анализа частот, на основе которых создается модель системы и ее резервов для оценки надежности системы

Согласно [1] методы, используемые для оценки риска, обычно являются количественными. Однако полный количественный анализ не всегда возможен из-за недостатка информации о технологической системе. При таких обстоятельствах может оказаться эффективным сравнительное количественное или качественное ранжирование риска специалистами в данной области.

Элементы процесса оценки величины риска являются общими для всех видов опасности. В том случае, если анализу подвергается промышленное оборудование, в первую очередь проводится анализ частот, во вторую очередь анализу подвергаются последствия реализации опасности.

В стандарте [1] приведены общие указания в части использования различных методов анализа риска. В частности, даны рекомендации по применению метода логических деревьев событий.

Указанный метод представляет собой совокупность количественных или качественных приемов, которые используются для идентификации возможных исходов

иницирующего события и, если это требуется, их вероятностей. Метод логических деревьев событий широко используется для объектов, характеризующихся особенностями проекта, которые способствуют снижению аварийности и позволяют выявлять последовательности событий, которые, в свою очередь, приводят к появлению определенных последствий инициирующего события. Предполагается, что каждое событие в последовательности представляет собой либо исправность, либо неисправность (ветвление «Да»/«Нет»). В [1] приведен пример дерева событий для взрыва пыли с указанными на нем условными вероятностями реализации различных ветвей (см. рисунок 1.2).



Рисунок 1.2 – Пример логического дерева событий [1]

Стандарт [2] устанавливает общие требования к менеджменту риска при проектировании. В частности, в [2] указывается, что анализ риска может быть выполнен как качественными, так и количественными методами.

При анализе риска могут быть применены следующие методы [2]:

- анализ дерева неисправностей;
- анализ видов и последствий отказов;
- анализ дерева событий, чувствительности,
- статистические методы анализа.

Стандарт [3] устанавливает метод анализа дерева неисправностей и содержит руководство по его применению. Дерево неисправностей – это организованное графическое представление условий или других факторов, вызывающих нежелательное событие, называемое вершиной событий. Представление приводит в форме, которая может быть понята и проанализирована.

Анализ дерева неисправностей является в основном дедуктивным (нисходящим) методом анализа, нацеленного на точное определение причины или комбинации причин, приводящих к вершине событий. Пример дерева неисправностей или дерева отказов приведен на рисунке 1.3.

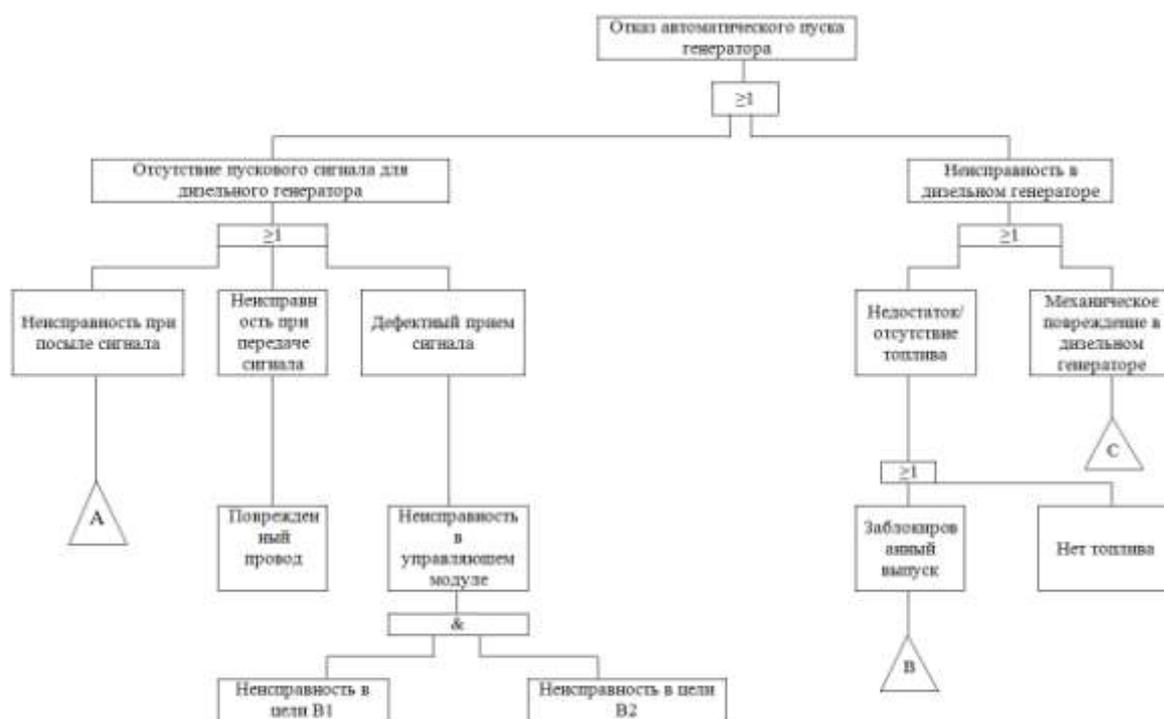


Рисунок 1.3 – Пример логического дерева неисправностей (отказов) [3]

Таким образом, к настоящему времени на уровне международных стандартов разработан и с успехом применяется формальный аппарат анализа риска, включающий построение логических деревьев (дерево неисправностей, позволяющее анализировать совокупность событий, приведших к наступлению заданного результата; дерево событий, позволяющее анализировать последствия данного инициирующего события).

Применительно к вопросам оценки пожарного риска следует отметить стандарт [4] и руководящие документы [5-7]. Указанные документы содержат указания в отношении общих принципов оценки пожарного риска и в значительной степени ориентированы на оценку пожарного риска для зданий.

Стандарт [4] устанавливает основные положения и основные принципы менеджмента риска, включающего, в том числе количественный анализ и оценку пожарного риска.

Согласно [4] пожарный риск (*fire risk*):

а) Риск события или сценария – сочетание вероятности реализации этого события или сценария и его последствия, часто выражаемый в виде произведения вероятности и величины последствий;

б) Риск объекта защиты – сочетание вероятности и последствий событий или сценариев для соответствующего объекта защиты, часто выражаемый в виде суммы рисков этих событий или сценариев.

Согласно [4] оценка пожарного риска (*fire risk assessment*) – это установленная процедура оценки пожарного риска объекта защиты (конструкций здания и сооружений, а также других объектов исследований) с учетом установленных критериев допустимости риска.

В соответствии с [4] менеджмент риска включает оценку риска, интерпретацию полученных результатов, принятие риска (сравнение с критериями) и обмен информацией о риске. При этом может потребоваться повторная оценка риска. Оценка пожарного риска может также быть использована для оценки приемлемости альтернативных проектных решений объекта при проектировании или реконструкции с точки зрения достижения выполнения критериев допустимости и соответствия установленным требованиям пожарной безопасности.

В стандарте [4] рассмотрены условия, при которых целесообразно проведение оценки пожарного риска, установлены основные этапы оценки пожарного риска. Отмечается необходимость рассмотрения различных сценариев возникновения и развития пожара при проведении оценки пожарного риска.

Количественную оценку пожарного риска согласно [4] проводят в случае, когда есть возможность установить возможные сценарии пожара, вероятности реализации и последствия событий.

На рисунке 1.4 представлена схема менеджмента пожарного риска.



Рисунок 1.4 – Схема менеджмента пожарного риска [4]

Важный этап оценки пожарного риска – это идентификация опасностей, необходимых при определении и выборе сценариев, используемых при оценке риска. Для анализа выбирают один сценарий и оценивают вероятность и последствия его реализации. Эту процедуру повторяют до тех пор, пока не будет проведен анализ всех отобранных сценариев. В этом случае объединенный пожарный риск объекта вычисляют как сумму пожарного риска по всем сценариям, если они являются статистически независимыми.

Вычисления пожарного риска можно проводить путем использования так называемых экспресс-методов. В этом случае на заключительном этапе оценки риска, соответствующие сценариям, не суммируют, а выбирают сценарии с наибольшим пожарным риском.

В [4] отмечается, что количество различных сценариев пожара может быть столь велико, что не представляется возможным провести анализ каждого из них. Поэтому при любой оценке пожарного риска должна быть разработана структура сценария «управляемого размера», а количественная оценка риска такого сценария должна быть разумной и гарантировать оценку общего пожарного риска. Основными методами достижения этой цели являются: идентификация опасных событий, объединение сценариев в группы и исключение сценариев с незначительным риском.

Важным этапом оценки пожарного риска является этап определения частоты (вероятности) реализации событий, рассмотрение которых требуется при проведении оценки пожарного риска.

К вероятностям, используемым при определении количественной оценки риска, относятся частоты реализации инициирующих пожар событий, вероятности изменения состояния рассматриваемой системы, в том числе вероятности безотказной работы противопожарного оборудования.

Оценка вероятности может быть получена на основе одного из трех подходов:

- 1) прямая оценка на основе обработки статистических данных;
- 2) анализ модели, устанавливающей взаимосвязь вероятности с другими вероятностями, например, модели взаимосвязи вероятности возгорания с вероятностями отказа компонентов оборудования, человеческой ошибки, близости к горючим материалам и другими характеристиками;
- 3) технический и/или научный анализ.

Оценка частоты может быть также проведена на основе моделирования [4]. Главное преимущество использования моделирования состоит в том, что в отличие от других методов оценки, оно обычно обеспечивает получение не только количественных оценок, необходимых для анализа риска рассматриваемого объекта, но также дает возможность проследить взаимосвязь изменений в рассматриваемом объекте с изменениями полученных значений вероятности. Эта зависимость полезна в случае, когда при оценке пожарного риска при первоначальном состоянии рассматриваемого объекта не получена приемлемая оценка пожарного риска.

Использование метода моделирования не исключает использование экспериментальных или экспертных данных, но снижает потребность в данных по другим

переменным. Может возникнуть необходимость оценки качества модели с точки зрения сложности, достоверности и соответствия научным данным, а также требуемой неопределенности исходных данных для модели по сравнению с неопределенностью данных при их непосредственном применении.

Метод Монте-Карло не является альтернативным методом оценки вероятности, но является численным методом вычисления пожарного риска для установленного набора распределений вероятностей. Эти распределения используют при отборе сценариев с полностью равными вероятностями, так что выборочное среднее последствий для таких сценариев является наилучшей оценкой взвешенных по вероятности последствий для всего подмножества.

Общая математическая формула суммы вероятностей и последствий для всех сценариев при вычислении пожарного риска имеет вид [4] (суммирование ведется по всем сценариям):

Риск =  $\sum f$  (вероятность, последствие для данного сценария).

Наиболее часто используют следующие формулы:

а) Риск =  $\sum$  (вероятность сценария, умноженная на последствия данного сценария).

б) Риск = Сумма вероятностей всех сценариев, где последствия превышают установленный порог безопасности.

Первая из вышеприведенных формул определяет пожарный риск для сценария как математическое ожидание, т.е. произведение вероятности и последствий сценария, и определяет объединенную оценку пожарного риска как сумму рисков для всех сценариев. Обычно используют именно этот подход. При этом метод деревьев событий является обычной формой для оценки пожарного риска, где используют математическое ожидание в качестве показателя пожарного риска.

Следует отметить, что стандартом [4] какие-либо конкретные методы расчета риска, моделирования процессов возникновения и развития аварий не устанавливаются. Общие положения гармонизированного национального стандарта РФ [4] не соответствует нормативным правовым актам [20, 21]. Поэтому во введении стандарта [4] указано, что при использовании этого ГОСТ Р следует помнить, что оценку пожарного риска для конкретного объекта защиты необходимо выполнять в соответ-

вии с требованиями нормативно-правовых актов Российской Федерации в области обеспечения пожарной безопасности.

Целью руководства [5] является содействие в определении методов оценки пожарного риска. Согласно [5] имеющиеся методы анализа и оценки пожарного риска классифицируются следующим образом:

1. Качественные методы. В качественных методах, как вероятность, так и последствия выражаются на уровне качественного описания. Примером может служить заполнение проверочных листов (в виде ответа на вопросы «Что будет, если ...?»), составление «матриц риска» (таблиц, столбцы которых соответствуют различной тяжести последствий, от незначительных до катастрофических, а строки – частоты (вероятности) событий, от пренебрежимо малой до высокой, с соответствующей классификацией ячеек таблицы по степени риска от низкого до высокого). Качественные методы также включают и анализ логических деревьев событий, если результат анализа формулируется на описательном уровне (высокий или низкий уровень риска, незначительный риск и т. д.).

2. Полуколичественные методы. В полуколичественных методах часть аспектов рассматривается количественно, а другая часть рассматривается на качественном уровне. К таким методам можно отнести построение логических деревьев событий при пожаре и расчет вероятности реализации различных сценариев без исследования последствий каждого сценария. Примером может служить построение логического дерева событий с целью определения вероятности тушения пожара системами автоматического пожаротушения, распространения на смежные помещения и т. д. Наоборот, качественные доводы могут использоваться для выбора одного или нескольких сценариев аварии, а исследования сценариев могут проводиться количественно на основе математического моделирования с привлечением различных моделей. К данному типу относится традиционный анализ при рассмотрении «наихудших» сценариев пожара. К этому же классу относятся и методы индексирования и ранжирования риска [19], в которых качественные доводы используются при формировании набора атрибутов (факторов), определяющих пожарную опасность и защищенность объекта. Выбранные атрибуты оцениваются в некоторых внутренних единицах (бал-

лах) с последующим выведением итоговой оценки и ее интерпретацией с точки зрения обеспеченности пожарной безопасности объекта.

3. Количественные методы. Количественные методы оценки риска включают расчет обеих составляющих риска (частоты и последствий). Риск определяется как вероятность наступления тех или иных опасных последствий пожара (гибель людей, материальный ущерб, экономические потери) в единицу времени – как правило, за год. Такое количественное определение риска является общепринятым и широко используется при анализе различных опасностей техногенного характера. Для расчета вероятности и последствий различных сценариев пожара могут применяться методы статистического анализа, детерминистское, имитационное и стохастическое моделирование, анализ логических деревьев событий и отказов.

4. Техничко-экономические методы. Рассматриваемые методы включают в себя определение затрат на альтернативные проектные решения, обеспечивающие достижение заданных уровней риска.

В [5] приводятся следующие общие выражения для определения пожарного риска:

$$R_t = \sum_{i=1}^n C_i F_i, \quad (1.1)$$

где:  $n$  – количество событий;  $C_i$  – последствия реализации события;  $F_i$  – частота реализации события.

В документе [6] рассмотрены вопросы использования концепции пожарного риска в стандартах и нормах Национальной противопожарной ассоциации США (*NFPA*). В частности, в документе [6] рассмотрены вопросы критериев предельно допустимого пожарного риска и методологии оценки пожарного риска.

В документе [6] метод деревьев событий также рассматривается как основной при проведении оценки пожарного риска. Пример логического дерева событий из документа [6] для сценария пожара в здании приведен на рисунке 1.5.

Целью создания руководства [7] по оценке пожарного риска является предоставление рекомендаций по использованию методологии оценки риска на стадии проектирования и оценки эффективности систем противопожарной защиты зданий. Данное руководство дает рекомендации по выбору и использованию методов оценки

риска в процессе проектировании систем противопожарной защиты. Руководство [7] устанавливает рекомендуемый порядок использования методик оценки риска, также в нем приведен список имеющихся подробных источников по методикам оценки рисков, процедурам и источникам данных.

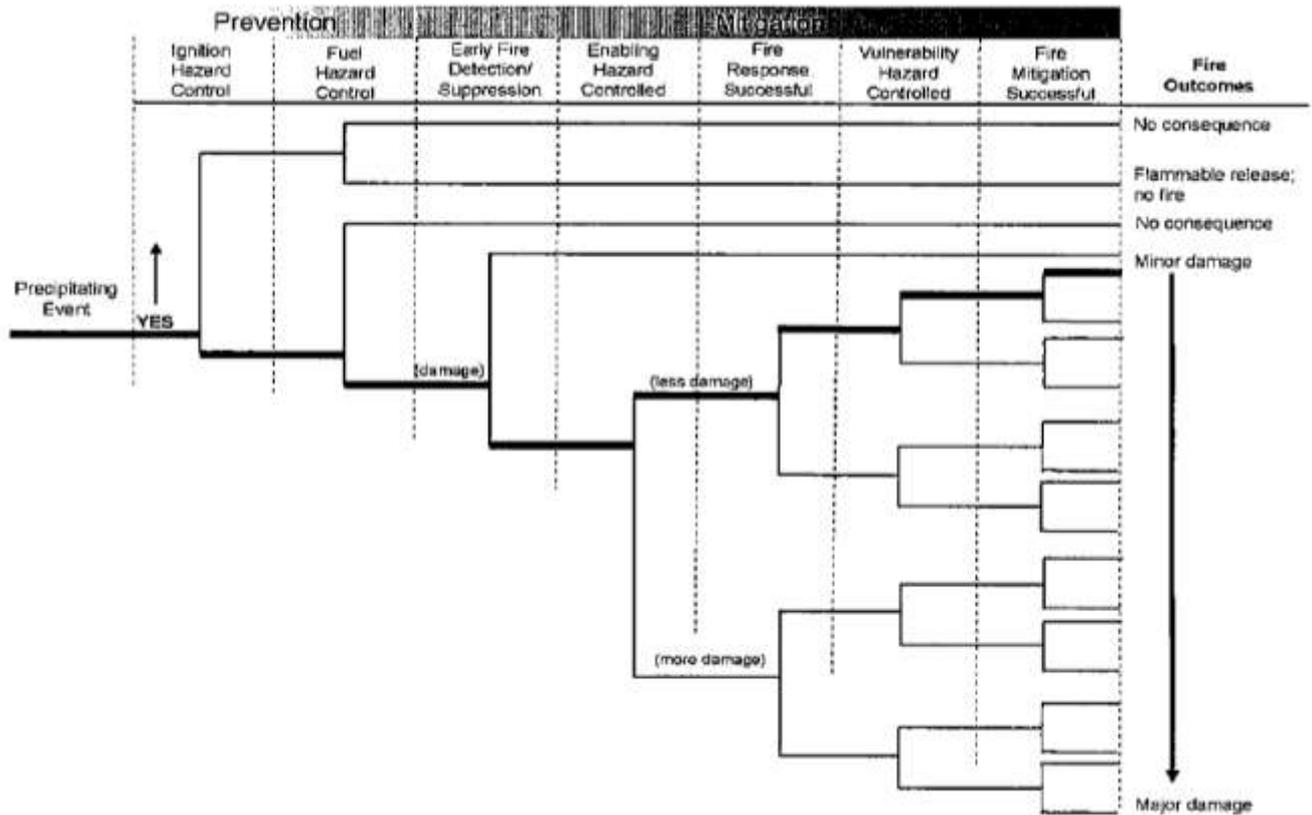


Рисунок 1.5 – Пример дерева событий для сценария пожара в здании [6]

Кроме того, за последние годы в разных странах были разработаны ряд специализированных стандартов, регламентирующих вопросы оценки риска для некоторых типов пожароопасных объектов, учитывающих их специфику (например, стандарты [8-10] для морских нефтегазодобывающих платформ).

В мировой практике стандарт [8] является одним из, определяющим контроль и минимизацию последствий пожаров и взрывов на морских добывающих установках.

Стандарт [8] применяется для:

- стационарных морских установок;
- плавучих производственных, складских и добывающих систем.

Стандарт [8] устанавливает:

- состав систем, обеспечивающих снижение рисков пожаров и взрывов;
- цели каждой из этих систем;
- функциональные требования к каждой из систем и содержит краткие инструкции по управлению рисками пожаров и взрывов на морских установках (с использованием этих систем).

Стандарт [8] основан на подходе, в котором выбор мер по надзору и подавлению пожаров и взрывов определяется на основе оценки риска для морской установки. Методологии, используемые в данной оценке, и конечные рекомендации будут различаться в зависимости от сложности производственного процесса и оборудования, типа устройства (т.е. открытое или закрытое), количества персонала и условий окружающей среды.

Стандарт [8] (справочные приложения) привязан к ряду других стандартов (*ISO*, *IEC*, *API*), инструкций (*UKOOA*), отчетов, книг и т.п. Аналогичных документов в России нет.

Стандарт [9] устанавливает методические принципы использования методов идентификации опасностей и оценки техногенных рисков эксплуатации морских нефтегазовых объектов. Стандарт [9] в первую очередь относится к этапам разработки концепции создаваемой системы и проектирования и носит чисто рекомендательный характер.

Норвежский стандарт [10] был разработан под эгидой норвежской нефтяной промышленности для обеспечения адекватной безопасности, добавленной стоимости и экономической эффективности в отношении существующих и будущих объектов нефтяной промышленности. Целью данного стандарта *NORSOK* является установка требований по эффективному планированию, реализации и использованию процесса анализа рисков и готовности к чрезвычайным ситуациям. Также описывается применение критериев принятия рисков, таким образом, стандарт касается определенных аспектов оценки рисков. Рекомендации по проведению оценки рисков содержатся в приложениях к стандарту.

Стандарт [10] описывает принципы обеспечения безопасности и устанавливает требования к системам обеспечения безопасности стационарных объектов морской

добычи нефти и газа. Стандарт [10] применим при проектировании совместно со стандартами [8, 9].

Аналогичного документа в России нет.

Также в международной практике для оценки риска опасных производственных объектов широкое распространение получило использование руководств *TNO* (Организация прикладных научных исследований, Нидерланды) [11-14], в которых подробно рассматриваются методы выявления возможных аварийных ситуаций, подходы к оценке частот их реализации, методы моделирования аварий и их последствий. Указанные руководства ориентированы, прежде всего, на оценку риска для наружных установок опасных производственных объектов, моделирование физических процессов, протекающих при авариях, связанных с утечкой пожаровзрывоопасных веществ.

В нашей стране также активно ведутся работы по разработке методов оценки пожарного риска для различных объектов. В СССР еще в 1976 г. в рамках государственного стандарта [22] было введено нормирование вероятности воздействия опасных факторов пожара на человека. В 1998 г. начал действовать государственный стандарт [23], в рамках которого регламентированы предельно допустимые значения индивидуального и социального рисков для населения, проживающего вблизи опасных предприятий, а также представлены методы расчета указанных рисков и величин опасных факторов пожара на промышленных объектах. В 2001 г. Госгортехнадзором России утверждены методические указания [24], в которых устанавливаются методические принципы, термины и понятия анализа риска, общие требования к процедуре и оформлению результатов, а также представляются основные методы анализа опасностей и риска аварий на опасных производственных объектах.

В отечественных исследованиях по оценке пожарного риска обычно выделяют три основных аспекта [25-28]:

- анализ риска – выявление нежелательных событий, влекущих за собой реализацию опасности (например, пожара), анализ механизмов возникновения подобных событий, выявление и характеристика возможных негативных последствий реализации опасности;

- оценка риска – процедура количественного определения риска;

– управление риском – совокупность мероприятий, направленных на предупреждение, устранение причин аварий (пожаров) или снижение их последствий, т. е. практическая деятельность, направленная на снижение риска. Сюда же включается и государственное регулирование пожарной безопасности.

Все известные методы, используемые для оценки и анализа риска, могут быть сгруппированы в три основные группы.

Первая группа включает методы, основанные на индексации опасности возникновения аварии (пожара) и ожидаемого ущерба от нее. В большинстве случаев эти методы базируются на обобщении опыта специалистов, занимающихся проблемами обеспечения пожаровзрывобезопасности, и поэтому относятся к эмпирическим методам. Достоинства и недостатки подобных методов подробно рассмотрены в работах [27, 29].

Вторая группа включает методы, которые предполагают использование статистических данных об авариях, причинах их возникновения и ущербе. При наличии объективных статистических данных указанные методы позволяют получать достоверные результаты. Такие методы наиболее приемлемы для оценки риска на объектах с большим опытом практической деятельности, где имеется необходимая информация.

В настоящее время наибольшее распространение получила третья группа методов – расчетно-аналитические. В литературе описаны два различных подхода к оценке риска с помощью расчетно-аналитических методов [27, 28, 30]:

– классический, основанный на рассмотрении деревьев событий, приводящих к реализации того или иного опасного фактора;

– основанный на имитационном моделировании аварий с расчетом их поражающих факторов (разновидность известного метода Монте-Карло). Следует отметить, что методы имитационного моделирования используются также при оценке частот возникновения инициирующих аварийю событий (см., например, работу [31]).

В работе [32] проводится достаточно подробный обзор проблемы анализа риска для химико-технологических объектов, рассматривается полная схема процедуры оценки риска. При этом выделяются следующие основные этапы:

- определение объекта исследования, вида оцениваемого риска;
- выявление основных опасностей рассматриваемого объекта;
- анализ и количественная оценка последствий аварий;

- определение частот или вероятностей аварийных событий;
- определение данных об ожидаемом ущербе и потерях от аварий, которые объединяются с данными по частотам их появления, и вычисление общего риска.

В [33] приводятся требования к порядку проведения анализа опасности химико-технологического объекта. Указывается, что анализ опасности должен завершаться определением возможных аварий и аварийных ситуаций, вероятных причин их возникновения, наиболее опасных путей развития, тяжести последствий. При этом определение сценариев возникновения и динамики развития аварийных ситуаций проводится с помощью типовой схемы анализа вероятных моделей возникновения и развития аварий (логическое дерево событий, при построении которого не учитывается влияние имеющихся защитных мероприятий), предусматривающей поэтапное развитие аварий.

Концепция и алгоритмы оценки пожарного риска для зданий расчетно-аналитическим методом наиболее полно представлены в основополагающих отечественных стандартах по пожарной безопасности [23, 34], работах [28, 35, 36], методике [37].

Работа [25] посвящена рассмотрению вопросов анализа и управления риском в промышленности. В указанной работе проанализированы методы оценки потенциальной опасности промышленных объектов. Особое внимание уделено концепции анализа риска. При этом указывается, что оценка риска включает в себя решение следующих задач:

- построение всего множества сценариев возникновения и развития аварии;
- оценка частот реализации каждого из сценариев возникновения и развития аварии;
- построение полей поражающих факторов, возникающих при различных сценариях развития аварии;
- оценка последствий воздействия поражающих факторов аварии на человека.

В работе [25] также рассмотрены методы построения полей поражающих факторов, возникающих при различных сценариях возникновения и развития аварии, методы оценки последствий воздействия поражающих факторов аварии на человека и другие материальные объекты, способы интерпретации результатов анализа.

В методических указаниях [24] устанавливаются принципы, термины и понятия анализа риска, общие требования к процедуре и оформлению результатов, а также представлены основные методы анализа опасностей и риска аварий на опасных производственных объектах. В соответствии с указаниями [24] процесс проведения анализа риска включает такие этапы, как идентификацию опасностей, оценку риска и разработку рекомендаций по его снижению. Основной задачей этапа идентификации опасностей является выявление и описание всех возможных аварий и сценариев их реализации. Основной задачей этапа оценки риска является определение частот возникновения инициирующих аварийных событий, оценка последствий возможных аварий и обобщение оценок риска.

В работе [30] приводится анализ подходов к управлению уровнем риска и методов его расчета, предложена методика оценки уровня пожаровзрывоопасности наружных технологических установок с использованием понятий индивидуального и социального риска. Отмечается, что общим для большинства существующих методов является использование дерева событий и моделирование последствий для каждой из его ветвей.

Предложенная в работе [30] методика оценки риска аварий с пожарами и взрывами для наружных технологических установок вошла в нормы [38], на основе которых в свою очередь был разработан свод правил [39].

Стандарт [40], разработанный для опасных производственных предприятий ОАО «Газпром», включает, в том числе, указания по проведению анализа риска для объектов, входящих в состав магистральных газопроводов и конденсатопродуктопроводов. В документе достаточно подробно представлена процедура по проведению анализа риска.

Руководство [41] не распространяется на оценку риска для людей и соответственно не может быть применено для проведения расчетов по оценке пожарного риска в соответствии с требованиями нормативных правовых актов [20, 21]. Однако некоторые из подходов к оценке частоты аварийных утечек нефти вдоль трассы нефтепровода и воздействия аварийных разливов нефти на окружающую среду могут быть использованы при оценке пожарного риска.

За последние годы в России было проведено большое количество работ, направленных на разработку и совершенствование методов оценки пожарного риска для различных промышленных объектов (например, морских нефтегазодобывающих платформ [42-46], объектов хранения нефти и нефтепродуктов [47-50], автозаправочных станций [51-55] и других объектов [56-63]).

Проектирование и строительство уникальных производственных объектов с использованием альтернативных способов обеспечения пожарной безопасности обусловило необходимость разработки методов оценки риска, основывающихся как на отечественных, так и на зарубежных подходах (например, документ [64]).

На основе опыта оценки пожарного риска для промышленных предприятий, опыта применения стандарта [23], указаний [24] и руководств [11-14] в 2006 г. было разработано руководство [65]. В дальнейшем на основе этого документа и с учетом опыта его применения была разработана методика [66].

Таким образом, количественная оценка риска сводится к выявлению возможных сценариев развития пожароопасной ситуации и определению последствий каждого сценария развития пожара. К настоящему времени разработан и с успехом применяется аппарат анализа риска, включающий построение логических деревьев событий и отказов. Методика анализа риска на основе логических деревьев применима и для анализа риска при пожарах в зданиях и сооружениях [18, 19].

Возможный пример дерева событий при пожаре в помещении приведен на рисунках 1.5 и 1.6 [6, 44]. При этом на рисунке 1.6 в качестве инициирующего события рассматривается разгерметизации единицы технологического оборудования и поступление в помещение горючих веществ, что характерно для помещений с технологическим оборудованием. Каждая ветвь дерева событий дает сценарий, который имеет существенные особенности с точки зрения динамики нарастания опасных факторов пожара, действия систем противоаварийной и противопожарной защиты, поэтому возможность своевременной эвакуации должна оцениваться для каждого сценария отдельно.

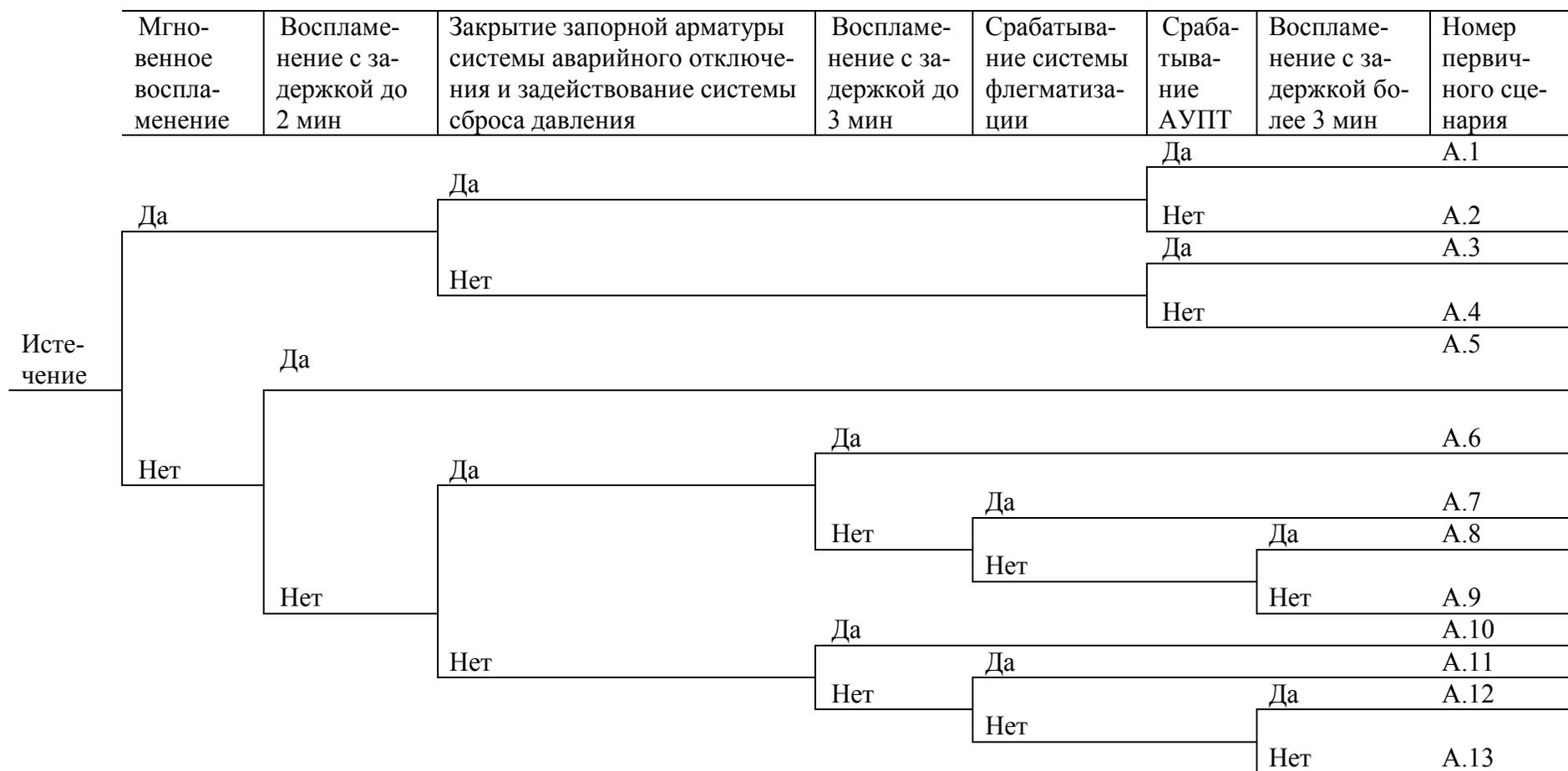


Рисунок 1.6 – Пример дерева событий для аварии, связанной с разгерметизацией технологического оборудования и истечением горючих газов (паров) и/или ЛВЖ в технологическом помещении, оборудованном системой флегматизации с инерционностью срабатывания 3 мин

Достоинством вероятностного подхода к количественной оценке риска является формализованная процедура системного анализа на основе логических деревьев, которые в наглядном виде позволяют представить возможные события и взаимосвязь между ними. Для оценки риска для людей, связанного с поражающими факторами аварий с пожарами и взрывами, широкое применение нашел аппарат пробит-функций, позволяющий связать условную вероятность поражения различного типа (гибель людей, ожоги различной степени тяжести и т. п.) с интенсивностью и продолжительностью воздействия определенного поражающего фактора (например, [10, 13, 30, 38-40, 65-68]).

Для пожаров в помещениях, где существенную роль в развитии пожара и распространении опасных факторов пожара играет взаимодействие с ограждающими конструкциями, простые аналитические модели, как правило, отсутствуют. Кроме того, специфической особенностью является необходимость учета действия или отказа систем противопожарной защиты и расчета времени эвакуации с учетом поведенческих особенностей людей (задержка начала эвакуации в зависимости от контингента, типа системы оповещения, возможность возникновения паники и т. п.) [37, 69-75].

На начальной стадии пожара, наиболее важной с точки зрения эвакуации людей, необходимо более совершенное моделирование динамики опасных факторов пожара (в том числе и с учетом работы систем противопожарной защиты), что ограничивает применимость простых интегральных моделей для среднеобъемных характеристик и требует использования зонных или полевых моделей [28, 37, 72].

## **1.2 Методология определения расчетных величин пожарного риска для производственных объектов**

### **1.2.1 Методология анализа пожарной опасности объекта**

В разделе II методики [9], содержащем методологические основы определения расчетных величин пожарного риска, приведены и общие требования по анализу пожарной опасности производственных объектов

Использование логических деревьев событий является классическим подходом при построении множества сценариев возникновения и развития пожароопасных си-

туаций и пожаров. Наряду с указанным подходом, рекомендуемым для применения положениями методики [66], могут быть использованы и другие методы моделирования возникновения и развития пожаров, например, методы теории надежности (построение и анализ деревьев отказов) или методы статистических испытаний типа Монте-Карло (имитационные модели).

«Дерево отказов» – это графическое представление логических связей между отказами оборудования и аварийными ситуациями. При использовании метода построения и анализа «дерева отказов» фаза возникновения аварийной ситуации разбивается на компоненты, определяемые отказами оборудования. Указанный метод является методом «обратного осмысления», т.е. исследование начинается с аварийной ситуации (обычно называемой верхним событием) и рассматриваются события, которые могут привести к реализации аварийной ситуации. Далее исследуются причины возникновения этих событий и т.д. до тех пор, пока не будут выявлены все первичные события.

Результатом анализа «дерева отказов» является перечень комбинаций отказов оборудования. Каждая такая комбинация (их называют минимальными прерывающимися совокупностями) является минимальным набором отказов оборудования, реализация которых приводит к аварийной ситуации.

В п. 10 методики [66] указаны наиболее вероятные причины возникновения пожароопасных ситуаций на производственных объектах. В п. 12 методики [66] для выявления пожароопасных ситуаций рекомендуется осуществлять деление технологического оборудования (технологических систем) объекта на участки. Указанное деление выполняется, исходя из возможности отдельной герметизации этих участков при возникновении аварии.

На рисунке 1.7 представлена схема использования пожарного риска при подтверждении соответствия объекта требованиям пожарной безопасности в соответствии с требованиями федерального закона [20].



Рисунок 1.7 – Схема использования пожарного риска при подтверждении соответствия объекта требованиям пожарной безопасности

### 1.2.2 Определение частот реализации пожароопасных аварийных ситуаций

Для определения частот реализации пожароопасных ситуаций на производственном объекте используется информация:

- об отказах оборудования, используемого на производственном объекте;
- о параметрах надежности используемого на производственном объекте оборудования;
- об ошибочных действиях персонала производственного объекта;
- о гидрометеорологической обстановке в районе размещения производственного объекта;
- о географических особенностях местности в районе размещения производственного объекта.

Для определения частот реализации пожароопасных ситуаций могут использоваться статистические данные по аварийности или расчетные данные по надежности технологического оборудования, соответствующие специфике рассматриваемого производственного объекта.

Информация о частотах реализации пожароопасных ситуаций (в том числе возникших в результате ошибок персонала), необходимая для оценки риска, может быть получена непосредственно из данных о функционировании исследуемого объекта или из данных о функционировании других подобных объектов. В Приложении №1 методики [66] приведены рекомендуемые сведения по частотам реализации инициирующих пожароопасные ситуации событий для некоторых типов оборудования производственных объектов, частотам утечек из технологических трубопроводов, а также частотам возникновения пожаров в зданиях.

### **1.2.3 Построение полей и оценка последствий воздействия на людей опасных факторов пожара**

Построение полей и оценка последствий воздействия на людей опасных факторов пожара подразумевает расчет размеров зон поражения для рассматриваемых при оценке пожарного риска сценариев развития аварий с пожарами и взрывами, основанный на расчете величин опасных факторов указанных пожаров и взрывов и определении условной вероятности поражения человека для каждого из рассматриваемых сценариев развития аварийных ситуаций.

Согласно статье 9 закона [20] к опасным факторам пожара, воздействующим на людей и имущество, относятся:

- пламя и искры;
- тепловой поток (интенсивность теплового излучения пламени);
- повышенная температура окружающей среды;
- повышенная концентрация токсичных продуктов горения и термического разложения;
- пониженная концентрация кислорода;
- снижение видимости в дыму.

Все вышеуказанные опасные факторы пожара могут представлять существенную опасность для людей при пожарах в производственных помещениях и блокировать эвакуационные пути и выходы.

При этом для пожаров в помещениях, где существенную роль в развитии пожара и распространении опасных факторов пожара играет взаимодействие с ограж-

дающими конструкциями, в отличие от пожаров на наружных установках простые аналитические модели, как правило, отсутствуют. Кроме того, специфической особенностью является необходимость учета действия или отказа систем противопожарной защиты.

В связи с этим возрастает роль методов математического моделирования, и особое значение приобретают вопросы верификации моделей и обоснованности их применения для оценки пожарной опасности и отработки систем противопожарной защиты конкретных объектов.

В работах [72, 76] указывается, что по степени детализации описания термодинамических параметров пожара можно выделить три типа детерминистических моделей: интегральные, зонные (зональные) и полевые.

Интегральный (однозонный) метод является наиболее простым среди существующих методов моделирования пожаров. Суть данного метода заключается в том, что состояние газовой среды оценивается через усредненные по всему объему помещения термодинамические параметры. Соответственно температура ограждающих конструкций и другие подобные параметры оцениваются как усредненные по поверхности. Модели, реализующие интегральный метод для одного помещения реализованы, например, в работах [77, 78].

На основе интегрального метода были разработаны, в частности, рекомендации [77], стандарты [23, 34], которые до 2009 г. (до утверждения методик [37, 66]) являлись основными нормативными документами, регламентирующими методы оценки опасных факторов пожара в помещениях.

Для расчета распространения продуктов горения по зданию при использовании интегрального метода составляются и решаются уравнения аэрации, тепло и массообмена как для каждого помещения в отдельности, так и для всего здания в целом [23, 34, 37, 79]. Однако данные интегральные методы имеют ряд существенных недостатков и ограничений, не позволяющих при оценке пожарного риска учитывать специфику объемно-планировочных решений многих промышленных объектов. Если газовая среда характеризуется значительной неоднородностью, то информативность интегрального метода может оказаться недостаточной для решения практических задач. Подобная ситуация обычно возникает на начальной стадии пожара и при локальных пожарах,

когда в помещении наблюдаются струйные течения с явно выраженными границами и, кроме того, существует достаточно четкая стратификация (расслоение) среды.

Таким образом, область применения интегрального метода, в которой предсказанные моделью параметры пожара можно интерпретировать как реальные, практически ограничивается объемными пожарами, когда из-за интенсивного перемешивания газовой среды локальные значения параметров в любой точке близки к среднеобъемным. За пределами возможностей интегрального метода оказывается моделирование пожаров, не достигших стадии объемного горения, и особенно моделирование процессов, определяющих пожарную опасность при локальном пожаре. Наконец, в ряде случаев даже при объемном пожаре распределением локальных значений параметров пренебрегать нельзя.

Более детально развитие пожара можно описать с помощью зонных (или зональных) моделей, основанных на предположении о формировании двух слоев: верхнего слоя продуктов горения (задымленная зона) и нижнего слоя невозмущенного воздуха (свободная зона). Таким образом, состояние газовой среды в зональных моделях оценивается через усредненные термодинамические параметры не одной, а нескольких зон, причем межзонные границы обычно считаются подвижными.

Двухзонная модель пожара в помещении позволяет эффективно рассчитывать динамику пожароопасных факторов практически для всех вероятных вариантов развития пожара в производственных зданиях, являясь при этом относительно простой и удобной в сравнении с полевыми методами. Одним из неоспоримых преимуществ данной модели является наличие доступных программных средств для использования этого метода на практике. Одним из них является программный комплекс *CFAST* [80, 81].

Полевые модели, обозначаемые в зарубежной литературе аббревиатурой *CFD* (*computational fluid dynamics*), являются более мощным и универсальным инструментом, чем зональные, поскольку они основываются на совершенно ином принципе [76, 82, 83]. Вместо одной или нескольких больших зон в полевых моделях выделяется большое количество (обычно тысячи или десятки тысяч) маленьких контрольных объемов, никак не связанных с предполагаемой структурой потока. Для каждого из этих объемов с помощью численных методов решается система уравнений в частных производных, выражающих принципы локального сохранения массы, импульса,

энергии и масс компонентов. Таким образом, динамика развития процессов определяется не априорными предположениями, а исключительно результатами расчета.

Полевой метод является наиболее универсальным из существующих детерминистических методов, поскольку он основан на решении уравнений в частных производных, выражающих фундаментальные законы сохранения в каждой точке расчетной области. С его помощью можно рассчитать температуру, скорость, концентрации компонентов смеси и т.д. в каждой точке расчетной области.

В [76, 83] приводятся следующие рекомендации по предпочтительным областям использования полевого метода моделирования:

- для помещений сложной геометрической конфигурации, а также помещений с большим количеством внутренних преград;
- помещений, в которых один из геометрических размеров гораздо больше остальных;
- помещений, где существует вероятность образования рециркулярных течений без формирования верхнего прогретого слоя (что является основным допущением классических зонных моделей);
- в иных случаях, когда зонные и интегральные модели являются недостаточно информативными для решения поставленной задачи, либо есть основания считать, что развитие пожара может существенно отличаться от априорных допущений зонных и интегральных моделей.

В своей основе полевой метод не содержит никаких априорных допущений о структуре течения, и в связи с этим принципиально применим для рассмотрения любого сценария развития пожара.

Существуют критерии применения тех или иных моделей в зависимости от объемно-планировочных решений зданий (помещений), необходимости учета влияния работы систем противопожарной защиты (систем дымоудаления, систем пожаротушения) на время блокирования эвакуационных путей. В [66] выбор конкретной модели расчета времени блокирования путей эвакуации опасными факторами пожара осуществляется исходя из определенных предпосылок.

### 1.2.4 Определение расчетного времени эвакуации

Методики [37, 66] допускают возможность использования различных моделей и методов для определения расчетного времени. Ниже рассмотрены модели расчета, допустимые для использования при определении расчетного времени эвакуации людей при пожаре [37, 66]:

- упрощенная аналитическая модель движения людского потока;
- математическая модель индивидуально-поточного движения людей из здания;
- имитационно-стохастическая модель движения людских потоков.

Упрощенная аналитическая модель движения людского потока (определение расчетного времени эвакуации людей из помещений и зданий по расчету времени движения одного или нескольких людских потоков через эвакуационные выходы от наиболее удаленных мест размещения людей) описана в Приложении 2 Методики [37].

Математическая модель индивидуально-поточного движения людей из здания описана в Приложении 3 Методики [37].

Имитационно-стохастическая модель движения людских потоков описана в Приложении 4 Методики [37].

Следует отметить, что при использовании любого из вышеописанных способов вычисления расчетного времени эвакуации людей следует использовать приложение №4 Методики [37] для определения следующих параметров: принципы составления расчетной схемы эвакуации людей, время начала эвакуации  $t_{нэ}$ , параметры движения людей различных групп мобильности, а также значения площадей горизонтальных проекций различных контингентов людей.

### 1.2.5 Особенности оценки пожарного риска для морской стационарной нефтегазодобывающей платформы и примененная методология

Рассматривая вопросы особенностей оценки пожарного риска для МСП, в первую очередь следует отметить, что нормативные значения величин индивидуального пожарного риска для производственных объектов Федеральным законом [20] устанавливаются:

- для людей в зданиях, сооружениях и на территориях производственных объектов;

– для людей, находящихся в жилой зоне, общественно-деловой зоне или зоне рекреационного назначения вблизи объекта.

В силу особенностей расположения МСП – в море, на расстоянии от берега, можно сделать вывод о том, что индивидуальный пожарный риск для МСП определяется только для людей, находящихся непосредственно на территории производственного объекта (в помещениях, модулях и открытых площадках платформы).

Также к особенностям оценки пожарного риска для МСП следует отнести:

1. Многообразие и большое число аварийных ситуаций с пожаром и взрывом, которые могут с разной частотой произойти на МСП. Это обусловлено сложностью компоновочных и объемно-планировочных решений объекта, наличием большого числа оборудования различного функционального назначения, которое размещается на разных уровнях платформы.

2. Высокая вероятность развития аварийных ситуаций по эскалационному сценарию, обусловленная сложностью компоновочных и объемно-планировочных решений объекта в условиях ограниченной площади платформы, а также наличием в большом количестве пожаровзрывоопасных веществ и материалов и др.

3. Большое число различных защитных мероприятий (барьеров безопасности). При проведении количественной оценки пожарного риска для МСП следует учитывать наличие различных систем, обеспечивающих пожарную безопасность и снижение уровня пожарного риска данного объекта.

4. Особенности системы эвакуации на платформе при высокой численности персонала, у которого как рабочие места, так и жилые помещения расположены на пожаровзрывоопасном объекте. На МСП предусмотрено временное убежище, в котором в течение определенного времени персонал будет защищен от воздействия опасных факторов пожара и взрыва. Кроме того, в критических аварийных ситуациях, когда дальнейшее нахождение персонала на платформе представляет угрозу для безопасности его жизни, на МСП предусмотрены мероприятия и специальные средства для осуществления покидания объекта.

Для проведения количественной оценки пожарного риска для МСП в настоящей работе были использованы подходы, заложенные в основу методики [66].

Согласно [66, 187] анализ пожарной опасности технологической среды и параметров технологических процессов предусматривает сопоставление показателей пожарной опасности веществ и материалов, обращающихся в технологическом процессе, с параметрами технологического процесса.

При анализе пожарной опасности технологической среды и параметров технологических процессов на МСП были использованы следующие сведения:

- данные о наличии и виде горючих веществ и материалов, их количестве, физико-химических свойствах и показателях пожарной опасности;
- технологические параметры оборудования (давление, температура, уровни заполнения, материальные потоки) и подводящих/отводящих трубопроводов (диаметры, толщины стенок, расстояние до отсекающей арматуры);
- параметры исполнительных механизмов систем противоаварийной защиты (время закрытия и открытия запорной арматуры, надежность срабатывания, производительность насосов или других устройств аварийного опорожнения);
- геометрические характеристики взаимного расположения оборудования и его элементов.

Согласно [66, 187] определение перечня пожароопасных аварийных ситуаций и параметров для каждого технологического процесса осуществляется на основе анализа пожарной опасности каждого из технологических процессов, предусматривающего выбор ситуаций, при реализации которых возникает опасность для людей, находящихся в зоне поражения опасными факторами пожара, взрыва и сопутствующими проявлениями опасных факторов пожара.

Аварийные ситуации, в результате которых не возникает опасность для жизни и здоровья людей не учитываются при расчете пожарного риска согласно [187].

Наиболее вероятными событиями, которые могут являться причинами пожароопасных ситуаций на МСП, являются следующие:

- выход параметров технологических процессов за критические значения, который вызван нарушением технологического регламента (например, перелив жидкости при сливноналивных операциях, разрушение оборудования вследствие превышения давления по технологическим причинам, появление источников зажигания в местах образования горючих газопаровоздушных смесей);

– разгерметизация технологического оборудования, вызванная механическим (влияние повышенного или пониженного давления, динамических нагрузок и т. п.), температурным (влияние повышенных или пониженных температур) и агрессивным химическим (влияние кислородной, сероводородной, электрохимической и биохимической коррозии) воздействиями;

– механическое повреждение оборудования в результате ошибок персонала, падения предметов, некачественного проведения ремонтных и регламентных работ и т. п. (например, разгерметизация оборудования или выход из строя элементов его защиты в результате повреждения при ремонте).

При определении перечня пожароопасных ситуаций для каждого из участков МСП рассматриваются как события, связанные с выходом взрывоопасной, пожаровзрывоопасной и/или пожароопасной среды из технологического оборудования в результате разгерметизации и появлением источника зажигания, так и события, связанные с появлением источника зажигания, способного инициировать горение постоянной и временной пожарной нагрузки, размещаемой на участке МСП (например, пожары твердых веществ и материалов).

Согласно [187] полностью проанализировать все многообразие пожароопасных аварийных ситуаций на достаточно крупном объекте, таком как МСП, в ряде случаев может не представляться возможным. В то же время проведение расчетов по оценке пожарного риска предполагает рассмотрение как можно более широкого перечня пожароопасных аварийных ситуаций, учитывающего в основном события, которые имели место на практике эксплуатации рассматриваемых объектов. Поэтому при проведении расчетов пожарного риска на МСП разработан перечень расчетных пожароопасных аварийных ситуаций, который, с одной стороны, охватывает все технологические блоки, участки, технологические установки МСП, с другой стороны, по этому перечню могут быть проведены необходимые расчеты при учете вариации различных мероприятий по обеспечению пожарной безопасности.

При этом пожароопасные аварийные ситуации объединяются в группы типовых пожароопасных аварийных ситуаций и ситуации с незначительным риском исключаются [66, 187]. Это направлено на то, чтобы не рассматривать те ситуации, вклад которых в расчетные величины пожарного риска незначителен, и не повлияет на ко-

нечный результат. Однако подобные исключения должны быть точно определены и обоснованы, так как возможны ситуации, когда для каждой из большого количества аварий существует незначительный риск, однако при их объединении суммарный риск может стать существенным. Не следует без предварительного анализа исключать из рассмотрения ситуации только на основании того, что такие ситуации никогда не имели место на практике при эксплуатации схожих объектов.

В соответствии с методикой [66] для определения частоты реализации пожароопасных ситуаций на МСП использована информация:

- об отказах оборудования, используемого на объекте;
- о параметрах надежности используемого на объекте оборудования;
- об ошибочных действиях персонала;
- о гидрометеорологической обстановке в районе размещения объекта;
- о географических особенностях местности в районе размещения объекта.

Также при определении частоты реализации пожароопасных ситуаций может учитываться иная информация, например, информация о воздействии соседних (внешних) объектов (например, столкновение судов, падение вертолета и др.), влиянии неблагоприятных природных явлений (землетрясения, проявления атмосферного электричества, штормовые условия и т.п.) и т.д.

Информация о частотах реализации пожароопасных ситуаций (в том числе возникших в результате ошибок персонала), необходимая для оценки риска, получена непосредственно из данных о функционировании исследуемого объекта или из данных о функционировании других подобных объектов.

Сведения по частотам реализации иницирующих пожароопасные ситуации событий для некоторых типов оборудования МСП, частотам утечек из технологических трубопроводов, а также частотам возникновения пожаров приведены в [10, 66, 161 - 168, 186, 187, 188].

В [260] приведены следующие данные по частотам выбросов из скважин:

- частота выброса при бурении эксплуатационной скважины –  $1,6 \cdot 10^{-3} \cdot \text{год}^{-1}$  (на скважину);
- частота выброса из скважины при добыче –  $9,0 \cdot 10^{-5} \cdot \text{год}^{-1}$  (на скважину).

Данные по условной вероятности реализации определенного диаметра истечения при выбросе из эксплуатационной скважины приведены в таблице 1.2 [260].

Таблица 1.2 – Условная вероятность реализации определенного диаметра истечения при выбросе из эксплуатационной скважины

Диаметр отверстия при истечении, мм	Условная вероятность
10	0,42
25	0,22
50	0,11
100	0,17
Полное разрушение	0,08

Важным вопросом является возможное место выброса. В таблице 1.3 приведены данные по условной вероятности выброса в зависимости от места [260].

Таблица 1.3 – Вероятность выброса в зависимости от места

Место выброса	Условная вероятность места выброса	
	Выброс при бурении	Выброс при добыче
Буровая площадка	0,57	0
Помещение устьев скважин	0,17	0,83
Подпалубное пространство	0,26	0,17

При использовании данных для какого-либо резервуара, емкости, сосуда, аппарата, технологического трубопровода, учитывались частоты разгерметизации для всех размеров утечек, указанные для этой единицы технологического оборудования.

Также для получения частот реализации пожароопасных ситуаций и возникновения пожаров был использован анализ деревьев неисправностей в соответствии со стандартом [189] и документом [24]. Подробнее вопросы использования методов логического анализа при оценке пожарного риска рассмотрены в главе 3.3 настоящей работы.

Оценка опасных факторов пожара проводится с помощью методов, представленных в документах [66, 187].

Оценка последствий воздействия опасных факторов пожара, взрыва на людей для различных сценариев их развития осуществляется на основе сопоставления информации о моделировании динамики опасных факторов пожара на МСП и инфор-

мации о критических для жизни и здоровья людей значениях опасных факторов пожара, взрыва. Для этого использовались критерии поражения людей опасными факторами пожара.

При анализе влияния имеющихся систем обеспечения пожарной безопасности на МСП на расчетные величины пожарного риска рассмотрен комплекс мероприятий по обеспечению пожарной безопасности данного объекта.

Мероприятия по обеспечению пожарной безопасности учитываются при определении частот реализации пожароопасных ситуаций, возможных сценариев возникновения и развития пожаров и последствий воздействия опасных факторов пожара на людей для различных сценариев его развития.

Для МСП в качестве потерь основных функций обеспечения безопасности могут рассматриваться:

- блокирование эвакуационных путей за пределами зоны возникновения пожара до завершения эвакуации людей во временное убежище;
- повреждение средств покидания или временного убежища платформы в течение времени, необходимого для эвакуации персонала во временное убежище и принятия решения о покидании платформы;
- распространение пожара за пределы зоны его возникновения (например, за пределы технологической зоны) в течение времени необходимого для эвакуации и покидания платформы;
- потеря устойчивости платформы или структурной целостности основных несущих конструкций.

При расчетах по оценке риска по каждой основной функции обеспечения безопасности суммарная частота потери отказа должна быть менее  $10^{-4}$  год<sup>-1</sup> по всем сценариям отдельного вида аварии. В качестве отдельных видов аварий рассматриваются:

- пожары;
- взрывы;
- столкновение с судами;
- падение предметов;
- нагрузки от природных воздействий;

– другие инциденты (например, для плавучих установок остойчивость, отказы якорной системы удержания и т.д.).

Следует отметить, что использование критериев стандарта [10] позволяет рассматривать влияние различных защитных мероприятий, не связанных непосредственно с обеспечением безопасности людей, но влияющих на общую безопасность объекта в целом [188].

Сравнение критериев предельно допустимого пожарного риска для производственных объектов в России с международной практикой показывает, что критерии предельно допустимого пожарного риска для персонала производственных объектов, установленные в России, в целом соответствуют практике развитых стран мира.

В соответствии с Федеральным законом [20] для морской стационарной платформы, как для производственного объекта, на котором обеспечение величины индивидуального пожарного риска одной миллионной в год невозможно в связи со спецификой функционирования технологических процессов, допускается увеличение индивидуального пожарного риска до одной десятитысячной в год ( $10^{-4}$  год<sup>-1</sup>). При этом на МСП должны быть предусмотрены меры по обучению персонала действиям при пожаре и по социальной защите работников, компенсирующие их работу в условиях повышенного риска.

Кроме того, для МСП при определении пожарного риска определенный интерес представляет подход, когда устанавливаются не только предельно допустимые значения риска для людей, но и риск потери основной функции обеспечения безопасности, как это осуществляется в Норвегии [10]. Такой подход целесообразно применять для оценки уровня обеспечения пожарной безопасности объектов, аварии на которых могут нанести значительный экологический или материальный ущерб, к которым можно отнести и МСП. В отличие от Федерального закона [20], в котором в качестве основного критерия предельно допустимого риска используются критерии поражения человека опасными факторами пожара, одним из используемых в стандарте [10] критериев предельно допустимого риска является частота потери основных функций обеспечения безопасности. Этот критерий может быть эффективно использован при проектировании МСП, так как подходит для принятия решений в отношении технических мероприятий по обеспечению безопасности. При этом следует четко определять отдель-

ные функции обеспечения безопасности для каждой конкретной МСП в зависимости от ее характеристик.

### **1.2.6 Краткий обзор существующих в России методик оценки риска для линейной части магистральных трубопроводов**

Как в отечественных, так и в зарубежных источниках информации опубликованы работы, посвященные анализу риска на трубопроводном транспорте. Стандартная процедура анализа риска на трубопроводном транспорте, которая соответствует общим положениям [20, 21], включает в себя:

- анализ пожарной опасности объекта (идентификация опасностей);
- определение частоты реализации пожароопасных ситуаций;
- построение сценариев развития аварий;
- расчет и анализ рисков.

Частота реализации пожароопасных ситуаций определяется на основе статистических данных по фактической аварийности на аналогичных объектах. Удельная частота аварий (разгерметизация трубопровода) определяется как прогнозируемое количество аварий на единице длины (например, 1000 км) трубопровода за один календарный год его эксплуатации.

В связи с многообразием причин аварий, определяемых во многом условиями прохождения трассы, а также применяемыми мерами обеспечения безопасности, с целью определения частоты аварий для конкретного участка магистрального трубопровода вводится система классификации, группирующая аварийные ситуации по причинам, вызвавшим инцидент (факторы влияния) [40, 41, 247, 248].

К основным факторам, влияющим на частоту аварийной разгерметизации магистральных трубопроводов, относят природные факторы (грунтовые, гидрологические, климатические, сейсмические, топографические и др.); антропогенные, связанные с человеческой деятельностью; конструктивно-технологические параметры, включающие технические и организационные факторы обеспечения безопасности; производственные, включая условия строительства и некоторые другие.

Разработку подходов к проведению расчетов по оценке пожарного риска для линейной части магистральных трубопроводов целесообразно осуществлять с учетом

существующих в настоящее время в России методик оценки различных видов риска для магистральных трубопроводов. Среди таких методик следует отметить в первую очередь документы [40, 41, 247, 248].

Стандарт [40], разработанный для опасных производственных объектов ОАО «Газпром», включает, в том числе, указания по проведению анализа риска для линейной части магистральных газопроводов и конденсатопродуктопроводов. В документе достаточно подробно представлена процедура по проведению анализа риска. Остановимся подробнее на определении частоты реализации пожароопасных ситуаций, поскольку она относится к исходным данным, определяющим во многом точность проводимых расчетов.

Для оценки ожидаемых частот аварий на отдельных участках магистрального трубопровода рекомендуется применять методики, использующие принцип корректировки среднестатистической удельной частоты аварий с помощью коэффициентов и/или балльных оценок, учитывающих неравнозначное на разных участках трассы влияние различных факторов (например, методика, разработанная в составе рекомендаций [248] – и для газопровода, и для конденсатопродуктопровода).

Рассмотрим кратко основные положения документов [40, 41, 247, 248] в части определения частот, что представляется особенно важным для расчетов пожарного риска.

Система классификации и группировки факторов влияния в соответствии с причинами аварий выделяет 12 групп, содержащих различное количество факторов:

- 1) внешние механические воздействия;
- 2) подземная коррозия;
- 3) стресс-коррозия;
- 4) атмосферная коррозия;
- 5) внутренняя коррозия;
- 6) производственные факторы;
- 7) качество строительно-монтажных работ;
- 8) испытание трубопровода;
- 9) конструктивно-технологические факторы;
- 10) природные факторы и воздействия;
- 11) уровень технической эксплуатации;

12) отказы и аварии, имевшие место в прошлом.

Каждая группа и каждый фактор внутри группы характеризуются определенными относительными вкладами в аварийность магистрального газопровода, учитываемыми с помощью соответствующих весовых коэффициентов, причем относительный вклад группы отражает статистические данные, а фактор внутри группы определяется на основании экспертного анализа.

Заслуживает упоминания один важный аспект.

Для прогнозирования ожидаемой интенсивности аварий газопровода в качестве источников статистических данных были использованы опубликованные литературные данные, в том числе данные Ростехнадзора России и ООО «Газнадзор» ОАО «Газпром». Причем под аварией подразумевался «протяженный» разрыв газопровода (от нескольких метров до ста и более метров) на «полное сечение» и независимое аварийное истечение газа из двух концов трубопровода (вверх и вниз по потоку). В то же время число выявленных дефектов (свищи, трещины и т.д.) превышает число указанных аварий в год более чем на порядок.

Такой подход полностью оправдан при оценке максимального воздействия при возникновении аварийного разрыва трубопровода, но не учитывает опасность частичной разгерметизации трубопровода, которая зачастую реализуется при транспортировке жидких углеводородов.

Предлагаемое для конденсатопродуктопроводов распределение относительной частоты реализации утечек в зависимости от интенсивности истечения жидкости не учитывает утечки с расходом менее 10 кг/с.

Остается открытым также вопрос о необходимости учета вклада разрушения трубопровода в результате диверсии или несанкционированной врезки, составляющего около 50% от всех аварий.

Руководство [41] не распространяется на оценку риска для людей и соответственно не может быть применено для проведения расчетов по оценке пожарного риска в соответствии с требованиями нормативных правовых актов [20, 21]. Однако, некоторые из подходов к оценке частоты аварийных утечек нефти вдоль трассы нефтепровода и воздействия аварийных разливов нефти на окружающую среду могут быть использованы при разработке методики оценки пожарного риска.

Система классификации и группировки факторов влияния в соответствии с причинами аварий выделяет 8 групп с указанием относительного вклада каждой группы в суммарную частоту аварийных отказов с помощью весового коэффициента:

- 1) внешние антропогенные воздействия – 0,2;
- 2) коррозия – 0,1;
- 3) качество производства труб – 0,05;
- 4) качество строительно-монтажных работ – 0,1;
- 5) конструктивно-технологические факторы – 0,1;
- 6) природные воздействия – 0,1;
- 7) эксплуатационные факторы – 0,05;
- 8) дефекты тела трубы и сварных швов – 0,3.

Отмечено, что приведенные значения весовых коэффициентов являются ориентировочными и могут быть уточнены с учетом мнения специалистов.

Факторы, входящие в каждую группу, имеют бальную оценку, составленную на основании экспертных оценок.

Отдельно следует отметить работу [247], в которой представлен алгоритм расчета частоты аварийной разгерметизации магистральных газопроводов с учетом влияния различных факторов на основе анализа аварийности и сравнительного анализа инцидентов, изложенных в работах [249, 250].

В качестве основных факторов, влияющих на частоту разгерметизации, предложено рассматривать 6 классов причин с указанием относительной долей аварий, вызванных данной причиной:

- 1) внешнее воздействие – 0,49;
- 2) брак строительства, дефект материалов – 0,17;
- 3) коррозия – 0,15;
- 4) движение грунта, вызванное природными явлениями – 0,07;
- 5) ошибки оператора – 0,05;
- 6) прочие и неизвестные причины – 0,07.

Для расчета последствий аварий предложена следующая классификация размеров повреждений:

1) проколы (трещины, точечные отверстия), определяемые как отверстия с диаметром до 2 см;

2) отверстия с диаметром более 2 см, но менее 10 % от диаметра трубы (при больших размерах отверстие в основном раскрывается под действием давления транспортируемого продукта);

3) разрыв, определяемый как образование отверстия размером более диаметра трубы и полное вскрытие сечения трубы.

Для каждого класса причин аварий дано распределение частоты аварий от размера отверстий.

Особо следует отметить предлагаемые зависимости, учитывающие влияние различных параметров на частоту повреждений, что позволяет оценить полезность дополнительных проектных мероприятий (в том числе противопожарных) для уменьшения общей частоты аварий.

Что касается методов оценки поражающих факторов аварий с пожарами и взрывами при различных сценариях их реализации, то эти методы, изложенные в работах [66, 40, 41, 247, 248], во многом одинаковы и в данной работе подробно не анализируются.

### **1.3 Определение критериев допустимого пожарного риска**

С принятием Федерального закона от 27 декабря 2002 года № 184-ФЗ «О техническом регулировании» [84] в России началась масштабная реформа в сфере технического регулирования, затрагивающая, в частности, систему нормирования в области пожарной безопасности. Реализация положений этого закона обусловила необходимость разработки и принятия Федерального закона от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [20], который установил основные требования пожарной безопасности в России и порядок их применения.

Одним из ключевых понятий Федерального закона [84] является понятие риска. В нем он определен как вероятность причинения вреда жизни или здоровью граждан, имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, окружающей среде, жизни или здоровью животных и растений с учетом тяжести этого вреда. Согласно этому закону безопасность продукции и свя-

занных с ней процессов производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации – это состояние, при котором отсутствует недопустимый риск, связанный с причинением вреда жизни или здоровью граждан, имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, окружающей среде, жизни или здоровью животных и растений. Таким образом, в законе [84] безопасность определена как отсутствие недопустимого риска.

В Федеральном законе [20], который был разработан и принят в развитие Федерального закона [84], понятие риска также является одним из ключевых. Согласно [20] каждый объект защиты должен иметь систему обеспечения пожарной безопасности. При этом система обеспечения пожарной безопасности объекта защиты в обязательном порядке должна содержать комплекс мероприятий, исключающих возможность превышения значений допустимого пожарного риска.

Для регулирования размещения различных объектов относительно опасного производственного объекта используется понятие потенциального пожарного риска.

В соответствии с [85] были внесены изменения, в частности, в положения, касающиеся нормативных значений пожарного риска для производственных объектов [20].

В Федеральном законе [20] с использованием понятия пожарного риска установлены критерии соответствия объекта защиты требованиям пожарной безопасности (превышение или не превышение допустимых значений пожарного риска, которые определены через нормативные значения пожарного риска). Критерии предельно допустимого риска используются в различных странах с целью нормирования безопасности населения вблизи производственных объектов и персонала на территории производственных объектов. Поэтому особое значение приобретает определение этих критериев.

Интересно сравнить принятые в настоящее время в России критерии предельно допустимого пожарного риска для производственных объектов с критериями, используемыми в других странах. Необходимо при этом отметить, что эти критерии относятся к риску гибели не только от пожаров, но и по другим причинам.

*Великобритания.* В соответствии с [86, 87] индивидуальный пожарный риск в Великобритании определяется как риск, которому подвержены физические лица на

объекте. Он, как правило, рассматривается как смертельный риск и может быть выражен в виде годовой частоты гибели человека в год.

Для регулирования размещения различных объектов относительно опасного производственного объекта используется понятие потенциального риска, определяемого как суммарная частота воздействия опасных факторов аварии в определенной точке пространства. Следует отметить, что используемое за рубежом понятие потенциального риска аналогично понятию потенциального риска в методике [66].

Социальный риск характеризует тяжесть последствий (катастрофичность) реализации аварии и выражается с помощью  $F/N$  диаграммы, показывающей зависимость частоты событий ( $F$ ), связанных с гибелью  $N$  или более числа человек.

Критерии этого риска в Великобритании заданы следующим образом:

- область пренебрежимо малого риска – значение риска ниже безусловно приемлемой величины. В этом случае частота возникновения опасных факторов настолько мала, что никаких мер по снижению риска не требуется;

- средняя (промежуточная) область – значение риска между безусловно приемлемым и предельно допустимой величинами. В этом случае риск допустим только тогда, когда приняты меры, позволяющие сделать частоту и последствия аварии настолько низкими, насколько это практически целесообразно (так называемый принцип *ALARP – As Low As Reasonably Possible*);

- область недопустимого риска – значение риска превышает предельно допустимую величину. В этом случае обязательны меры по снижению риска или соответствующие проектные изменения.

Общие критерии индивидуального пожарного риска для персонала, устанавливаемые надзорным органом Великобритании *Health and Safety Executive (HSE)*:

- предельно допустимый индивидуальный риск –  $10^{-4}$  год $^{-1}$
- безусловно приемлемый индивидуальный риск –  $10^{-6}$  год $^{-1}$ .

Критерии потенциального пожарного риска, используемые *HSE* для регулирования размещения общественных зданий и сооружений вблизи опасных производственных объектов:

- предельно допустимый потенциальный риск –  $10^{-5}$  год $^{-1}$ ;
- безусловно приемлемый потенциальный риск –  $10^{-6}$  год $^{-1}$ .

Критерии индивидуального пожарного риска *HSE* для морских платформ:

- предельно допустимый индивидуальный риск для персонала –  $10^{-3}$  год $^{-1}$ ;
- безусловно приемлемый индивидуальный риск –  $10^{-5}$  год $^{-1}$ .

Критерии индивидуального риска для персонала должны охватывать все опасности, в том числе риск, связанный с транспортировкой персонала.

*США*. Как указано в [6], критерии предельно допустимого пожарного риска в США устанавливаются не надзорными органами, а имеющими мировое признание общественными организациями.

Индивидуальный пожарный риск в США определяется как частота воздействия опасных факторов события на человека, находящегося на определенном расстоянии от источника риска. При этом существуют критерии максимального уровня риска, которому люди могут быть подвержены. Эти критерии выражаются как максимальная частота воздействия таких событий, как токсичные выбросы, тепловое излучение, волна давления, и других опасных факторов на человека.

Критерии индивидуального риска, рекомендуемые Национальной ассоциацией пожарной безопасности США (*National Fire Protection Association – NFPA*), приведены на рисунке 1.8.

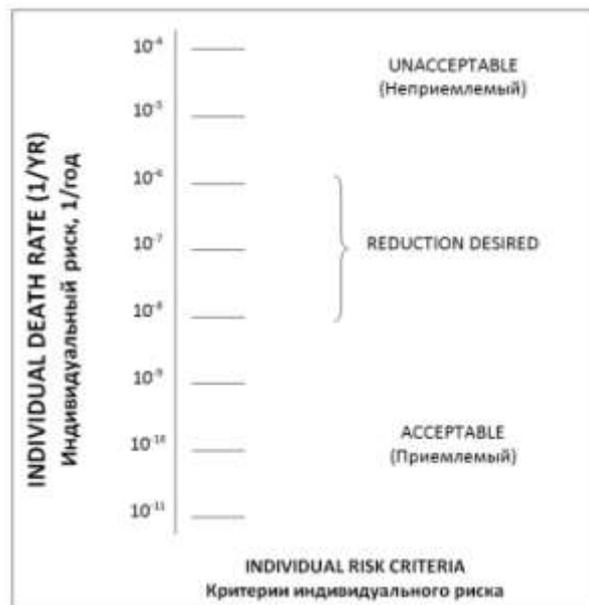


Рисунок 1.8 – Критерии индивидуального риска, рекомендуемые *NFPA*

*Австралия.* Критерии потенциального пожарного риска, используемые для размещения различных объектов относительно опасных производственных объектов [88, 89]:

в штате Новый Южный Уэльс:

- больницы, школы, детские сады и дома престарелых – вне контура  $10^{-7}$  год $^{-1}$ ;
- жилые здания, включая отели и туристические курорты – вне контура  $10^{-6}$  год $^{-1}$ ;
- офисы, склады и рестораны – вне контура  $5 \cdot 10^{-6}$  год $^{-1}$ ;
- спортивные комплексы и стадионы – вне контура  $10^{-5}$  год $^{-1}$ ;
- другие производственные объекты – вне контура  $10^{-5}$  год $^{-1}$ ;

в Западной Австралии:

- жилая зона, больницы, школы, детские сады и дома престарелых – вне контура  $10^{-6}$  год $^{-1}$ ;
- офисы, склады и рестораны вне контура – вне контура  $5 \cdot 10^{-6}$  год $^{-1}$ ;
- другие производственные объекты – вне контура  $5 \cdot 10^{-5}$  год $^{-1}$ .

Критерии социального пожарного риска, установленные в [88] с использованием  $F/N$  диаграммы, приведены на рис. 1.9.

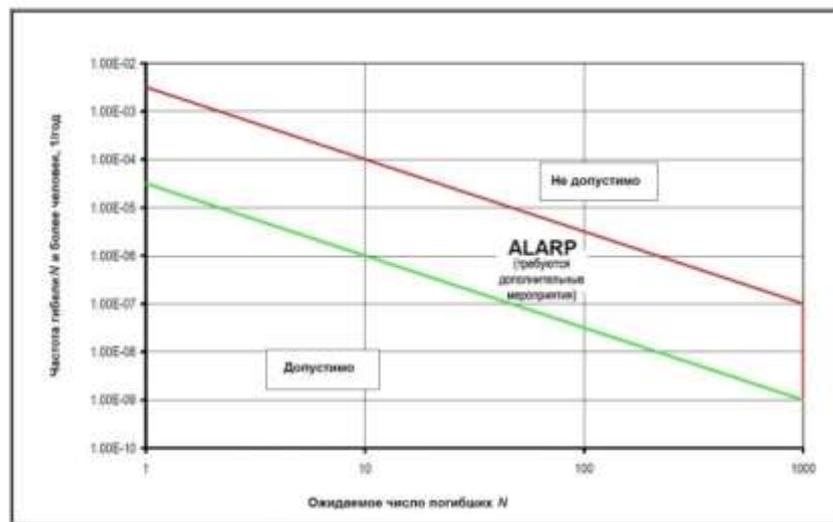


Рисунок 1.9 – Критерии социального пожарного риска, применяемые в Австралии [88]

*Гонконг.* В этой стране установлено [89, 90], что индивидуальный пожарный риск за пределами площадки опасного производственного объекта не должен пре-

вышать  $10^{-5}$  год<sup>-1</sup>. Критерии социального риска, определенные в [90] с использованием  $F/N$  диаграммы, приведены на рисунке 1.10.



Рисунок 1.10 – Критерии социального риска, установленные в Гонконге [90]

*Малайзия.* Критерии потенциального риска, используемые для размещения различных объектов относительно опасного производственного объекта:

- жилая зона - вне контура  $10^{-6}$  год<sup>-1</sup>;
- другие объекты - вне контура  $10^{-5}$  год<sup>-1</sup> [88].

*Сингапур.* В этой стране приняты следующие критерии потенциального риска, используемые для размещения различных объектов относительно опасного производственного объекта:

- производственные объекты – вне контура  $10^{-5}$  год<sup>-1</sup>;
- другие объекты – вне контура  $10^{-6}$  год<sup>-1</sup> [88].

*Нидерланды.* В Нидерландах критерии потенциального риска, используемые для размещения различных объектов относительно опасных производственных объектов, следующие [89, 91]:

- жилые здания, больницы, школы – вне контура  $10^{-6}$  год<sup>-1</sup>;

– промышленные зоны, офисные и административные здания – вне контура  $10^{-5}$  год<sup>-1</sup>.

Социальный риск не должен превышать  $10^{-5}$  год<sup>-1</sup> для ожидаемого числа погибших 10 и более чел. и  $10^{-7}$  год<sup>-1</sup> для ожидаемого числа погибших 100 и более человек.

*Норвегия.* В стандарте этой страны [10] приводятся общие рекомендации по выбору тех или иных видов критериев риска. При этом рассматриваются следующие виды количественных критериев приемлемости риска:

- критерии частоты потери основной функции обеспечения безопасности;
- *F/N* диаграмма;
- критерии на основе значений безусловно приемлемого и безусловно неприемлемого риска с областью *ALARP* (аналогично критериям, используемым в Великобритании).

При этом в стандарте [16] количественное значение приводится только для критерия риска, основанного на частоте потери основной функции обеспечения безопасности. Рассмотрим более подробно особенности применения этого критерия, который часто используется в дополнение к критериям риска гибели людей для оценки достаточности проектных решений сложных производственных объектов (например, морских нефтегазодобывающих платформ).

Сравним критерии предельно допустимого пожарного риска, принятые в нашей и других странах. На основе исследований, выполненных в работе [92], разработана сводная таблица допустимых значений индивидуального риска, принятых для населения, проживающего вблизи опасных предприятий (таблицы 1.4, 1.5), и работников этих предприятий (таблицы 1.6, 1.7). При этом объектом рассмотрения стали страны, в которых значения допустимого риска имеют двух- и однопороговую структуру. Двухпороговая структура характерна наличием двух предельных значений риска. Выше верхнего предельного значения риск является недопустимым, ниже нижнего предельного значения – безусловно допустимым. Для определения значений риска, находящихся между указанными предельными значениями, должен быть применен принцип *ALARP* – риск должен быть снижен настолько, насколько это практически целесообразно, принимая во внимание стоимость защитных мероприятий. Однопороговая структура характерна наличием одного предельного значения риска, ниже которого риск допустим, а выше – недопустим.

Таблица 1.4 – Предельно допустимые значения индивидуального риска для населения при двухпороговой структуре

Значение риска, год <sup>-1</sup>		Страна	Примечания
нижнее	верхнее		
1,0·10 <sup>-5</sup>	1,0·10 <sup>-4</sup>	Бразилия, штат Сан-Пауло (для трубопроводов)	-
		Бразилия, штат Рио Гранде (для трубопроводов)	-
		Великобритания, HSE (Комитет по здоровью и безопасности)	-
		<i>International Maritime Organization (IMO)</i> – Международная мореходная организация для существующих судов	Применяется для пассажиров и населения на берегу
1,0·10 <sup>-7</sup>	1,0·10 <sup>-5</sup>	Австралия, штат Виктория	Новые предприятия. Если на границе существующего предприятия риск превышает 10 <sup>-5</sup> год <sup>-1</sup> , должны быть предложены меры по снижению риска
		Бразилия, штат Сан Пауло (для предприятий)	Для новых предприятий и существенной реконструкции старых
		Бразилия, штат Рио Гранде	Для новых предприятий
		Венгрия	-
		<i>IMO</i> (для новых судов)	Применяется для пассажиров и населения на берегу
1,4·10 <sup>-8</sup>	1,4·10 <sup>-6</sup>	США, штат Нью-Джерси (программа качества воздуха)	Величина недопустимого риска заболевания населения раком (10 <sup>-6</sup> / 10 <sup>-4</sup> частота гибели от рака в течение жизни человека продолжительностью 70 лет)

Таблица 1.5 – Предельно допустимые значения индивидуального риска для населения при однопороговой структуре

Значение риска, год <sup>-1</sup>		Страна	Примечания
нижнее	верхнее		
5,0·10 <sup>-5</sup>		Австралия, штат Квинсленд	Контур риска 5·10 <sup>-5</sup> год <sup>-1</sup> не должен выходить за территорию нового предприятия. Для существующих предприятий требуются мероприятия по снижению риска, если контур риска 5·10 <sup>-5</sup> год <sup>-1</sup> выходит за территорию предприятия
		Сингапур	Контур риска 5·10 <sup>-5</sup> год <sup>-1</sup> может выходить за территорию предприятия только в промышленной зоне
1,0·10 <sup>-5</sup>		Гонконг	Для новых предприятий. Для существующих предприятий, на которых превышен указанный уровень риска, должны быть разработаны мероприятия по его снижению
		Канада, Совет по основным опасностям	Данная величина применяется для районов с низкой плотностью населения. Для районов с

Значение риска, год <sup>-1</sup>	Страна	Примечания
		высокой плотностью населения применяется величина 10 <sup>-6</sup> год <sup>-1</sup>
	Чехия	Для существующих предприятий
	Бразилия, штат Рио-де-Жанейро (для предприятий и трубопроводов)	Для существующих предприятий
5,0·10 <sup>-6</sup>	Сингапур	Контур риска 5·10 <sup>-6</sup> год <sup>-1</sup> не должен выходить за пределы промышленной зоны
2,0·10 <sup>-6</sup>	США, риск заболевания раком в результате инцидентов с выходом радиоактивных веществ	Вычислено для случая, когда данный вид риска не должен превышать 0,1 % от риска заболеваний раком от всех причин
1,0·10 <sup>-6</sup>	Нидерланды	Применяется: 1) для новых предприятий; 2) новых земельных планов строительства; 3) транспортировки опасных грузов, в том числе и для трубопроводного транспорта
	Австралия, штат Западная Австралия	Применяется для новых предприятий. Для существующих предприятий должны быть разработаны мероприятия по снижению риска до указанного уровня
	Австралия, штаты Новый Южный Уэльс и Квинсленд	Более низкие значения (5·10 <sup>-7</sup> год <sup>-1</sup> ) установлены для уязвимых групп населения
	Бразилия, штат Рио-де-Жанейро (предприятия и трубопроводы)	Для новых предприятий
	Чехия	Для новых предприятий
	США (для предприятий, работающих с взрывчатыми веществами)	-
	США, штат Калифорния, графство Санта Барбара	Если риск превышает указанную величину, требуется дополнительная оценка социального риска
	Сингапур	Контур риска 1,0·10 <sup>-6</sup> не должен выходить за пределы промышленной, складской и парковой зон
	Малайзия	-
4,0·10 <sup>-7</sup>	США, риск гибели от ядерного инцидента	Вычислено, исходя из критерия, что данный вид риска не должен превышать 0,1 % от риска гибели от всех других причин (4,0·10 <sup>-4</sup> год <sup>-1</sup> )
1,4·10 <sup>-7</sup>	США	Верхний предел риска гибели от рака (частота гибели 10 <sup>-5</sup> за 70 лет жизни)

Таблица 1.6 – Предельно допустимые значения риска для персонала опасных предприятий при двухпороговой структуре

Значение риска, год <sup>-1</sup>		Страна	Примечания
нижнее	верхнее		
1,0·10 <sup>-6</sup>	1,0·10 <sup>-3</sup>	Великобритания, <i>HSE</i> (Комитет по здоровью и безопасности)	-
		<i>ИМО</i> (для существующих судов)	Для команды судов
1,0·10 <sup>-4</sup>	1,0·10 <sup>-3</sup>	Австралия, штат Западная Австралия	Применяется для существующих предприятий. Если риск превышает 10 <sup>-3</sup> ·год <sup>-1</sup> , должны быть разработаны мероприятия для снижения риска до заданного уровня
1,0·10 <sup>-4</sup>	5,0·10 <sup>-4</sup>	Австралия, штат Западная Австралия	Применяется для новых предприятий

Таблица 1.7 – Предельно допустимые значения риска для персонала опасных предприятий при однопороговой структуре

Значение риска, год <sup>-1</sup>	Страна	Примечания
1,0·10 <sup>-4</sup>	США, обращение со взрывчатыми материалами	-
2,2·10 <sup>-5</sup>	США, комитет по охране труда	Вероятность заболевания раком 10 <sup>-3</sup> в течение жизни (45 лет)
2,5·10 <sup>-6</sup>	США, нормы <i>EPA</i>	Верхний предел для вероятности заболевания раком (10 <sup>-4</sup> ) за 40 лет
2,5·10 <sup>-7</sup>	США, нормы <i>EPA</i>	Нижний предел для вероятности заболевания раком (10 <sup>-4</sup> ) за 40 лет

В работе [91] приведены предельно допустимые значения социального риска (*F-N* кривая). Для  $N = 10$  чел. предельно допустимые величины социального риска для различных стран находятся в диапазоне от 10<sup>-5</sup> до 10<sup>-3</sup> год<sup>-1</sup>.

В работе [83] проанализированы критерии предельно допустимого риска, принятые в различных странах ЕЭС. Указаны два основных подхода к техническому регулированию безопасности: предписывающий подход (без использования понятия риска), реализованный в Германии и Франции, и риск-ориентированный подход, применяемый в Нидерландах, Великобритании и некоторых других странах. При этом используется концепция нормирования допустимого индивидуального риска, основан-

ная на двух порогах (один порог, ниже которого риск принимается безусловно допустимым, и другой, выше которого риск безусловно неприемлем). Внутри промежутка между порогами может быть установлен так называемый целевой уровень (*target level*), который, безусловно, не должен превышать для новых предприятий. Для населения, проживающего вблизи опасных предприятий, верхний порог составляет  $10^{-5}$  год $^{-1}$ , нижний порог –  $10^{-8}$  год $^{-1}$ , целевой уровень –  $10^{-6}$  год $^{-1}$ . В отношении нормирования социального риска предполагается использовать двухуровневые *F-N* диаграммы (аналогично индивидуальному риску): первый (верхний) уровень – линия, отвечающая зависимости  $10^{-3}/N^2$  год $^{-1}$ , второй (нижний) уровень – линия, отвечающая зависимости  $10^{-5}/N^2$  год $^{-1}$ . Между величинами социального риска, описываемыми этими зависимостями, используется упомянутый выше принцип *ALARP*. Для новых предприятий в качестве верхнего уровня может быть применена зависимость  $10^{-4}/N^2$  год $^{-1}$ .

Таким образом, сравнение российской практики определения критериев предельно допустимого пожарного риска для производственных объектов в России с международной практикой показывает, что критерии предельно допустимого пожарного риска для персонала производственных объектов, установленные в России, в целом соответствуют этим показателям в развитых странах мира.

#### **1.4 Предложения по совершенствованию методики определения индивидуального и социального пожарного риска для производственных зданий и сооружений нефтегазовой отрасли**

Согласно Методике [66], величина индивидуального пожарного риска для работника  $t$  при его нахождении в здании объекта, обусловленная опасностью пожара, взрыва в здании определяется по формуле:

$$R_m = \sum_{n=1}^N P_n \cdot q_{nm}, \quad (1.2)$$

где  $P_n$  – величина потенциального риска в  $n$ -ом помещении здания, год $^{-1}$ ;  $q_{nm}$  – вероятность присутствия работника  $t$  в  $n$ -ом помещении (определяется исходя из времени нахождения человека в  $n$ -м помещении здания в течении года на основе

решений по организации эксплуатации и технического обслуживания оборудования и зданий);  $N$  – число помещений в здании.

Индивидуальный риск работника  $m$  объекта при его нахождении в нескольких зданиях объекта определяется как сумма величин индивидуального риска при нахождении работника в каждом из зданий объекта, определенных по формуле (1.2).

Индивидуальный риск работника  $m$  при его нахождении на объекте определяется как сумма величин индивидуального риска при нахождении работника на территории и в зданиях объекта.

Определение величины индивидуального риска работника  $m$  при его нахождении на территории объекта должно осуществляться в соответствии с Методикой [66].

Учитывая необходимость рассмотрения различных сценариев возникновения и развития пожара в здании, величина потенциального риска  $P_n$  (год<sup>-1</sup>) в  $n$ -ом помещении здания определяется по формуле:

$$P_n = \sum_{j=1}^J Q_j \cdot L_{nj}, \quad (1.3)$$

где  $J$  – число расчетных сценариев развития пожара в здании;  $Q_j$  – частота реализации в течение года  $j$ -го сценария пожара, год<sup>-1</sup>;  $L_{nj}$  – условная вероятность поражения человека при его нахождении в  $n$ -ом помещении при реализации  $j$ -го сценария пожара.

Частота реализации в течении года  $j$ -го сценария пожара определяется по формуле:

$$Q_j = F_i \prod_{k=1}^{K_j} E_k, \quad (1.4)$$

где  $F_i$  – частота реализации в течение года  $i$ -го начального события, год<sup>-1</sup>;  $K_j$  – число ключевых событий при развитии  $j$ -го сценария пожара, связанного с возникновением  $i$ -ого начального события;  $E_k$  – условная вероятность реализации  $k$ -го ключевого события.

Под ключевым событием понимается событие, реализация которого приводит к вариантности развития пожароопасных ситуаций (пожаров), т.е. точка ветвления дерева событий.

В качестве начальных событий рассматриваются пожароопасные ситуации или пожары, возникающие в помещениях здания вследствие:

- поступления в окружающее пространство пожароопасных, пожаровзрывоопасных и (или) взрывоопасных технологических сред;

- появления источника зажигания, способного инициировать пожар горючих веществ и материалов, обращающихся в помещении.

Определение перечня начальных событий следует осуществлять для каждого из участков здания (помещения) с учетом объемно-планировочных и конструктивных решений здания, характера размещения технологического оборудования, возможности отдельной герметизации отдельных участков технологических систем, размещения горючих веществ и материалов.

При анализе пожароопасных ситуаций, связанных с разгерметизацией технологического оборудования, рассматриваются утечки при различных диаметрах истечения (в том числе максимальные – при полном разрушении оборудования или подводящих/отводящих трубопроводов).

Для определения частоты реализации пожароопасных ситуаций или пожаров могут использоваться статистические данные по аварийности или расчетные данные по надежности технологического оборудования, соответствующие специфике рассматриваемого объекта.

Информация о частотах реализации пожароопасных ситуаций (в том числе возникших в результате ошибок работника) и пожаров, необходимая для определения расчетных величин риска, может быть получена непосредственно из данных о функционировании исследуемого объекта или из данных о функционировании других подобных объектов.

Для определения расчетных сценариев пожара следует использовать метод логических деревьев событий возникновения и развития пожароопасной ситуации (пожара) (далее – логическое дерево событий).

Сценарий пожара на логическом дереве отражается в виде ветви дерева событий, представляющей последовательность событий от начального события до конечного события. При построении логических деревьев событий учитываются следующие положения:

- выбирается начальное событие – пожароопасная ситуация, которая может повлечь за собой возникновение пожара с дальнейшим его развитием, или пожар;

– развитие начального события должно рассматриваться постадийно с учетом места его возникновения, уровня потенциальной опасности каждой стадии и возможности ее локализации и ликвидации;

– переход с рассматриваемой стадии на новую определяется реализацией ключевого события, влияющего на характер развития пожароопасной ситуации или пожара, например, условные вероятности переходов со стадии на стадию одной ветви определяются, исходя из свойств вовлеченных в пожароопасную ситуацию или пожар горючих веществ (физико-химические и пожароопасные свойства, параметры, при которых вещества обращаются в технологическом процессе и т.д.), наличия и условной вероятности эффективного срабатывания систем противоаварийной и противопожарной защиты, размеров зон поражения опасными факторами пожара, объемно-планировочных решений и конструктивных особенностей объекта. При этом каждой стадии иногда присваивается идентификационный номер, отражающий последовательность переходов со стадии на стадию;

– переход со стадии на стадию, как правило, отображается в виде соединяющих линий со стрелками, указывающими направления развития пожароопасной ситуации (пожара). При этом соединения стадий должны отражать вероятностный характер события с выполнением условия «или» или «да», «нет»;

– для каждой стадии рекомендуется устанавливать уровень ее опасности, характеризующийся возможностью перехода пожароопасной ситуации или пожара на соседние с пожароопасными участки объекта;

– при повторении одним из путей части другого пути развития для упрощения построения логического дерева событий иногда вводят обозначение, представляющее собой соответствующую линию со стрелкой и надпись «на стадию (код последующей стадии)».

Для каждой пожароопасной ситуации определение перечня типов пожаров, возникновение которых возможно в результате ее развития, и вероятностей развития пожароопасной ситуации с возникновением того или иного пожара из указанного перечня осуществляется с учетом особенностей потенциальных источников зажигания, определяющих степень возможности (вероятность) и характер (мгновенное или с задержкой по вре-

мени) воспламенения пожароопасной, пожаровзрывоопасной и (или) взрывоопасной технологической среды.

При отсутствии необходимых данных, касающихся условных вероятностей воспламенения (мгновенного и с задержкой по времени) горючих веществ, поступающих в помещение в результате разгерметизации технологического оборудования, условную вероятность мгновенного воспламенения и условную вероятность последующего воспламенения при отсутствии мгновенного воспламенения в зависимости от массового расхода горючих газа, двухфазной среды или жидкости при разгерметизации типового технологического оборудования на объекте допускается принимать в соответствии с Таблицей П2.1 Приложения №2 Методики [66].

При отсутствии данных условная вероятность последующего воспламенения при отсутствии мгновенного воспламенения  $P_{\text{посл.воспл.}}(t)$  в течение интервала времени  $t$ , мин, с момента начала поступления в помещение горючего вещества в результате реализации пожароопасных ситуаций, связанных с разгерметизацией технологического оборудования может быть определена по формуле [14]:

$$P_{\text{посл.воспл.}}(t) = P_{\text{посл.воспл.}} \cdot \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{t}{20}\right) \right\}, \quad (1.5)$$

где  $P_{\text{посл.воспл.}}$  – общая условная вероятность последующего воспламенения при отсутствии мгновенного (может быть принята по Таблице П2.1 Приложения №2 методики [66]).

Для пожароопасных ситуаций, связанных с выходом горючих веществ в помещение (в том числе связанных с образованием пожаровзрывоопасных газопаровоздушных смесей в результате отказа технических средств, обеспечивающих невзрывопожароопасное состояние смесей горючих газов и паров с воздухом, присутствующих в помещении при нормальном (безаварийном) режиме технологического процесса), принимается, что выход в помещение горючих веществ нагретых до температуры самовоспламенения и выше, а также выход горючих веществ в помещение, характеризующиеся наличием действующего источника зажигания, приводит к мгновенному воспламенению указанных веществ с условной вероятностью 1.

При построении логических деревьев событий должна учитываться возможность возникновения следующих типов сценариев пожара в помещении (здании):

- факельное горение истекающего газа или жидкости;
- пожар пролива жидкости;
- пожар твердых горючих веществ и материалов;
- сгорание газопаровоздушной смеси в помещении.

Возможность сгорания газопаровоздушной смеси в помещении следует учитывать для пожароопасных ситуаций, связанных с реализацией следующих типов начальных событий:

- образование взрывоопасной газовой смеси в помещении в результате поступления в помещение пожароопасной среды в газовой фазе при разгерметизации технологического оборудования;
- образование взрывоопасной паровоздушной смеси в помещении в результате испарения с поверхности пролива жидкой фазы пожароопасной среды при разгерметизации технологического оборудования;
- отказ технических средств (например, систем вентиляции), обеспечивающих невзрывопожароопасное состояние смесей горючих газов и паров с воздухом, присутствующих в помещении при нормальном (безаварийном) режиме технологического процесса.

Возможность возникновения факельного горения в помещении следует учитывать для пожароопасных ситуаций, связанных со струйным истечением горючих газов или ЛВЖ при разгерметизации технологического оборудования. Возможность возникновения факельного горения при реализации пожароопасных ситуаций, связанных со струйным истечением ГЖ при разгерметизации технологического оборудования, допускается не учитывать.

При определении перечня возможных сценариев в результате развития пожароопасных ситуаций (пожаров) необходимо учитывать возможность разгерметизации технологического оборудования под воздействием очага пожара с вовлечением в пожар содержащихся в оборудовании горючих веществ, а также возможность вовлечения в пожар обращающейся в помещении пожарной нагрузки, первоначально не участвующей в пожаре.

При возможности одновременной реализации для одного сценария нескольких типов пожара допускается учитывать только один наиболее неблагоприятный пожар, с точки зрения величин опасных факторов.

Учет технических средств и мероприятий по обеспечению пожарной безопасности при построении логического дерева событий при определении перечня сценариев пожара и условных вероятностей их реализации осуществляется на основе сопоставления особенностей и динамики развития каждого конкретного пожара с показателями технических средств и мероприятий по обеспечению пожарной безопасности, характеризующими надежность (условная вероятность выполнения задачи или вероятность отказа в случае задействования), эффективность (степень влияния на динамику пожара, производительность) и быстродействие (время на выполнение задачи с учетом инерционности) указанных технических средств и мероприятий в условиях конкретного рассматриваемого пожара. При этом руководствуются следующими положениями:

- при определении перечня сценариев развития (построении логического дерева событий) пожаров учитываются только технические средства и мероприятия, рассчитанные на применение в условиях рассматриваемых пожаров;

- при построении логических деревьев событий должны рассматриваться как сценарии, связанные с эффективным срабатыванием технических средств и мероприятий по обеспечению пожарной безопасности, так и сценарии, при реализации которых эти средства и мероприятия откажут или окажутся неэффективными;

- при построении деревьев событий следует учитывать временные характеристики возможности эффективного срабатывания систем противоаварийной и противопожарной защиты (например, инерционность систем, предусмотренное время задержки и т.д.) с учетом временных параметров процесса эвакуации людей;

- при определении перечня сценариев развития пожаров в помещениях объекта при анализе возможности распространения пожара и/или его опасных факторов за пределы помещения строительные конструкции, не являющиеся противопожарными преградами, в качестве мероприятий по предотвращению распространения пожара и/или его опасных факторов не учитываются. При этом условная вероятность рас-

пространения пожара и его опасных факторов через строительные конструкции, не являющиеся противопожарными преградами, принимается равной 1;

– при анализе возможности распространения пожара и/или его опасных факторов через противопожарные преграды должна учитываться как возможность распространения пожара и/или его опасных факторов в случае потери противопожарными преградами способности обеспечивать локализацию пожара в результате воздействия пожара, так и возможность распространения пожара и/или его опасных факторов в случае отказа устройств, обеспечивающих автоматическое закрывание при пожаре элементов заполнения проемов в противопожарных преградах. При этом условная вероятность распространения пожара за пределы  $n$ -го помещения очага пожара через противопожарные преграды до завершения эвакуации людей из здания может быть определена по формуле:

$$D_{FRnj} = (1 - B_{Gnj})(1 - C_{nj}), \quad (1.6)$$

где  $B_{Gnj}$  – условная вероятность распространения пожара через проемы в противопожарных преградах (определяется исходя из количества указанных проемов, проектных решений по их заполнению и условной вероятности эффективного срабатывания заполнения проемов);

$$C_{nj} = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \int_{-\infty}^{-\beta_{nj}} \exp\left(\frac{-x^2}{2}\right) dx \quad (1.7)$$

В формуле (1.7) величину  $C_{nj}$  допускается принимать равной 0, если сумма максимально возможных для различных сценариев развития пожара в рассматриваемом здании величин  $t_{pnj}$  и  $\tau_{H.Эnj}$  более, чем в 5 раза меньше предела огнестойкости противопожарных преград по потере целостности или несущей способности;

– для стадий развития заданного пожара, возникшего в одном из помещений объекта, связанных с выполнением задачи установками пожаротушения, предназначенными для защиты данного помещения, следует учитывать возможность распространения пожара в сторону соседних помещений в том случае, если интервал времени от момента возникновения пожара до момента ликвидации очага пожара в этом помещении превосходит время, в течение которого противопожарные преграды, которыми выделено данное помещение, обеспечивают локализацию очага рассматри-

ваемого пожара в пределах указанного помещения. При отсутствии данных интервал времени от момента возникновения пожара до момента ликвидации очага пожара в помещении может быть определен как сумма инерционности (с учетом времени задержки подачи огнетушащего вещества) и расчетного времени тушения пожара (времени подачи огнетушащего вещества) применяемой установкой пожаротушения.

Условная вероятность реализации ключевых событий, связанных с изменением режима ведения технологических процессов и эксплуатации здания, принимается, исходя из принятых проектных решений с учетом специфики здания.

Условная вероятность реализации ключевых событий, связанных с успешным срабатыванием или несрабатыванием технических средств и мероприятий по обеспечению пожарной безопасности, принимается по данным организаций производителей соответствующего оборудования. При отсутствии указных данных допускается использование данных по условной вероятности эффективного срабатывания (выполнения задачи) некоторыми системами противопожарной защиты, приведенных в таблице 1.8.

Таблица 1.8 – Условная вероятность эффективного срабатывания некоторых систем противопожарной защиты

Система противопожарной защиты	Условная вероятность эффективного срабатывания
Системы противопожарной защиты при соблюдении в полном объеме требований нормативных документов по пожарной безопасности при проектировании, монтаже и эксплуатации:	
- автоматические установки пожаротушения или водяного орошения при наличии контроля за работоспособностью установки независимой организацией (вне зависимости от типа установки пожаротушения);	0,95
- автоматические установки водяного (пенного) пожаротушения или водяного орошения при отсутствии контроля за работоспособностью установки независимой организацией;	0,6
- АУПС, СОУЭ и системы противодымной защиты при наличии контроля за работоспособностью установки независимой организацией;	0,85
- остальные типы автоматических установок пожаротушения, АУПС и СОУЭ при отсутствии контроля за работоспособностью установки независимой организацией;	0,5
- системы противодымной защиты при отсутствии контроля за работоспособностью систем независимой организацией;	0,2
- противопожарные двери, ворота, люки, экраны, шторы, установ-	0,8

Система противопожарной защиты	Условная вероятность эффективного срабатывания
ленные в противопожарных преградах.	
Системы противопожарной защиты при несоблюдении в полном объеме требований нормативных документов по пожарной безопасности при проектировании, монтаже и эксплуатации (при отсутствии данных предприятия изготовителя или поставщика)	0

Учет влияния АУПТ при построении логических деревьев событий и определении расчетных сценариев пожара для здания (помещения) осуществляется в зависимости от особенностей применяемых АУПТ в сочетании со спецификой рассматриваемых сценариев пожара следующим образом.

При определении условной вероятности поражения человека при его нахождении в помещении, отделенном от помещения очага пожара противопожарными преградами и не сообщающегося с помещением очага пожара проемами, учет влияния АУПТ осуществляется путем включения в дерево событий ветвей, обусловленных эффективным и неэффективным срабатыванием в помещении очага пожара АУПТ (вне зависимости от типа АУПТ).

Аналогичный подход допускается применять при определении условной вероятности поражения человека при его нахождении в помещении очага пожара для сценариев возникновения пожара в выделенном объеме внутри помещения, не сообщающимся с помещением открытыми проемами (например, кожухи и укрытия турбин, генераторов, электрошкафы и т.д.).

При определении условной вероятности поражения человека при его нахождении в помещении очага пожара или помещении, сообщающимся с помещением очага пожара открытыми проемами, не допускается учитывать наличие в этих помещениях АУПТ порошкового, газового и аэрозольного пожаротушения, а также комбинированных установок, использующих указанные огнетушащие вещества.

Учет влияния водяных или пенных АУПТ для таких помещений осуществляется путем включения в дерево событий ветвей, обусловленных эффективным и неэффективным срабатыванием в помещении очага пожара АУПТ до завершения процесса эвакуации людей. В этом случае в логическом дереве событий необходимо предусмотреть ветвь, на которой характеристики пожара изменяются соответствующим

образом при успешном срабатывании АУПТ. При этом необходимо учитывать время, необходимое для срабатывания АУПТ (время срабатывания датчиков АУПС в сочетании с инерционностью АУПТ или время срабатывания спринклеров АУПТ).

Условная вероятность реализации ветви дерева событий  $D_{Anj}$ , связанной с эффективным срабатыванием АУПТ при реализации  $j$ -ого сценария пожара в  $n$ -ом помещении здания, определяется по формуле:

$$D_{Anj} = \begin{cases} D_A, & \text{если } T_A < t_{pnj} + \tau_{H.Эnj} \\ 0, & \text{если } T_A \geq t_{pnj} + \tau_{H.Эnj} \\ 0, & \text{если } T_A \geq 0,8 \cdot \tau_{\text{бл}nj} \end{cases}, \quad (1.8)$$

где  $D_A$  – условная вероятность эффективного срабатывания АУПТ;  $T_A$  – время, необходимое для срабатывания АУПТ (например, время срабатывания датчиков АУПС в сочетании с инерционностью АУПТ или время срабатывания спринклеров АУПТ), мин;  $\tau_{\text{бл}nj}$  – время от начала реализации  $j$ -го сценария пожара до блокирования эвакуационных путей из  $n$ -го помещения в результате распространения на них опасных факторов пожара, имеющих предельно допустимые для людей значения (время блокирования эвакуационных путей из  $n$ -го помещения), мин;  $t_{pnj}$  – расчетное время эвакуации людей из  $n$ -го помещения при  $j$ -ом сценарии пожара, мин;  $\tau_{H.Эnj}$  – интервал времени от начала реализации  $j$ -го сценария пожара до начала эвакуации людей из  $n$ -го помещения, мин.

При определении времени  $\tau_{\text{бл}nj}$  для ветви дерева событий, связанной с эффективным срабатыванием водяных или водопенных АУПТ при реализации  $j$ -ого сценария пожара в  $n$ -ом помещении здания, влияние АУПТ учитывается путем расчета динамики развития пожара с учетом действия указанных установок на очаг пожара и распространение опасных факторов пожара.

Допускается оценивать  $\tau_{\text{бл}nj}$  для ветви дерева событий, связанной с эффективным срабатыванием АУПТ при реализации  $j$ -ого сценария пожара в  $n$ -ом помещении здания, на основе учета 50%-ного снижения скорости выгорания по сравнению со случаем отсутствия влияния АУПТ.

При построении логических деревьев событий для различных начальных событий и определении расчетных сценариев пожара должно учитываться следующее:

- возможность возникновения пожароопасной ситуации или пожара в любом из помещений здания;
- возможность возникновения пожароопасной ситуации или пожара на любом из пожароопасных участков каждого помещения в здании;
- возможность возникновения и развития пожароопасных ситуаций и/или пожаров при различных сочетаниях успешного и не успешного выполнения задачи различными элементами системы обеспечения пожарной безопасности.

Выбранные для расчетов типовые начальные события должны отражать специфику пожарной опасности всех участков объекта. Не допускается исключать из рассмотрения начальные события и сценарии пожара только на основании того, что такие события и сценарии не имели место на практике при эксплуатации схожих производственных объектов.

Допускается рассматривать для здания (помещения) в качестве расчетного один наиболее неблагоприятный сценарий пожара. В этом случае расчетная частота этого сценария пожара принимается равной суммарной частоте реализации всех возможных в здании (помещении) сценариев пожара.

К наиболее неблагоприятному сценарию пожара допускается отнесение сценария пожара, характеризующегося максимальной условной вероятностью поражения человека по отношению к другим сценариям пожара в здании (помещении).

Допускается для определения расчетных сценариев пожара для помещения или пожароопасного участка в пределах помещения рассматривать одно начальное событие, развитие которого может привести к реализации наиболее неблагоприятного сценария пожара с частотой реализации, соответствующей суммарной частоте для всего помещения или пожароопасного участка в пределах помещения.

При рассмотрении различных начальных событий, реализация которых возможна в здании (помещении), допускается их объединение в группы, характеризующиеся схожими механизмами возникновения и близкими сценариями развития пожара. При этом для каждой группы начальных событий допускается рассмотрение одного типового представительного начального события с частотой реализации, соответствующей суммарной частоте для всей группы.

При построении логических деревьев событий следует учитывать реализацию различных ключевых событий, к которым могут относиться:

- изменение режима ведения технологических процессов и эксплуатации здания;
- влияние на развитие пожароопасных ситуаций и пожаров технические средства и мероприятий по обеспечению пожарной безопасности.

Для каждого из помещений объекта при определении сценариев пожара необходимо учитывать наличие и эффективность следующих технических средств и мероприятий по обеспечению пожарной безопасности:

- системы автоматического обнаружения утечек горючих веществ и иных систем обнаружения пожароопасных ситуаций;
- системы аварийного отключения технологического оборудования, сброса избыточного давления, опорожнения оборудования и трубопроводов;
- системы предотвращения образования взрывоопасных смесей горючих газов (паров) (например, системы аварийной флегматизации, аварийной вентиляции и т.д.);
- автоматические установки пожарной сигнализации (АУПС);
- средства ограничения распространения пожара и его опасных факторов (например, противопожарные преграды, конструкции с нормируемым пределом огнестойкости и т.д.);
- системы оповещения людей о пожаре и управления эвакуацией людей в зданиях (СОУЭ);
- различные типы установок пожаротушения и водяного орошения;
- системы противодымной защиты.

Допускается учет иных технических средств и мероприятий по обеспечению пожарной безопасности, учитывающих специфику здания (помещения). При этом при определении расчетных величин пожарного риска для находящихся в здании людей должны учитываться только технические средства и мероприятия, направленные на обеспечение пожарной безопасности находящихся (эвакуирующихся) из здания (помещения) людей.

Условная вероятность поражения человека  $L_{nj}$  при его нахождении в  $n$ -ом помещении при реализации  $j$ -го сценария пожара определяется по формуле:

$$L_{nj} = (1 - E_{nj}) \cdot (1 - S_{nj}), \quad (1.9)$$

где  $E_{nj}$  – вероятность эвакуации людей, находящихся в  $n$ -ом помещении здания, по эвакуационным путям при реализации  $j$ -го сценария пожара;  $S_{nj}$  – вероятность выхода из здания людей, находящихся в  $i$ -ом помещении, через аварийные или иные выходы. Величина  $S_{nj}$  может быть определена по аналогии с Методикой [66].

Возможность поражения человека в помещении, в котором реализуется факельное горения и/или пожар пролива, определяется такими факторами, как размер пламени, размеры помещения, местоположение человека относительно эвакуационных выходов, наличие препятствий в струе истекающего горючего вещества и т.д. При этом, возможность поражения человека будет также определяться повышенной температурой воздушной среды, возможностью снижения концентрации кислорода в воздухе помещения, дымообразующей способностью горящего вещества и т.д..

Поскольку при оценке пожарного риска необходимо рассмотреть большое количество возможных аварий, детальное моделирование каждого возможного случая факельного горения или пожара пролива весьма затруднительно. Поэтому, при рассмотрении сценариев, связанных с факельным горением или пожаром пролива в помещении, условная вероятность поражения человека  $L_{nj}$  в этом помещении принимается равной 1 в следующих случаях [44]:

- если длина пламени при факельном горении больше половины длины, ширины либо высоты помещения;
- если площадь горящего пролива больше либо равна 50% площади помещения, или высота пламени больше либо равна высоте помещения.

При рассмотрении сценариев, связанных со сгоранием газо-, паровоздушной смеси в помещении категории А или Б, оборудованном легкобрасываемыми конструкциями в соответствии с требованиями нормативных документов по пожарной безопасности, условная вероятность  $L_{nj}$  поражения человека в этом помещении принимается равной 1 в случае, если на момент появления источника воспламенения среднеобъемная концентрация горючих газов (паров) в воздухе помещения больше либо равна нижнему концентрационному пределу распространения пламени.

Размеры пламени при факельном горении и пожаре пролива определяются по методам, содержащимся в Методике [66].

Время эвакуации людей из здания, а также время блокирования путей эвакуации опасными факторами пожара являются случайными величинами. Поэтому при определении условной вероятности эвакуации людей следует сравнивать распределения этих величин, а не два абсолютных значения.

Методика [66] не учитывает блокирование путей эвакуации вследствие нарушения целостности или обрушения строительных конструкций. Однако, вклад в величину пожарного риска, обусловленный возможностью блокирования путей эвакуации при нарушении целостности их ограждающих конструкций, может быть при определенных условиях (большое число людей в помещении и малое значение предела огнестойкости) значителен.

Рассмотрим подход, изложенный в [61].

Вероятность потери несущими конструкциями своей целостности рассчитывается по формуле (1.5). При этом:

$$\beta_{nj} = \frac{FR - f_{\text{ЭКВ}nj}}{\sqrt{\sigma_{FR}^2 + \sigma_{\text{ЭКВ}j}^2}}, \quad (1.10)$$

где  $FR$  – предел огнестойкости несущих конструкций здания, который определяется на основе проектных решений, мин;  $f_{\text{ЭКВ}nj}$  – эквивалентная продолжительность пожара соответствующая расчетному времени воздействия  $j$ -го сценария пожара при эвакуации людей из  $n$ -го помещения, мин;  $\sigma_{FR}$  – стандартное отклонение предела огнестойкости несущих конструкций здания, мин;  $\sigma_{\text{ЭКВ}j}$  – стандартное отклонение эквивалентной продолжительности  $j$ -го сценария пожара, мин.

Используя данный подход, а также подходы [189, 261-263], можно определить вероятность эвакуации по формуле

$$E_{nj} = \left( 1 - \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \int_{-\infty}^{-\gamma_{nj}} \exp\left(\frac{-x^2}{2}\right) dx \right) \cdot (1 - C_{nj}) \quad (1.11)$$

$$\gamma_{nj} = \frac{0,8 \cdot \tau_{\text{б.л}nj} - t_{\text{п}nj} - \tau_{\text{н.э}nj}}{\sqrt{\sigma_{1nj}^2 + \sigma_{2nj}^2}}, \quad (1.12)$$

где  $\tau_{\text{бл}nj}$  – время от начала реализации  $j$ -го сценария пожара до блокирования эвакуационных путей из  $n$ -го помещения в результате распространения на них опасных факторов пожара, имеющих предельно допустимые для людей значения (время блокирования эвакуационных путей из  $n$ -го помещения), мин;  $t_{pnj}$  – расчетное время эвакуации людей из  $n$ -го помещения при  $j$ -ом сценарии пожара, мин;  $\tau_{H.Эnj}$  – интервал времени от начала реализации  $j$ -го сценария пожара до начала эвакуации людей из  $n$ -го помещения, мин;  $\sigma_{1nj}$  – стандартное отклонение расчетного времени эвакуации людей  $t_{pnj}$  из  $n$ -го помещения при  $j$ -ом сценарии пожара, мин;  $\sigma_{2nj}$  – стандартное отклонение времени  $\tau_{\text{бл}nj}$  от начала реализации  $j$ -го сценария пожара до блокирования эвакуационных путей из  $n$ -го помещения в результате распространения на них опасных факторов пожара, имеющих предельно допустимые для людей значения (время блокирования эвакуационных путей из  $n$ -го помещения), мин.

Для производственных зданий, в которых присутствует персонал, подготовленный к действиям в случае возникновения пожара, интервал времени от начала пожара до начала эвакуации в значительной степени определяется параметрами предусмотренных СОУЭ. Для различных сценариев пожара для зданий, оборудованных СОУЭ, могут использоваться значения  $\tau_{H.Э}$ , которые получены на основе анализа данных [262].

Таблица 1.9 – Значения интервала времени от начала пожара до начала эвакуации людей в зависимости от параметров СОУЭ

Для зданий, оборудованных СОУЭ	Интервал времени от начала пожара до начала эвакуации людей $\tau_{H.Э}$ , мин		
	Для зальных помещений	Для других помещений при реализации сценариев пожара	
		со срабатыванием СОУЭ	с отказом СОУЭ
1 - 2 типа	0	2	4
3 типа		0,5	4
4 - 5 типа		0,5	4

Для зданий, не оборудованных СОУЭ,  $\tau_{H.Э}$  принимается равным 4 мин (за исключением зальных помещений). Расчетное время эвакуации  $t_{pnj}$  определяются в соответствии с Методикой [66].

При этом учитываются эвакуационные пути и выходы, отвечающие требованиям нормативных правовых актов и нормативных документов по пожарной безопасности.

Допускается определение расчетного времени эвакуации на основе экспериментальных данных, а также дополнительно использовать иные методы, содержащиеся в методиках определения расчетных величин пожарного риска, утвержденных в установленном порядке.

Стандартное отклонение  $\sigma_{1nj}$  определяется на основе имеющихся экспериментальных данных о стандартном отклонении расчетного времени эвакуации людей из зданий с учетом специфики.

При отсутствии данных для зданий, в которых не допускается нахождение людей, относящихся к маломобильным группам населения, допускается принимать  $\sigma_{1nj}$  равным:

– 0,1  $t_{pnj}$  для зданий, в которых допускается нахождение только обученного персонала, с которым регулярно проводятся тренировки по действиям при возникновении пожароопасных ситуаций и пожаров;

– 0,3  $t_{pnj}$  в остальных случаях.

Время  $\tau_{\bar{0}mj}$  от начала реализации  $j$ -го сценария пожара до блокирования эвакуационных путей из  $n$ -го помещения в результате распространения на них опасных факторов пожара определяется путем выбора из полученных в результате расчетов значений критической продолжительности пожара минимального времени:

$$\tau_{\bar{0}mj} = \min \{ t_{KP}^T, t_{KP}^{П.В}, t_{KP}^{O2}, t_{KP}^{Т.Г} \}, \quad (1.13)$$

где  $t_{KP}^T$  – критическая продолжительность пожара по условию блокирования эвакуационных путей в результате воздействия теплового излучения и (или) повышенной температуры, мин;  $t_{KP}^{П.В}$  – критическая продолжительность пожара по условию блокирования эвакуационных путей по потере видимости, мин;  $t_{KP}^{O2}$  – критическая продолжительность пожара по условию блокирования эвакуационных путей в результате снижения концентрации кислорода, мин;  $t_{KP}^{Т.Г}$  – критическая продолжительность пожара по условию блокирования эвакуационных путей в результате повышения концентрации токсичных продуктов горения и термического разложения, мин.

Стандартное отклонение  $\sigma_{2nj}$  определяется на основе анализа возможных в здании сценариев пожара с учетом предусмотренного технологическим регламентом

изменения параметров пожарной нагрузки как при ведении технологического процесса, так и проведении регламентных работ.

При отсутствии данных допускается принимать  $\sigma_{2nj}$  равным:

– 0 для совокупности сценариев, связанных с начальным событием, при котором в пожароопасную ситуацию или пожар вовлечено максимальное количество пожарной нагрузки, а также при выборе в качестве расчетного для здания (помещения) одного наиболее неблагоприятного сценария пожара

–  $0,3 \tau_{0,mj}$  в остальных случаях.

Величина эквивалентной продолжительности пожара определяется по методам, содержащимся в нормативных документах по пожарной безопасности, с учетом проектных решений здания и специфики расчетного сценария пожара.

Стандартное отклонение  $\sigma_{FR}$  предела огнестойкости несущих конструкций здания определяется по результатам испытаний однотипных строительных конструкций.

На основе [106] при отсутствии данных допускается принимать  $\sigma_{FR}$  равным  $0,15 \cdot FR$ .

Стандартное отклонение  $\sigma_{ЭКВnj}$  эквивалентной продолжительности пожара определяется на основе анализа возможных в здании сценариев пожара с учетом предусмотренного технологическим регламентом изменения параметров пожарной нагрузки как при ведении технологического процесса, так и проведении регламентных работ.

При отсутствии данных допускается  $\sigma_{ЭКВnj}$  принимать равным  $\sigma_{2nj}$ .

При отсутствии утвержденных в установленном порядке методик определения экспериментальных данных, допускается определение указанных данных на основании результатов соответствующих научно-исследовательских работ, согласованных в порядке, установленном для согласования специальных технических условий.

Частоты возникновения пожаров  $Q$  (год<sup>-1</sup>) в результате появления источника зажигания, способного инициировать пожар обращающихся в помещении (здании) горючих веществ и материалов (пожароопасные ситуации, несвязанные с разгерметизацией технологического оборудования с обращением пожароопасных сред), могут быть определены с помощью формул [189]:

для помещений площадью не более  $50 \text{ м}^2$ :

$$Q = a \cdot F; \quad (1.14)$$

для помещений площадью более 50 м<sup>2</sup>:

$$Q = a \cdot F^b, \quad (1.15)$$

где  $a, b$  – константы, определяемые для различных помещений объекта по таблице 1.10;  $F$  – площадь помещения, м<sup>2</sup>.

Таблица 1.10 – Значения констант, определяемых для различных помещений объекта

Характеристика помещений	$a$	$b$
Электропомещения	0,000022	0,59
Административные помещения	0,000012	0,90
Инструментально-механические цеха, мастерские	0,000006	0,86
Технологические помещения, а также помещения сырьевых, промежуточных и товарных складов с обращением ГГ, ЛВЖ, и ГЖ	0,000012	0,46
Прочие помещения	0,000090	1,00

Суммарную частоту возникновения пожаров (в том числе с учетом пожаров, возникающих вследствие развития пожароопасных ситуаций, связанных с разгерметизацией технологического оборудования с обращением горючих газов и жидкостей) в помещениях объекта, не относящихся к категориям А или Б по взрывопожарной и пожарной опасности, допускается определять по формулам (1.14) и (1.15).

Метод определения критической продолжительности пожара

Одним из наиболее современных нормативных документов, устанавливающих критерии воздействия на людей опасных факторов пожара, является международный стандарт [264].

Согласно [264]  $t_{KP}^T$  определяется по времени достижения на путях эвакуации эффективной тепловой дозой  $Q_{FED}$  величины, равной 1.

Эффективная тепловая доза  $Q_{FED}$  определяется по формуле:

$$Q_{FED} = \begin{cases} \sum_{t_1}^{t_2} \left( \frac{1}{t_{conv}} \right) \Delta t, & \text{если } q < 2,5 \text{ кВт/м}^2 \\ \sum_{t_1}^{t_2} \left( \frac{1}{t_{rad}} + \frac{1}{t_{conv}} \right) \Delta t, & \text{если } q \geq 2,5 \text{ кВт/м}^2 \end{cases}, \quad (1.16)$$

где  $t_{rad}$  – допустимое время воздействия теплового излучения в течение промежутка времени  $\Delta t$ , мин;  $t_{conv}$  – допустимое время воздействия повышенной температуры в

течение промежутка времени  $\Delta t$ , мин;  $q$  – интенсивность теплового потока, кВт/м<sup>2</sup>;  $\Delta t$  – промежуток времени воздействия, мин;  $t_1, t_2$  – границы временного интервала, в течение которого рассматривается возможность эвакуации людей из помещения, мин.

Величина,  $t_{Irad}$ , определяется по формуле:

$$t_{Irad} = 4,2 \cdot q^{-1,9}. \quad (1.17)$$

Время  $t_{conv}$  для помещений, в которых концентрация паров воды в воздухе менее 10% (об.), определяется по формуле:

– для людей в защитной одежде:

$$t_{conv} = 4,1 \cdot 10^8 \cdot T^{-3,61}, \quad (1.18)$$

– для людей без защитной одежды:

$$t_{conv} = 5 \cdot 10^7 \cdot T^{-3,4}, \quad (1.19)$$

где  $T$  – температура воздуха, °С.

Допускается критическую продолжительность пожара  $t_{KP}^T$  по тепловому потоку и повышенной температуре определять по достижению на путях эвакуации одного из следующих критических значений:

- интенсивности теплового потока 2,5 кВт/м<sup>2</sup>;
- температуры воздуха 90 °С (в случае, если в воздухе помещения содержание водяного пара менее 10 % (об.)).

Для помещений, в которых концентрация паров воды в воздухе составляет 10% (об.) и более, критическая продолжительность пожара  $t_{KP}^T$  по тепловому потоку и повышенной температуре определяется по достижению температуры воздуха на путях эвакуации 60 °С.

В соответствии с [265]  $t_{KP}^{T, \Gamma}$  определяется по наименьшему из значений времени достижения на путях эвакуации эффективной дозы  $X_{FED}$  или эффективной концентрации  $X_{FEC}$  величины, равной 1 с учетом их совместного действия.

Эффективная доза  $X_{FED}$  рассчитывается по формуле:

$$X_{FED} = \sum_{i=1}^n \sum_{t_1}^{t_2} \frac{C_i}{(C \cdot t)_i} \Delta t, \quad (1.20)$$

где  $C_i$  – средняя концентрация  $i$ -го токсичного продукта горения или термического разложения в выбранный отрезок времени  $\Delta t$ , мкл·л<sup>-1</sup>;  $\Delta t$  – выбранный отрезок времени, мин;  $(C \cdot t)_i$  – удельная экспозиционная доза, которая может воспрепятствовать самостоятельной эвакуации находящихся в опасной зоне людей, мкл·мин·л<sup>-1</sup>.

К токсичным продуктам горения или термического разложения относятся вещества, вызывающие потерю сознания, приводящие к летальному исходу в результате гипоксии, воздействующее на центральную нервную систему и/или сердечно сосудистую систему.

Допускается эффективную дозу  $X_{FED}$  определять по воздействию таких газов, как  $CO$  и  $HCN$ , по формуле:

$$X_{FED} = \sum_{t_1}^{t_2} \frac{\varphi_{CO}}{35000} \Delta t + \sum_{t_1}^{t_2} \frac{\exp\left(\frac{\varphi_{HCN}}{43}\right)}{220} \Delta t, \quad (1.21)$$

где  $\varphi_{CO}$  – средняя концентрация  $CO$  на временном отрезке  $\Delta t$ , мкл·л<sup>-1</sup>;  $\varphi_{HCN}$  – средняя концентрация  $HCN$  на временном отрезке  $\Delta t$ , мкл·л<sup>-1</sup>;  $\Delta t$  – временной отрезок, мин.

В случае, если концентрация  $CO_2$  на путях эвакуации превышает 2% (об.), величины  $\varphi_{CO}$  и  $\varphi_{HCN}$  в формуле (1.21) на каждом временном отрезке должны умножаться на коэффициент  $v_{CO_2}$ , определяемый по формуле:

$$v_{CO_2} = \exp\left(\frac{\varphi_{CO_2}}{5}\right), \quad (1.22)$$

где  $\varphi_{CO_2}$  – средняя концентрация  $CO_2$ , % (об.).

Эффективная концентрация  $X_{FEC}$  определяется по формуле:

$$X_{FEC} = \sum_i \frac{\varphi_i}{F_i}, \quad (1.23)$$

где  $\varphi_i$  – средняя концентрация  $i$ -го токсичного продукта горения и термического разложения, мкл·л<sup>-1</sup>;  $F_i$  – концентрация  $i$ -го токсичного продукта, при которой люди, находящиеся в зоне пожара, не могут предпринимать эффективные действия, направленные на спасение, мкл·л<sup>-1</sup>.

К токсичным продуктам, учитываемым в формуле (1.23), относятся вещества, которые стимулируют нервные рецепторы в глазах, дыхательных путях, вызывая разную

степень дискомфорта и боль наряду с возбуждением различных физиологических защитных реакций.

Допускается эффективную концентрацию  $X_{FEC}$  определять по формуле:

$$X_{FEC} = \frac{\varphi_{HCL}}{1000} + \frac{\varphi_{HBr}}{1000} + \frac{\varphi_{HF}}{500} + \frac{\varphi_{SO_2}}{150} + \frac{\varphi_{NO_2}}{250} + \frac{\varphi_{acrolein}}{30} + \frac{\varphi_{formaldegid}}{500} \quad (1.24)$$

Допускается критическую продолжительность пожара  $t_{KP}^{T.G.}$  по повышению на путях эвакуации концентрации токсичных продуктов горения и термического разложения определять по достижению на путях эвакуации критической концентрации каждого из токсичных продуктов горения с учетом их независимого действия (при их выделении при реализации рассматриваемого сценария):

- $CO_2$  –  $0,09 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$  ( $\approx 52\,570 \text{ мкл}\cdot\text{л}^{-1}$ );
- $CO$  –  $1,16 \cdot 10^{-3} \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$  ( $\approx 1065 \text{ мкл}\cdot\text{л}^{-1}$ );
- $HCl$  –  $23 \cdot 10^{-6} \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$  ( $\approx 16 \text{ мкл}\cdot\text{л}^{-1}$ );
- $HCN$  –  $5,26 \cdot 10^{-6} \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$  ( $\approx 5 \text{ мкл}\cdot\text{л}^{-1}$ );
- $NO_2$  –  $4,48 \cdot 10^{-5} \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$  ( $\approx 25 \text{ мкл}\cdot\text{л}^{-1}$ );
- $HBr$  –  $3,15 \cdot 10^{-4} \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$  ( $\approx 100 \text{ мкл}\cdot\text{л}^{-1}$ );
- Акролеин –  $6,54 \cdot 10^{-6} \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$  ( $\approx 3 \text{ мкл}\cdot\text{л}^{-1}$ );
- $HF$  –  $3,89 \cdot 10^{-5} \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$  ( $\approx 50 \text{ мкл}\cdot\text{л}^{-1}$ );
- Формальдегид –  $5,84 \cdot 10^{-5} \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$  ( $\approx 50 \text{ мкл}\cdot\text{л}^{-1}$ );
- $SO_2$  –  $3,74 \cdot 10^{-5} \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$  ( $\approx 15 \text{ мкл}\cdot\text{л}^{-1}$ ).

Критическая продолжительность пожара  $t_{KP}^{П.В}$  по потере видимости определяется по времени достижения на путях эвакуации расстояния, критического по потере видимости.

В общем случае при определении критической дальности видимости в дыму с точки зрения возможности эвакуации людей на производственном объекте целесообразен учет следующих факторов [10]:

- влияние оптической плотности дыма на время эвакуации;
- особенности расположения и оборудования эвакуационных выходов (планировка, указатели, освещение, наличие перил, обозначающих путь эвакуации, и т. д.);

– подготовленность персонала к действиям в условиях пожара и знание объемно-планировочных решений помещения, здания, сооружения, в котором происходит задымление.

Согласно [10] видимость 4-5 м является порогом сниженной дееспособности людей. Такой уровень задымленности согласно стандарту [10] следует принять во внимание при разработке систем противодымной вентиляции. Видимость на расстоянии меньше расстояния вытянутой руки делает невозможной эвакуацию из опасной зоны.

На основе документа [266] предлагается использовать следующие значения указанного критического расстояния:

- 5 м для всех сценариев пожара при площади помещения менее 100 м<sup>2</sup>;
- 5 м для сценариев развития пожара, связанных с успешным срабатыванием СОУЭ 2-5 типа при площади помещения 100 м<sup>2</sup> и более;
- 10 м для всех сценариев пожара при площади помещения 100 м<sup>2</sup> и более для зданий, оборудованных СОУЭ 1 типа;
- 10 м для сценариев развития пожара, связанных с не успешным срабатыванием СОУЭ 2-5 типа при площади помещения 100 м<sup>2</sup> и более.

## **1.5 Апробирование предложений по совершенствованию методики определения расчетных величин пожарного риска. Применение методики, результаты и их обсуждение на примерах**

### **1.5.1 Высотное (100 м) производственное здание. Корпус твердофазной поликонденсации полиэтилентерефталата**

Производственное здание имеет высоту от планировочной отметки до кровли 100 м. и в плане Г-образную форму с максимальными размерами 18×20 м (без учета наружной лестницы) (рисунок 1.11). Здание имеет 13 этажей разной высоты (рисунок 1.12). Для сообщения между различными этажами здания предусмотрена лестничная клетка и лифтовая шахта. На различных отметках в производственных помещениях размещается технологическое оборудование производства полимерных продуктов. Некоторое оборудование проходит через несколько этажей.

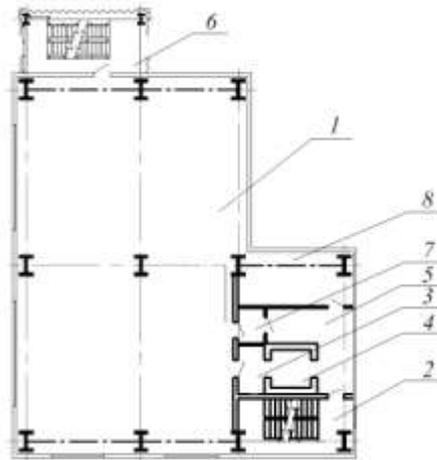


Рисунок 1.11 – Схема этажа здания установки производства полимерных продуктов на промежуточной отметке:

1 – производственное помещение; 2 – лестничная клетка; 3 – входной тамбур;  
4 – лифт; 5 – коридор; 6 – эвакуационная лестница; 7 – санузел;  
8 – вспомогательное помещение.

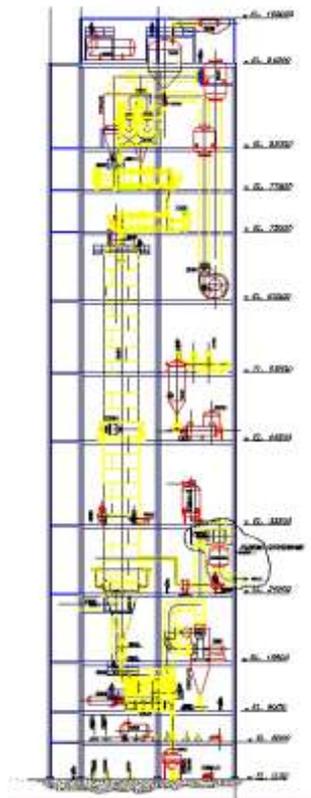


Рисунок 1.12 – Схема здания установки производства полимерных продуктов

Основными пожароопасными веществами, обращающимися в здании, являются:

– гранулированный полимерных продукт (пожароопасные свойства принимаются по аналогии с полиэтиленом, далее ПЭ);

– даутерм (смесь дифенила и дифенилоксида), который используется в качестве высокотемпературного органического теплоносителя (ВОТ). Температура нагрева ВОТ при ведении технологического процесса (максимальная температура  $+290^{\circ}\text{C}$ ) превышает его температуру вспышки ( $+111^{\circ}\text{C}$ ) и температуру кипения ( $+257^{\circ}\text{C}$ ).

Производственные помещения, в которых размещено оборудование установки производства ПЭ, и всё здание относится к категории Б по взрывопожарной и пожарной опасности.

В здании отсутствуют помещения с постоянными рабочими местами. При этом при ведении технологических процессов в здании одновременно может находиться не более 5 человек.

Внутренняя лестничная клетка является незадымляемой типа Н2.

Перечень пожароопасных аварийных ситуаций, связанных с поступлением в помещения горючих веществ при разгерметизации оборудования, приведен в таблице 1.11.

Таблица 1.11 – Перечень пожароопасных аварийных ситуаций, связанных с поступлением в помещения горючих веществ при разгерметизации оборудования

№ сценария	Высотная отметка, м	Наименование технологического оборудования, разгерметизация которого приводит к поступлению в помещение пожароопасного вещества	Наименование пожароопасного вещества, поступающего в помещение
1	94,0	Расширительная емкость	Даутерм
2		Уравнительный силос	ПЭ
3		Электрокабели	Электрокабели
4	83,0	Подогреватель азота	Даутерм
5		Предкристаллизатор	ПЭ
6		Электрокабели	Электрокабели
7	77,5	Кристаллизатор	Даутерм
8		Кристаллизатор	ПЭ
9		Электрокабели	Электрокабели
10	72,0	Кристаллизатор	Даутерм
11		Кристаллизатор	ПЭ
12		Электрокабели	Электрокабели
13	63,0	Реактор	ПЭ
14		Электрокабели	Электрокабели
15	53,5	Реактор R0401	ПЭ
16		Электрокабели	Электрокабели
17	44,5	Реактор	ПЭ
18		Электрокабели	Электрокабели

№ сценария	Высотная отметка, м	Наименование технологического оборудования, разгерметизация которого приводит к поступлению в помещение пожароопасного вещества	Наименование пожароопасного вещества, поступающего в помещение
19	33,5	Реактор	ПЭ
20		Электрокабели	Электрокабели
21	24,5	Подогреватель	Даутерм
22		Реактор	ПЭ
23	15,5	Электрокабели	Электрокабели
24		Реактор	ПЭ
25		Электрокабели	Электрокабели
26	9,0	Теплообменник ЖТН	Даутерм
27		Холодильник	ПЭ
28		Электрокабели	Электрокабели
29	5,0	Насос ВОТ	Даутерм
30		Электрокабели	Электрокабели
31	0,0	Насос ВОТ	Даутерм
32		Электрокабели	Электрокабели

При расчете индивидуального риска по методике [66] были рассмотрены сценарии пожара, выявленные с учетом дерева событий, представленного на рисунке 1.13 и таблице 1.11. Для каждого сценария был произведен расчет времени от начала реализации сценария до блокирования эвакуационных путей в результате распространения на них опасных факторов пожара. Была оценена вероятность эвакуации людей по эвакуационным путям.



Рисунок 1.13 – Дерево событий при возникновении и развитии пожара при разгерметизации технологического оборудования с ВОТ

Одной из особенностей рассматриваемого здания является многосветное пространство, обусловленное наличием оборудования, проходящего через несколько этажей, вследствие чего для расчета опасных факторов пожара был применен полевой метод.

На рисунках 1.14 – 1.18 приведены типичные зависимости опасных факторов пожара на высоте рабочей зоны (1,7 м), взятые на примере сценария 1.

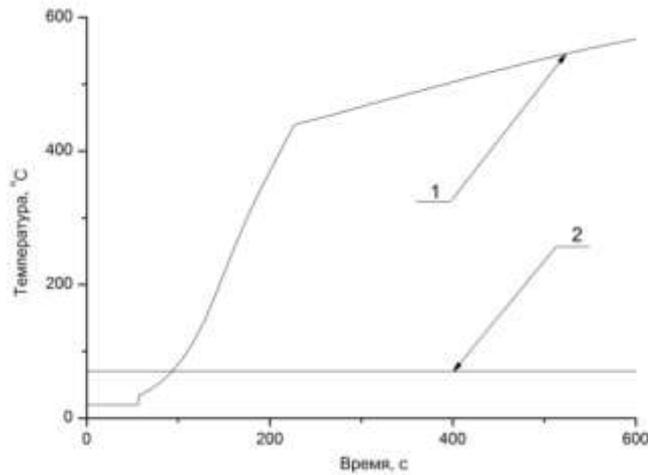


Рисунок 1.14 – Зависимость температуры от времени на высоте рабочей зоны  
1 – изменение величины опасного фактора пожара во времени; 2 – предельно допустимая величина опасного фактора пожара.

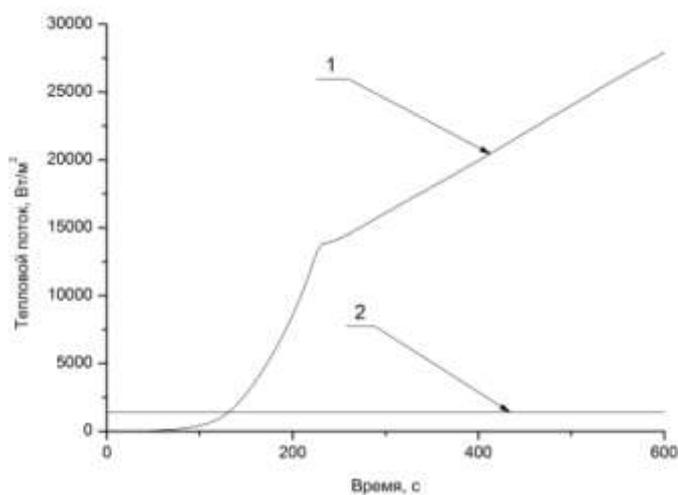


Рисунок 1.15 – Зависимости теплового потока на высоте рабочей зоны.  
1 – изменение величины опасного фактора пожара во времени; 2 – предельно допустимая величина опасного фактора пожара.

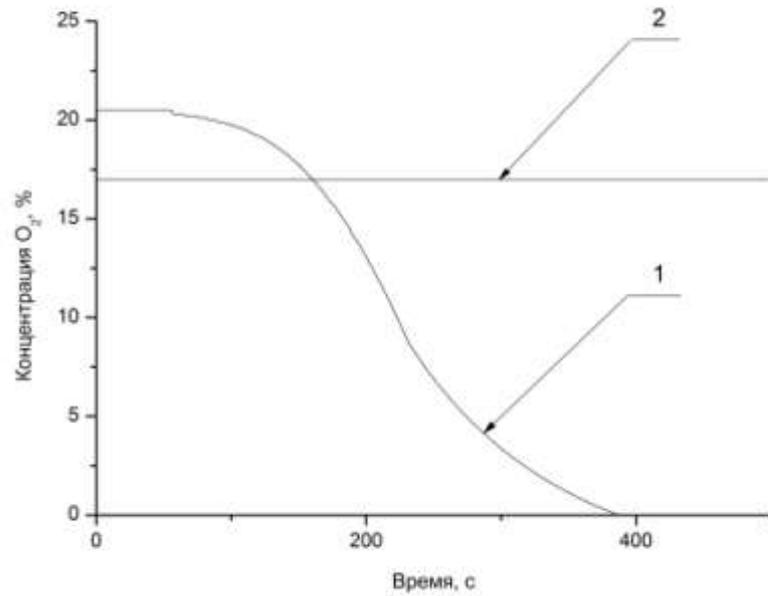


Рисунок 1.16 – Зависимости концентрации кислорода на высоте рабочей зоны.  
 1 – изменение величины опасного фактора пожара во времени; 2 – предельно допустимая величина опасного фактора пожара.

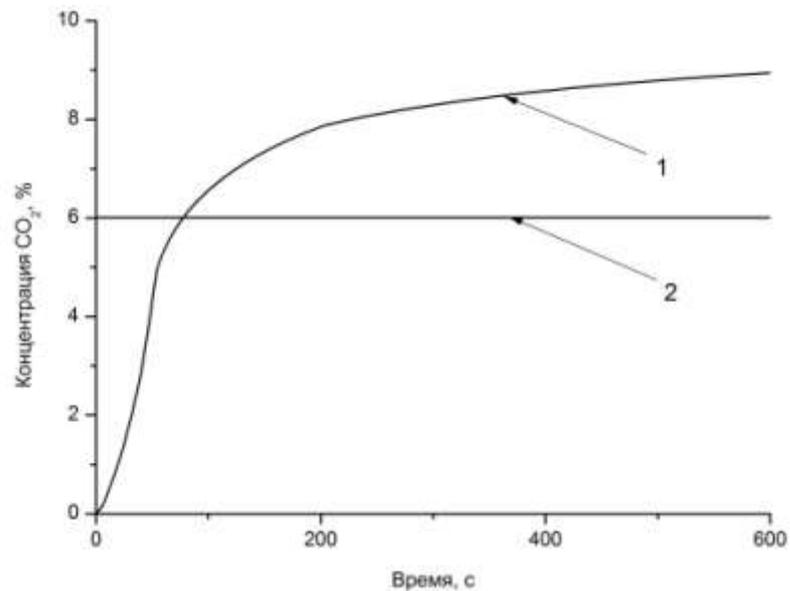


Рисунок 1.17 – Зависимости концентрации  $CO_2$  на высоте рабочей зоны.  
 1 – изменение величины опасного фактора пожара во времени; 2 – предельно допустимая величина опасного фактора пожара.

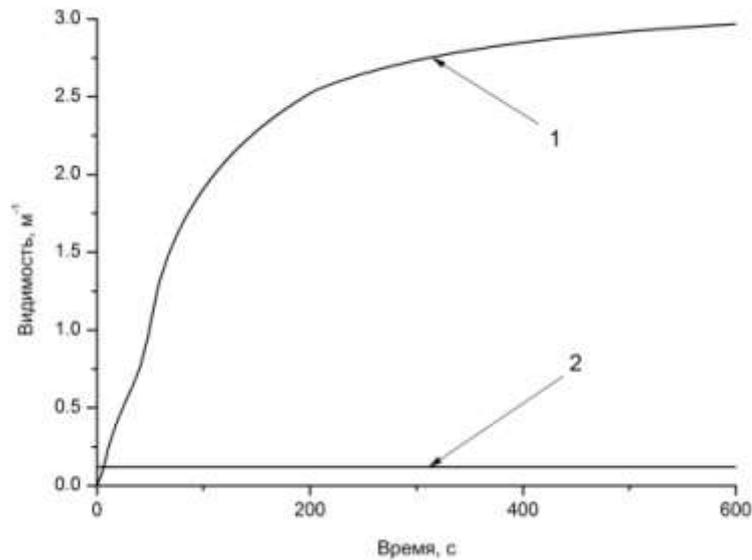


Рисунок 1.18 – Зависимости величины видимости на высоте рабочей зоны.

1 – изменение величины опасного фактора пожара во времени; 2 – предельно допустимая величина опасного фактора пожара.

Ввиду отсутствия постоянных рабочих мест и необходимости регулярного (ежедневного) посещения здания для текущего технического обслуживания и ремонта время присутствия конкретного работника из числа персонала в здании принята равной 4 часа в неделю, что соответствует доле времени 0,024 в течение года.

Результаты оценки потенциального пожарного риска для различных помещений здания приведены в таблице 1.12.

Таблица 1.12 – Результаты оценки потенциального пожарного риска для различных помещений здания

№ сценария	Наименование помещения	Вклад сценария в потенциальный пожарный риск, год <sup>-1</sup>	Потенциальный пожарный риск для помещения, год <sup>-1</sup>
1	Производственное помещение (поз. 1, отм. 94,0)	$1,7 \cdot 10^{-6}$	$7,0 \cdot 10^{-6}$
2		$5,3 \cdot 10^{-6}$	
3	Производственное помещение (поз. 1, отм. 83,0)	$1,7 \cdot 10^{-6}$	$7,0 \cdot 10^{-6}$
4		$5,3 \cdot 10^{-6}$	
5	Вспомогательное помещение (поз. 8, отм. 83,0)	$6,6 \cdot 10^{-7}$	$6,6 \cdot 10^{-7}$
6	Производственное помещение (поз. 1, отм. 77,5)	$2,3 \cdot 10^{-6}$	$7,9 \cdot 10^{-6}$
7		$5,3 \cdot 10^{-6}$	
8		$3,9 \cdot 10^{-7}$	
8	Вспомогательное помещение	$3,9 \cdot 10^{-7}$	$3,9 \cdot 10^{-7}$

№ сценария	Наименование помещения	Вклад сценария в потенциальный пожарный риск, год <sup>-1</sup>	Потенциальный пожарный риск для помещения, год <sup>-1</sup>
	(поз. 8, отм. 77,5)		
9	Производственное помещение (поз. 1, отм. 72,0)	$1,7 \cdot 10^{-6}$	$7,4 \cdot 10^{-6}$
10		$5,3 \cdot 10^{-6}$	
11		$3,9 \cdot 10^{-7}$	
9	Вспомогательное помещение (поз. 8, отм. 72,0)	$2,3 \cdot 10^{-6}$	$7,9 \cdot 10^{-6}$
10		$5,3 \cdot 10^{-6}$	
11		$3,9 \cdot 10^{-7}$	
12	Производственное помещение (поз. 1, отм. 63,0)	$5,3 \cdot 10^{-6}$	$3,4 \cdot 10^{-5}$
14		$5,3 \cdot 10^{-6}$	
16		$5,3 \cdot 10^{-6}$	
18		$5,3 \cdot 10^{-6}$	
20		$1,7 \cdot 10^{-6}$	
21		$5,3 \cdot 10^{-6}$	
23	$5,3 \cdot 10^{-6}$		
13	Вспомогательное помещение (поз. 8, отм. 63,0)	$6,6 \cdot 10^{-7}$	$6,6 \cdot 10^{-7}$
12	Производственное помещение (поз. 1, отм. 53,5)	$5,3 \cdot 10^{-6}$	$3,4 \cdot 10^{-5}$
14		$5,3 \cdot 10^{-6}$	
16		$5,3 \cdot 10^{-6}$	
18		$5,3 \cdot 10^{-6}$	
20		$1,7 \cdot 10^{-6}$	
21		$5,3 \cdot 10^{-6}$	
23	$5,3 \cdot 10^{-6}$		
15	Вспомогательное помещение (поз. 8, отм. 53,5)	$6,6 \cdot 10^{-7}$	$6,6 \cdot 10^{-7}$
12	Производственное помещение (поз. 1, отм. 44,5)	$5,3 \cdot 10^{-6}$	$3,4 \cdot 10^{-5}$
14		$5,3 \cdot 10^{-6}$	
16		$5,3 \cdot 10^{-6}$	
18		$5,3 \cdot 10^{-6}$	
20		$1,7 \cdot 10^{-6}$	
21		$5,3 \cdot 10^{-6}$	
23	$5,3 \cdot 10^{-6}$		
17	Вспомогательное помещение (поз. 8, отм. 44,5)	$6,6 \cdot 10^{-7}$	$6,6 \cdot 10^{-7}$
12	Производственное помещение (поз. 1, отм. 33,5)	$5,3 \cdot 10^{-6}$	$3,4 \cdot 10^{-5}$
14		$5,3 \cdot 10^{-6}$	
16		$5,3 \cdot 10^{-6}$	
18		$5,3 \cdot 10^{-6}$	
20		$1,7 \cdot 10^{-6}$	
21		$5,3 \cdot 10^{-6}$	
23	$5,3 \cdot 10^{-6}$		
19	Вспомогательное помещение (поз. 8, отм. 33,5)	$6,6 \cdot 10^{-7}$	$6,6 \cdot 10^{-7}$
12	Производственное помещение (поз. 1, отм. 24,5)	$5,3 \cdot 10^{-6}$	$3,4 \cdot 10^{-5}$
14		$5,3 \cdot 10^{-6}$	
16		$5,3 \cdot 10^{-6}$	
18		$5,3 \cdot 10^{-6}$	

№ сценария	Наименование помещения	Вклад сценария в потенциальный пожарный риск, год <sup>-1</sup>	Потенциальный пожарный риск для помещения, год <sup>-1</sup>
20		$1,7 \cdot 10^{-6}$	
21		$5,3 \cdot 10^{-6}$	
23		$5,3 \cdot 10^{-6}$	
22	Вспомогательное помещение (поз. 8, отм. 24,5)	$6,6 \cdot 10^{-7}$	$6,6 \cdot 10^{-7}$
12	Производственное помещение (поз. 1, отм. 15,5)	$5,3 \cdot 10^{-6}$	$3,4 \cdot 10^{-5}$
14		$5,3 \cdot 10^{-6}$	
16		$5,3 \cdot 10^{-6}$	
18		$5,3 \cdot 10^{-6}$	
20		$1,7 \cdot 10^{-6}$	
21		$5,3 \cdot 10^{-6}$	
23		$5,3 \cdot 10^{-6}$	
24	Вспомогательное помещение (поз. 8, отм. 15,5)	$6,6 \cdot 10^{-7}$	$6,6 \cdot 10^{-7}$
25	Производственное помещение (поз. 1, отм. 9,0)	$1,7 \cdot 10^{-6}$	$7,4 \cdot 10^{-6}$
26		$5,3 \cdot 10^{-6}$	
27		$3,9 \cdot 10^{-7}$	
25	Вспомогательное помещение (поз. 8, отм. 9,0)	$1,7 \cdot 10^{-6}$	$7,4 \cdot 10^{-6}$
26		$5,3 \cdot 10^{-6}$	
27		$3,9 \cdot 10^{-7}$	
28	Производственное помещение (поз. 1, отм. 5,0)	$1,4 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-4}$
29		$3,9 \cdot 10^{-7}$	
28	Вспомогательное помещение (поз. 8, отм. 5,0)	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$
29		$3,9 \cdot 10^{-7}$	
30	Производственное помещение (поз. 1, отм. 0,0)	$1,4 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-4}$
31		$2,7 \cdot 10^{-7}$	
30	Вспомогательное помещение (поз. 8, отм. 0,0)	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$
31		$2,7 \cdot 10^{-7}$	

Максимальное значение потенциального пожарного риска в рассматриваемом здании достигается для вспомогательного помещения (поз. 8, отм. 0,0 и 5,0) и составляет  $1,5 \cdot 10^{-4}$  год<sup>-1</sup>. Таким образом, для персонала рассматриваемого объекта максимальное значение индивидуального пожарного риска составляет  $3,6 \cdot 10^{-6}$  год<sup>-1</sup>.

При расчете пожарного риска по предлагаемой методике для определения времени блокирования эвакуационных путей были использованы усовершенствованные критерии поражения человека опасными факторами пожара. Критическая продолжительность пожара по тепловому потоку и повышенной температуре определялась по времени достижения на путях эвакуации эффективной тепловой дозой  $Q_{FED}$  величины, равной 1.

Критическая продолжительность пожара по повышению на путях эвакуации токсичных продуктов горения и термического разложения определялось по наименьшему из времен достижения на путях эвакуации эффективной дозы или эффективной концентрации с учетом их совместного действия, а также по достижению на путях эвакуации критической концентрации каждого из токсичных продуктов горения с учетом их независимого действия.

Вероятность успешной эвакуации людей определялась с учетом огнестойкости несущих конструкций здания. Был произведен расчет для значений предела огнестойкости несущих конструкций здания  $R = 120$  мин и  $R = 45$  мин.

Результаты оценки потенциального пожарного риска для различных помещений здания приведены в таблице 1.13.

Таблица 1.13 – Результаты оценки потенциального пожарного риска для различных помещений здания

№ сценария	Наименование помещения	Вклад сценария в потенциальный пожарный риск при $R=120$ , год <sup>-1</sup>	Потенциальный пожарный риск для помещения при $R=120$ , год <sup>-1</sup>	Вклад сценария в потенциальный пожарный риск при $R=45$ , год <sup>-1</sup>	Потенциальный пожарный риск для помещения при $R=45$ , год <sup>-1</sup>
1	Производственное помещение (поз. 1, отм. 94,0)	$1,2 \cdot 10^{-7}$	$1,2 \cdot 10^{-7}$	$1,1 \cdot 10^{-7}$	$2,0 \cdot 10^{-6}$
2		$7,6 \cdot 10^{-11}$		$1,9 \cdot 10^{-6}$	
3	Производственное помещение (поз. 1, отм. 83,0)	$1,2 \cdot 10^{-7}$	$1,2 \cdot 10^{-7}$	$1,1 \cdot 10^{-7}$	$2,0 \cdot 10^{-6}$
4		$7,6 \cdot 10^{-11}$		$1,9 \cdot 10^{-6}$	
5	Вспомогательное помещение (поз. 8, отм. 83,0)	$3,2 \cdot 10^{-13}$	$3,2 \cdot 10^{-13}$	$6,9 \cdot 10^{-11}$	$6,9 \cdot 10^{-11}$
6	Производственное помещение (поз. 1, отм. 77,5)	$7,0 \cdot 10^{-8}$	$7,0 \cdot 10^{-8}$	$7,1 \cdot 10^{-8}$	$2,0 \cdot 10^{-6}$
7		$7,6 \cdot 10^{-11}$		$1,9 \cdot 10^{-6}$	
8		$3,2 \cdot 10^{-13}$		$6,9 \cdot 10^{-11}$	
6	Вспомогательное помещение (поз. 8, отм. 77,5)	$7,1 \cdot 10^{-7}$	$1,4 \cdot 10^{-4}$	$6,0 \cdot 10^{-7}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$
7		$1,4 \cdot 10^{-4}$		$1,5 \cdot 10^{-4}$	
8		$3,2 \cdot 10^{-13}$		$6,9 \cdot 10^{-11}$	
9	Производственное помещение (поз. 1, отм. 72,0)	$7,0 \cdot 10^{-8}$	$7,0 \cdot 10^{-8}$	$7,1 \cdot 10^{-8}$	$2,0 \cdot 10^{-6}$
10		$7,6 \cdot 10^{-11}$		$1,9 \cdot 10^{-6}$	
11		$3,2 \cdot 10^{-13}$		$6,9 \cdot 10^{-11}$	
9	Вспомогательное помещение (поз. 8, отм. 72,0)	$7,1 \cdot 10^{-7}$	$1,4 \cdot 10^{-4}$	$6,0 \cdot 10^{-7}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$
10		$1,4 \cdot 10^{-4}$		$1,5 \cdot 10^{-4}$	
11		$3,2 \cdot 10^{-13}$		$6,9 \cdot 10^{-11}$	
12	Производственное помещение (поз. 1, отм. 63,0)	$4,2 \cdot 10^{-11}$	$7,0 \cdot 10^{-4}$	$1,9 \cdot 10^{-6}$	$7,5 \cdot 10^{-4}$
14		$1,4 \cdot 10^{-4}$		$1,5 \cdot 10^{-4}$	

№ сценария	Наименование помещения	Вклад сценария в потенциальный пожарный риск при $R=120$ , год <sup>-1</sup>	Потенциальный пожарный риск для помещения при $R=120$ , год <sup>-1</sup>	Вклад сценария в потенциальный пожарный риск при $R=45$ , год <sup>-1</sup>	Потенциальный пожарный риск для помещения при $R=45$ , год <sup>-1</sup>
16		$1,4 \cdot 10^{-4}$		$1,5 \cdot 10^{-4}$	
18		$1,4 \cdot 10^{-4}$		$1,5 \cdot 10^{-4}$	
20		$5,8 \cdot 10^{-7}$		$6,0 \cdot 10^{-7}$	
21		$1,4 \cdot 10^{-4}$		$1,5 \cdot 10^{-4}$	
23		$1,4 \cdot 10^{-4}$		$1,5 \cdot 10^{-4}$	
13	Вспомогательное помещение (поз. 8, отг. 63,0)	$3,2 \cdot 10^{-13}$	$3,2 \cdot 10^{-13}$	$6,9 \cdot 10^{-11}$	$6,9 \cdot 10^{-11}$
12	Производственное помещение (поз. 1, отг. 53,5)	$1,4 \cdot 10^{-4}$	$7,0 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$7,5 \cdot 10^{-4}$
14		$4,2 \cdot 10^{-11}$		$1,9 \cdot 10^{-6}$	
16		$1,4 \cdot 10^{-4}$		$1,5 \cdot 10^{-4}$	
18		$1,4 \cdot 10^{-4}$		$1,5 \cdot 10^{-4}$	
20		$5,8 \cdot 10^{-7}$		$6,0 \cdot 10^{-7}$	
21		$1,4 \cdot 10^{-4}$		$1,5 \cdot 10^{-4}$	
23		$1,4 \cdot 10^{-4}$		$1,5 \cdot 10^{-4}$	
15	Вспомогательное помещение (поз. 8, отг. 53,5)	$3,2 \cdot 10^{-13}$	$3,2 \cdot 10^{-13}$	$6,9 \cdot 10^{-11}$	$6,9 \cdot 10^{-11}$
12	Производственное помещение (поз. 1, отг. 44,5)	$4,2 \cdot 10^{-11}$	$5,6 \cdot 10^{-4}$	$1,9 \cdot 10^{-6}$	$6,0 \cdot 10^{-4}$
14		$1,4 \cdot 10^{-4}$		$1,5 \cdot 10^{-4}$	
16		$4,2 \cdot 10^{-11}$		$1,9 \cdot 10^{-6}$	
18		$1,4 \cdot 10^{-4}$		$1,5 \cdot 10^{-4}$	
20		$5,8 \cdot 10^{-7}$		$6,0 \cdot 10^{-7}$	
21		$1,4 \cdot 10^{-4}$		$1,5 \cdot 10^{-4}$	
23		$1,4 \cdot 10^{-4}$		$1,5 \cdot 10^{-4}$	
17	Вспомогательное помещение (поз. 8, отг. 44,5)	$3,2 \cdot 10^{-13}$	$3,2 \cdot 10^{-13}$	$6,9 \cdot 10^{-11}$	$6,9 \cdot 10^{-11}$
12	Производственное помещение (поз. 1, отг. 33,5)	$4,2 \cdot 10^{-11}$	$4,2 \cdot 10^{-4}$	$1,9 \cdot 10^{-6}$	$4,6 \cdot 10^{-4}$
14		$4,2 \cdot 10^{-11}$		$1,9 \cdot 10^{-6}$	
16		$1,4 \cdot 10^{-4}$		$1,5 \cdot 10^{-4}$	
18		$4,2 \cdot 10^{-11}$		$1,9 \cdot 10^{-6}$	
20		$5,8 \cdot 10^{-7}$		$6,0 \cdot 10^{-7}$	
21		$1,4 \cdot 10^{-4}$		$1,5 \cdot 10^{-4}$	
23		$1,4 \cdot 10^{-4}$		$1,5 \cdot 10^{-4}$	
19	Вспомогательное помещение (поз. 8, отг. 33,5)	$3,2 \cdot 10^{-13}$	$3,2 \cdot 10^{-13}$	$6,9 \cdot 10^{-11}$	$6,9 \cdot 10^{-11}$
12	Производственное помещение (поз. 1, отг. 24,5)	$4,2 \cdot 10^{-11}$	$2,8 \cdot 10^{-4}$	$1,9 \cdot 10^{-6}$	$3,1 \cdot 10^{-4}$
14		$4,2 \cdot 10^{-11}$		$1,9 \cdot 10^{-6}$	
16		$4,2 \cdot 10^{-11}$		$1,9 \cdot 10^{-6}$	
18		$1,4 \cdot 10^{-4}$		$1,5 \cdot 10^{-4}$	
20		$2,8 \cdot 10^{-8}$		$2,0 \cdot 10^{-8}$	
21		$4,2 \cdot 10^{-11}$		$1,9 \cdot 10^{-6}$	
23		$1,4 \cdot 10^{-4}$		$1,5 \cdot 10^{-4}$	
22	Вспомогательное помещение (поз. 8, отг. 24,5)	$3,2 \cdot 10^{-13}$	$3,2 \cdot 10^{-13}$	$6,9 \cdot 10^{-11}$	$6,9 \cdot 10^{-11}$

№ сценария	Наименование помещения	Вклад сценария в потенциальный пожарный риск при $R=120$ , год <sup>-1</sup>	Потенциальный пожарный риск для помещения при $R=120$ , год <sup>-1</sup>	Вклад сценария в потенциальный пожарный риск при $R=45$ , год <sup>-1</sup>	Потенциальный пожарный риск для помещения при $R=45$ , год <sup>-1</sup>
12	Производственное помещение (поз. 1, отм. 15,5)	$4,2 \cdot 10^{-11}$	$5,8 \cdot 10^{-7}$	$1,9 \cdot 10^{-6}$	$1,2 \cdot 10^{-5}$
14		$4,2 \cdot 10^{-11}$		$1,9 \cdot 10^{-6}$	
16		$4,2 \cdot 10^{-11}$		$1,9 \cdot 10^{-6}$	
18		$4,2 \cdot 10^{-11}$		$1,9 \cdot 10^{-6}$	
20		$5,8 \cdot 10^{-7}$		$6,0 \cdot 10^{-7}$	
21		$4,2 \cdot 10^{-11}$		$1,9 \cdot 10^{-6}$	
23		$4,2 \cdot 10^{-11}$		$1,9 \cdot 10^{-6}$	
24	Вспомогательное помещение (поз. 8, отм. 15,5)	$3,2 \cdot 10^{-13}$	$3,2 \cdot 10^{-13}$	$6,9 \cdot 10^{-11}$	$6,9 \cdot 10^{-11}$
25	Производственное помещение (поз. 1, отм. 9,0)	$2,8 \cdot 10^{-8}$	$6,4 \cdot 10^{-4}$	$2,0 \cdot 10^{-8}$	$6,4 \cdot 10^{-4}$
26		$7,6 \cdot 10^{-11}$		$1,9 \cdot 10^{-6}$	
27		$6,4 \cdot 10^{-4}$		$6,4 \cdot 10^{-4}$	
25	Вспомогательное помещение (поз. 8, отм. 9,0)	$5,8 \cdot 10^{-7}$	$1,4 \cdot 10^{-4}$	$6,0 \cdot 10^{-7}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$
26		$1,4 \cdot 10^{-4}$		$1,5 \cdot 10^{-4}$	
27		$6,4 \cdot 10^{-15}$		$6,9 \cdot 10^{-11}$	
28	Производственное помещение (поз. 1, отм. 5,0)	$1,7 \cdot 10^{-6}$	$1,7 \cdot 10^{-6}$	$1,8 \cdot 10^{-6}$	$1,8 \cdot 10^{-6}$
29		$3,2 \cdot 10^{-13}$		$6,9 \cdot 10^{-11}$	
28	Вспомогательное помещение (поз. 8, отм. 5,0)	$4,8 \cdot 10^{-5}$	$4,8 \cdot 10^{-5}$	$4,9 \cdot 10^{-5}$	$4,9 \cdot 10^{-5}$
29		$6,4 \cdot 10^{-15}$		$6,9 \cdot 10^{-11}$	
30	Производственное помещение (поз. 1, отм. 0,0)	$4,2 \cdot 10^{-4}$	$4,2 \cdot 10^{-4}$	$4,2 \cdot 10^{-4}$	$4,2 \cdot 10^{-4}$
31		$8,2 \cdot 10^{-14}$		$6,9 \cdot 10^{-11}$	
30	Вспомогательное помещение (поз. 8, отм. 0,0)	$5,6 \cdot 10^{-4}$	$5,6 \cdot 10^{-4}$	$5,6 \cdot 10^{-4}$	$5,6 \cdot 10^{-4}$
31		$4,5 \cdot 10^{-15}$		$6,9 \cdot 10^{-11}$	

Как видно из таблицы, для некоторых сценариев вклад в потенциальный риск существенно зависит от огнестойкости. При уменьшении предела огнестойкости несущих конструкций со значения  $R = 120$  мин до значения  $R = 45$  мин, вклад некоторых сценариев в величину потенциального риска увеличился на пять порядков, что показывает необходимость учета огнестойкости при определении расчетных величин пожарного риска для уникальных высотных зданий, а также для зданий с продолжительными путями эвакуации.

Максимальное значение потенциального пожарного риска при  $R = 120$  мин в рассматриваемом здании достигается для производственного помещения (поз. 1, отм. 63,0 и поз. 1, отм. 53,5) и составляет  $7,0 \cdot 10^{-4}$  год<sup>-1</sup>. Таким образом, для персонала

рассматриваемого объекта максимальное значение индивидуального пожарного риска составляет  $1,7 \cdot 10^{-5}$  год<sup>-1</sup>.

Максимальное значение потенциального пожарного риска при  $R = 45$  мин в рассматриваемом здании достигается для производственного помещения (поз. 1, отм. 63,0 и поз. 1, отм. 53,5) и составляет  $7,5 \cdot 10^{-4}$  год<sup>-1</sup>. Таким образом, для персонала рассматриваемого объекта максимальное значение индивидуального пожарного риска составляет  $1,8 \cdot 10^{-5}$  год<sup>-1</sup>.

### 1.5.2 Склад готовой продукции

Здание склада готовой продукции имеет высоту от планировочной отметки до кровли 10 м. и в плане прямоугольную форму с размерами 324×98 м (рисунок 1.19).

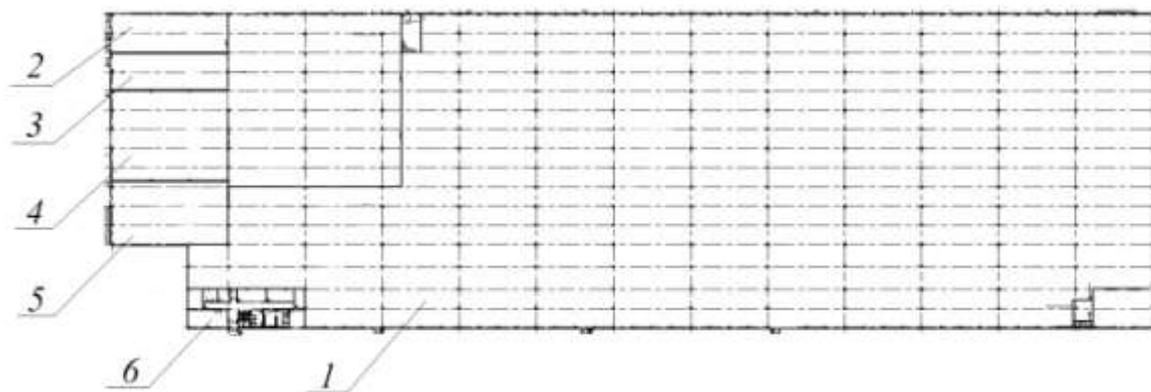


Рисунок – 1.19 Схема здания склада готовой продукции:

- 1 – Склад готовой продукции; 2 – Помещение переключающих устройств;  
 3 – Комната трансформаторов; 4 – Хранилище деревянных поддонов;  
 5 – Хранилище вспомогательных материалов.

Здание имеет помещение для хранения готовой продукции, ряд вспомогательных помещений, не сообщающихся с помещением хранения, а также офисные помещения, расположенные на двух этажах, сообщающиеся с помещением хранения (таблица 1.14).

Таблица 1.14 – Экспликация помещений здания склада готовой продукции

Номер помещения	Название помещения	Площадь, м <sup>2</sup>
1	Склад готовой продукции	24353
2	Помещение переключающих устройств	409
3	Комната трансформаторов	409
4	Хранилище деревянных поддонов	1008
5	Хранилище вспомогательных материалов	724
6	Хранилище смазочных материалов и красок	27
7	Инструментальная мастерская	18
8	Комната младшего персонала	14
9	Помещение документов транспортировки	36
10	Хранилище запасных частей	34
11	Комната для курения	19
12	Коридор	70
13	Хранилище запасных частей	70
14	Лестница	19
15	Мужской туалет	21
16	Женский туалет	43
17	Противопожарное водоснабжение	27
18	Начальник участка и начальник отдела	26
19	Офис менеджера-механика	28
20	Заведующий складом	22
21	Печать/архив	18
22	Кладовая	18
23	Склад длительного хранения	37
24	Коридор	75
25	Офис заместителя начальника цеха	33
26	Офис начальника цеха	50
27	Конференц-зал	41
28	Столовая	22

Постоянные рабочие места в здании находятся только в офисной части здания. Максимальное количество персонала, находящегося в здании 21 человек.

Перечень пожароопасных аварийных ситуаций приведен в таблице 1.15.

Таблица 1.15 – Перечень пожароопасных аварийных ситуаций

№ сценария	Наименование помещения	Наименование пожароопасного вещества
1	Склад готовой продукции	Полиэтилен
2	Помещение переключающих устройств	Электрокабели
3	Комната трансформаторов	Электрокабели
4	Хранилище деревянных поддонов	Древесина
5	Хранилище вспомогательных материалов	Электрокабели

При расчете индивидуального риска по методике [66] были рассмотрены сценарии пожара, представленные в таблице 1.5.12. Для каждого сценария был произведен расчет времени от начала реализации сценария до блокирования эвакуационных путей в результате распространения на них опасных факторов пожара. Была оценена вероятность эвакуации людей по эвакуационным путям.

Постоянные рабочие места в здании находятся только в офисной части здания. Максимальное количество персонала, находящегося в здании 21 человек. Ввиду отсутствия постоянных рабочих мест в основной части здания и необходимости регулярного (ежедневного) посещения здания для текущего технического обслуживания и ремонта время присутствия конкретного работника из числа персонала в здании принята равной 4 часа в неделю, что соответствует доле времени 0,024 в течение года.

Результаты оценки потенциального пожарного риска для различных помещений здания приведены в таблице 1.16.

Таблица 1.16 – Результаты оценки потенциального пожарного риска для различных помещений здания

№ сценария	Наименование помещения	Потенциальный пожарный риск для помещения, год <sup>-1</sup>
1	Склад готовой продукции	$2,9 \cdot 10^{-4}$
2	Помещение переключающих устройств	$8,9 \cdot 10^{-6}$
3	Комната трансформаторов	$8,9 \cdot 10^{-6}$
4	Хранилище деревянных поддонов	$9,1 \cdot 10^{-5}$
5	Хранилище вспомогательных материалов	$1,6 \cdot 10^{-5}$
1	Хранилище смазочных материалов и красок	$2,9 \cdot 10^{-4}$
1	Инструментальная мастерская	$2,9 \cdot 10^{-4}$
1	Комната младшего персонала	$2,9 \cdot 10^{-4}$
1	Помещение документов транспортировки	$2,9 \cdot 10^{-4}$
1	Хранилище запасных частей	$2,9 \cdot 10^{-4}$
1	Комната для курения	$2,9 \cdot 10^{-4}$
1	Хранилище запасных частей	$2,9 \cdot 10^{-4}$
1	Противопожарное водоснабжение	$2,9 \cdot 10^{-4}$
1	Начальник участка и начальник отдела	$2,9 \cdot 10^{-4}$
1	Офис менеджера-механика	$2,9 \cdot 10^{-4}$
1	Заведующий складом	$2,9 \cdot 10^{-4}$
1	Печать/архив	$2,9 \cdot 10^{-4}$
1	Кладовая	$2,9 \cdot 10^{-4}$
1	Склад длительного хранения	$2,9 \cdot 10^{-4}$
1	Офис заместителя начальника цеха	$2,9 \cdot 10^{-4}$
1	Офис начальника цеха	$2,9 \cdot 10^{-4}$
1	Конференц-зал	$2,9 \cdot 10^{-4}$
1	Столовая	$2,9 \cdot 10^{-4}$

Максимальное значение потенциального пожарного риска в рассматриваемом здании за исключением офисной части достигается для помещения склада готовой продукции (поз. 1) и составляет  $2,9 \cdot 10^{-4}$  год<sup>-1</sup>. Таким образом, для персонала рассматриваемого объекта вклад в индивидуальный пожарный риск составляет  $6,9 \cdot 10^{-6}$  год<sup>-1</sup>.

Результаты расчета индивидуального пожарного риска для работников офисной части здания склада готовой продукции в соответствии с Методикой [66] приведены в таблице 1.17.

Таблица 1.17 – Результаты расчета индивидуального пожарного риска для работников офисной части здания склада готовой продукции

Наименование профессии работника	Название помещения, позиция	Относительная доля времени пребывания работника в данном помещении в течение года	Индивидуальный пожарный риск работника в данном помещении, год <sup>-1</sup>	Итоговый индивидуальный риск, год <sup>-1</sup>
Начальник участка	Помещение начальника участка и начальника отдела (поз. 19)	0,176	$5,1 \cdot 10^{-5}$	$5,8 \cdot 10^{-5}$
	Помещение склада готовой продукции (поз. 1)	0,024	$6,9 \cdot 10^{-6}$	
Начальник отдела	Помещение начальника участка и начальника отдела (поз. 18)	0,176	$5,1 \cdot 10^{-5}$	$5,8 \cdot 10^{-5}$
	Помещение склада готовой продукции (поз. 1)	0,024	$6,9 \cdot 10^{-6}$	
Инженер - механик	Офис инженера - механика и мастера по ремонту (поз. 19)	0,176	$5,1 \cdot 10^{-5}$	$5,8 \cdot 10^{-5}$
	Помещение склада готовой продукции (поз. 1)	0,024	$6,9 \cdot 10^{-6}$	
Мастер по ремонту	Офис инженера - механика и мастера по ремонту (поз. 19)	0,176	$5,1 \cdot 10^{-5}$	$5,8 \cdot 10^{-5}$
	Помещение склада готовой продукции (поз. 1)	0,024	$6,9 \cdot 10^{-6}$	
Заведующий складом	Помещение заведующего складом (поз. 20)	0,176	$5,1 \cdot 10^{-5}$	$5,8 \cdot 10^{-5}$
	Помещение склада готовой продукции (поз. 1)	0,024	$6,9 \cdot 10^{-6}$	
Работник архива №1	Помещение печати/архива (поз. 21)	0,176	$5,1 \cdot 10^{-5}$	$5,8 \cdot 10^{-5}$
	Помещение склада готовой продукции (поз. 1)	0,024	$6,9 \cdot 10^{-6}$	
Работник архива №2	Помещение печати/архива (поз. 21)	0,176	$5,1 \cdot 10^{-5}$	$5,8 \cdot 10^{-5}$
	Помещение склада готовой продукции (поз. 1)	0,024	$6,9 \cdot 10^{-6}$	
Кладовщик	Помещение кладовщика (поз. 22)	0,176	$5,1 \cdot 10^{-5}$	$5,8 \cdot 10^{-5}$

Наименование профессии работника	Название помещения, позиция	Относительная доля времени пребывания работника в данном помещении в течение года	Индивидуальный пожарный риск работника в данном помещении, год <sup>-1</sup>	Итоговый индивидуальный риск, год <sup>-1</sup>
	Помещение склада готовой продукции (поз. 1)	0,024	$6,9 \cdot 10^{-6}$	
Заместитель начальника цеха	Офис заместителя начальника цеха и технолога (поз. 25)	0,176	$5,1 \cdot 10^{-5}$	$5,8 \cdot 10^{-5}$
	Помещение склада готовой продукции (поз. 1)	0,024	$6,9 \cdot 10^{-6}$	
Технолог	Офис заместителя начальника цеха и технолога (поз. 25)	0,176	$5,1 \cdot 10^{-5}$	$5,8 \cdot 10^{-5}$
	Помещение склада готовой продукции (поз. 1)	0,024	$6,9 \cdot 10^{-6}$	
Начальник цеха	Офис начальника цеха (поз. 26)	0,176	$5,1 \cdot 10^{-5}$	$5,8 \cdot 10^{-5}$
	Помещение склада готовой продукции (поз. 1)	0,024	$6,9 \cdot 10^{-6}$	
Работник столовой №1	Столовая (поз. 28)	0,176	$5,1 \cdot 10^{-5}$	$5,8 \cdot 10^{-5}$
	Помещение склада готовой продукции (поз. 1)	0,024	$6,9 \cdot 10^{-6}$	
Работник столовой №2	Столовая (поз. 28)	0,176	$5,1 \cdot 10^{-5}$	$5,8 \cdot 10^{-5}$
	Помещение склада готовой продукции (поз. 1)	0,024	$6,9 \cdot 10^{-6}$	
Работник столовой №3	Столовая (поз. 28)	0,176	$5,1 \cdot 10^{-5}$	$5,8 \cdot 10^{-5}$
	Помещение склада готовой продукции (поз. 1)	0,024	$6,9 \cdot 10^{-6}$	
Работник столовой №4	Столовая (поз. 28)	0,176	$5,1 \cdot 10^{-5}$	$5,8 \cdot 10^{-5}$
	Помещение склада готовой продукции (поз. 1)	0,024	$6,9 \cdot 10^{-6}$	
Работник склада №1	Склад длительного хранения (поз. 23)	0,176	$5,1 \cdot 10^{-5}$	$5,8 \cdot 10^{-5}$
	Помещение склада готовой продукции (поз. 1)	0,024	$6,9 \cdot 10^{-6}$	
Работник склада №2	Хранилище запасных частей (поз. 10)	0,176	$5,1 \cdot 10^{-5}$	$5,8 \cdot 10^{-5}$
	Помещение склада готовой продукции (поз. 1)	0,024	$6,9 \cdot 10^{-6}$	
Работник мастерской №1	Инструментальная мастерская (поз. 7)	0,176	$5,1 \cdot 10^{-5}$	$5,8 \cdot 10^{-5}$
	Помещение склада готовой продукции (поз. 1)	0,024	$6,9 \cdot 10^{-6}$	
Работник мастерской №2	Инструментальная мастерская (поз. 7)	0,176	$5,1 \cdot 10^{-5}$	$5,8 \cdot 10^{-5}$
	Помещение склада готовой продукции (поз. 1)	0,024	$6,9 \cdot 10^{-6}$	
Работник	Инструментальная мастерская	0,176	$5,1 \cdot 10^{-5}$	$5,8 \cdot 10^{-5}$

Наименование профессии работника	Название помещения, позиция	Относительная доля времени пребывания работника в данном помещении в течение года	Индивидуальный пожарный риск работника в данном помещении, год <sup>-1</sup>	Итоговый индивидуальный риск, год <sup>-1</sup>
мастерской №3	(поз. 7)			
	Помещение склада готовой продукции (поз. 1)	0,024	$6,9 \cdot 10^{-6}$	
Работник мастерской №4	Инструментальная мастерская (поз. 7)	0,176	$5,1 \cdot 10^{-5}$	$5,8 \cdot 10^{-5}$
	Помещение склада готовой продукции (поз. 1)	0,024	$6,9 \cdot 10^{-6}$	

При расчете индивидуального риска по предлагаемой методике были рассмотрены сценарии пожара, представленные в таблице 1.15. Для каждого сценария был произведен расчет времени от начала реализации сценария до блокирования эвакуационных путей в результате распространения на них опасных факторов пожара. Была оценена вероятность эвакуации людей по эвакуационным путям.

Результаты оценки потенциального пожарного риска для различных помещений здания приведены в таблице 1.18.

Таблица 1.18 – Результаты оценки потенциального пожарного риска для различных помещений здания

№ сценария	Наименование помещения	Потенциальный пожарный риск для помещения, год <sup>-1</sup>
1	Склад готовой продукции	$1,5 \cdot 10^{-7}$
2	Помещение переключающих устройств	$9,4 \cdot 10^{-15}$
3	Комната трансформаторов	$9,4 \cdot 10^{-15}$
4	Хранилище деревянных поддонов	$1,1 \cdot 10^{-7}$
5	Хранилище вспомогательных материалов	$1,8 \cdot 10^{-12}$
1	Хранилище смазочных материалов и красок	$1,5 \cdot 10^{-7}$
1	Инструментальная мастерская	$1,5 \cdot 10^{-7}$
1	Комната младшего персонала	$1,5 \cdot 10^{-7}$
1	Помещение документов транспортировки	$1,5 \cdot 10^{-7}$
1	Хранилище запасных частей	$1,5 \cdot 10^{-7}$
1	Комната для курения	$1,5 \cdot 10^{-7}$
1	Хранилище запасных частей	$1,5 \cdot 10^{-7}$
1	Противопожарное водоснабжение	$1,5 \cdot 10^{-7}$
1	Начальник участка и начальник отдела	$1,5 \cdot 10^{-7}$
1	Офис менеджера-механика	$1,5 \cdot 10^{-7}$
1	Заведующий складом	$1,5 \cdot 10^{-7}$
1	Печать/архив	$1,5 \cdot 10^{-7}$

№ сценария	Наименование помещения	Потенциальный пожарный риск для помещения, год <sup>-1</sup>
1	Кладовая	$1,5 \cdot 10^{-7}$
1	Склад длительного хранения	$1,5 \cdot 10^{-7}$
1	Офис заместителя начальника цеха	$1,5 \cdot 10^{-7}$
1	Офис начальника цеха	$1,5 \cdot 10^{-7}$
1	Конференц-зал	$1,5 \cdot 10^{-7}$
1	Столовая	$1,5 \cdot 10^{-7}$

Максимальное значение потенциального пожарного риска в рассматриваемом здании за исключением офисной части достигается для помещения склада готовой продукции (поз. 1) и составляет  $1,5 \cdot 10^{-7}$  год<sup>-1</sup>. Таким образом, для персонала рассматриваемого объекта вклад в индивидуальный пожарный риск составляет  $3,6 \cdot 10^{-9}$  год<sup>-1</sup>.

Результаты расчета индивидуального пожарного риска для работников офисной части здания склада готовой продукции в соответствии с предлагаемой методикой приведены в таблице 1.19.

Таблица 1.19 – Результаты расчета индивидуального пожарного риска для работников офисной части здания склада готовой продукции

Наименование профессии работника	Название помещения, позиция	Относительная доля времени пребывания работника в данном помещении в течение года	Индивидуальный пожарный риск работника в данном помещении, год <sup>-1</sup>	Итоговый индивидуальный риск, год <sup>-1</sup>
Начальник участка	Помещение начальника участка и начальника отдела (поз. 18)	0,176	$2,6 \cdot 10^{-8}$	$3,0 \cdot 10^{-8}$
	Помещение склада готовой продукции (поз. 1)	0,024	$3,6 \cdot 10^{-9}$	
Начальник отдела	Помещение начальника участка и начальника отдела (поз. 18)	0,176	$2,6 \cdot 10^{-8}$	$3,0 \cdot 10^{-8}$
	Помещение склада готовой продукции (поз. 1)	0,024	$3,6 \cdot 10^{-9}$	
Инженер - механик	Офис инженера - механика и мастера по ремонту (поз. 19)	0,176	$2,6 \cdot 10^{-8}$	$3,0 \cdot 10^{-8}$
	Помещение склада готовой продукции (поз. 1)	0,024	$3,6 \cdot 10^{-9}$	
Мастер по ремонту	Офис инженера - механика и мастера по ремонту (поз. 19)	0,176	$2,6 \cdot 10^{-8}$	$3,0 \cdot 10^{-8}$
	Помещение склада готовой продукции (поз. 1)	0,024	$3,6 \cdot 10^{-9}$	
Заведующий	Помещение заведующего складом	0,176	$2,6 \cdot 10^{-8}$	$3,0 \cdot 10^{-8}$

Наименование профессии работника	Название помещения, позиция	Относительная доля времени пребывания работника в данном помещении в течение года	Индивидуальный пожарный риск работника в данном помещении, год <sup>-1</sup>	Итоговый индивидуальный риск, год <sup>-1</sup>
складом	(поз. 20)			
	Помещение склада готовой продукции (поз. 1)	0,024	$3,6 \cdot 10^{-9}$	
Работник архива №1	Помещение печати/архива (поз. 21)	0,176	$2,6 \cdot 10^{-8}$	$3,0 \cdot 10^{-8}$
	Помещение склада готовой продукции (поз. 1)	0,024	$3,6 \cdot 10^{-9}$	
Работник архива №2	Помещение печати/архива (поз. 21)	0,176	$2,6 \cdot 10^{-8}$	$3,0 \cdot 10^{-8}$
	Помещение склада готовой продукции (поз. 1)	0,024	$3,6 \cdot 10^{-9}$	
Кладовщик	Помещение кладовщика (поз. 22)	0,176	$2,6 \cdot 10^{-8}$	$3,0 \cdot 10^{-8}$
	Помещение склада готовой продукции (поз. 1)	0,024	$3,6 \cdot 10^{-9}$	
Заместитель начальника цеха	Офис заместителя начальника цеха и технолога (поз. 25)	0,176	$2,6 \cdot 10^{-8}$	$3,0 \cdot 10^{-8}$
	Помещение склада готовой продукции (поз. 1)	0,024	$3,6 \cdot 10^{-9}$	
Технолог	Офис заместителя начальника цеха и технолога (поз. 25)	0,176	$2,6 \cdot 10^{-8}$	$3,0 \cdot 10^{-8}$
	Помещение склада готовой продукции (поз. 1)	0,024	$3,6 \cdot 10^{-9}$	
Начальник цеха	Офис начальника цеха (поз. 26)	0,176	$2,6 \cdot 10^{-8}$	$3,0 \cdot 10^{-8}$
	Помещение склада готовой продукции (поз. 1)	0,024	$3,6 \cdot 10^{-9}$	
Работник столовой №1	Столовая (поз. 28)	0,176	$2,6 \cdot 10^{-8}$	$3,0 \cdot 10^{-8}$
	Помещение склада готовой продукции (поз. 1)	0,024	$3,6 \cdot 10^{-9}$	
Работник столовой №2	Столовая (поз. 28)	0,176	$2,6 \cdot 10^{-8}$	$3,0 \cdot 10^{-8}$
	Помещение склада готовой продукции (поз. 1)	0,024	$3,6 \cdot 10^{-9}$	
Работник столовой №3	Столовая (поз. 28)	0,176	$2,6 \cdot 10^{-8}$	$3,0 \cdot 10^{-8}$
	Помещение склада готовой продукции (поз. 1)	0,024	$3,6 \cdot 10^{-9}$	
Работник столовой №4	Столовая (поз. 28)	0,176	$2,6 \cdot 10^{-8}$	$3,0 \cdot 10^{-8}$
	Помещение склада готовой продукции (поз. 1)	0,024	$3,6 \cdot 10^{-9}$	
Работник склада №1	Склад длительного хранения (поз. 23)	0,176	$2,6 \cdot 10^{-8}$	$3,0 \cdot 10^{-8}$
	Помещение склада готовой продукции (поз. 1)	0,024	$3,6 \cdot 10^{-9}$	
Работник склада №2	Хранилище запасных частей (поз. 10)	0,176	$2,6 \cdot 10^{-8}$	$3,0 \cdot 10^{-8}$

Наименование профессии работника	Название помещения, позиция	Относительная доля времени пребывания работника в данном помещении в течение года	Индивидуальный пожарный риск работника в данном помещении, год <sup>-1</sup>	Итоговый индивидуальный риск, год <sup>-1</sup>
	Помещение склада готовой продукции (поз. 1)	0,024	$3,6 \cdot 10^{-9}$	
Работник мастерской №1	Инструментальная мастерская (поз. 7)	0,176	$2,6 \cdot 10^{-8}$	$3,0 \cdot 10^{-8}$
	Помещение склада готовой продукции (поз. 1)	0,024	$3,6 \cdot 10^{-9}$	
Работник мастерской №2	Инструментальная мастерская (поз. 7)	0,176	$2,6 \cdot 10^{-8}$	$3,0 \cdot 10^{-8}$
	Помещение склада готовой продукции (поз. 1)	0,024	$3,6 \cdot 10^{-9}$	
Работник мастерской №3	Инструментальная мастерская (поз. 7)	0,176	$2,6 \cdot 10^{-8}$	$3,0 \cdot 10^{-8}$
	Помещение склада готовой продукции (поз. 1)	0,024	$3,6 \cdot 10^{-9}$	
Работник мастерской №4	Инструментальная мастерская (поз. 7)	0,176	$2,6 \cdot 10^{-8}$	$3,0 \cdot 10^{-8}$
	Помещение склада готовой продукции (поз. 1)	0,024	$3,6 \cdot 10^{-9}$	

Сравнение результатов расчета показывает, что учет огнестойкости и вероятностного характера эвакуации для рассматриваемого здания влияет на величину потенциального риска, уменьшая ее на три порядка.

Выполненные расчеты показывают, что результаты, полученные при вычислении по имеющейся методике, в некоторой степени расходятся с результатами, полученными при вычислении по предлагаемым совершенствованным подходам. Это связано с тем, что существующие методы оценки пожарного риска в недостаточной степени учитывают специфику пожарной опасности ряда промышленных предприятий.

Целесообразно использование усовершенствованных критериев поражения человека опасными факторами, метода логических деревьев событий с учетом возможности как эффективного срабатывания, так и неэффективного срабатывания различных систем противопожарной защиты. Следует отметить также важность учета эффективности различных типов СОУЭ при определении времени начала эвакуации.

## ГЛАВА 2

### ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТОВАРНО-СЫРЬЕВЫХ СКЛАДОВ ЛВЖ И СУГ, РАЗМЕЩАЕМЫХ В СТЕСНЕННЫХ УСЛОВИЯХ

В настоящее время в России осуществляется проектирование и строительство большого количества сложных и, зачастую, новых для нашей страны промышленных объектов повышенной пожарной опасности, в том числе объектов обеспечения нефтепродуктами и моторными топливами. На современных производственных объектах все более широко применяются технологические установки, на которых реализуются новые технологические процессы, инновационные проектные и конструктивные решения. Современные промышленные предприятия представляют собой сложный комплекс технологических установок и сооружений, которые характеризуются высокой концентрацией технологического оборудования и трубопроводов, отсутствием традиционного секционирования, значительными горизонтальными и вертикальными размерами. При этом в результате развития населенных пунктов значительное число крупных объектов обеспечения нефтепродуктами и моторными топливами, в том числе и товарно-сырьевых складов ЛВЖ и СУГ, оказалось в черте городской застройки. Товарно-сырьевой склад (парк) представляет собой технологическую систему, предназначенную для приема, хранения и отгрузки сырья и готовой продукции производств и размещаемую, как правило, в зоне товарно-сырьевых складов предприятия или на товарно-сырьевой базе [103]. В состав товарно-сырьевого склада также входят подсобно-производственные здания и сооружения и сливо-наливные эстакады.

Авария на таком объекте, расположенном в черте населенного пункта, может привести к пожару с катастрофическими для населения последствиями, в связи с чем подобные объекты следует отнести к особо опасным, технически сложным производственным объектам. Ситуация усугубляется тем, что реконструкция указанных существующих объектов, в связи с увеличением вместимости товарно-сырьевых складов, хранилищ и т.п., происходит зачастую в стесненных условиях в силу невозможности расширения территории предприятия по причине исторически сложившегося ситуационного плана. В связи с этим в проекте реконструкции товарно-сырьевых складов возникают вынужденные от-

ступления от требований пожарной безопасности в части минимально допустимых расстояний между различными участками объекта.

Товарно-сырьевые склады ЛВЖ и СУГ традиционно являются объектами высокой пожарной опасности, что обусловлено обращением на данных объектах горючих газов, легковоспламеняющихся и горючих жидкостей в значительных количествах и подтверждается крупномасштабными инцидентами, имевшими место при их эксплуатации. В связи с этим, на указанных объектах должны быть реализованы дополнительные требования, обеспечивающие требуемый уровень пожарной безопасности, как на территории объекта, так и в селитебной зоне вокруг предприятия.

Следует отметить, что разработка защитных противопожарных мероприятий, направленных на обеспечение пожарной безопасности, основывается, прежде всего, на детальной оценке уровня пожарной опасности объекта. Кроме того, в соответствии со статьей 6 Федерального закона [20], пожарная безопасность товарно-сырьевого склада, как объекта защиты считается обеспеченной, если:

1) в полном объеме выполнены требования пожарной безопасности, установленные техническими регламентами, принятыми в соответствии с Федеральным законом [84], и пожарный риск не превышает допустимых значений, установленных настоящим Федеральным законом;

2) в полном объеме выполнены требования пожарной безопасности, установленные техническими регламентами, принятыми в соответствии с Федеральным законом [84], и нормативными документами по пожарной безопасности.

Таким образом, прогресс в решении задач по обеспечению пожарной безопасности производственных объектов, в том числе рассматриваемых в настоящей главе товарно-сырьевых складов ЛВЖ и СУГ, обусловлен развитием технической науки в области оценки пожарного риска для указанных объектов.

В связи с вышеизложенным, одной из задач настоящей работы является разработка и совершенствование методов оценки и способов снижения уровня пожарной опасности товарно-сырьевых складов ЛВЖ и СУГ, размещаемых в стесненных условиях.

Для решения указанной задачи необходимо проведение следующих научно-исследовательских работ:

- исследование состояния проблемы обеспечения пожарной безопасности товарно-сырьевых складов ЛВЖ и СУГ, размещаемых в стесненных условиях;
- количественная оценка пожарного риска для товарно-сырьевых складов ЛВЖ и СУГ, размещаемых в стесненных условиях;
- разработка мероприятий по обеспечению пожарной безопасности товарно-сырьевых складов ЛВЖ и СУГ, размещаемых в стесненных условиях;
- разработка основных требований пожарной безопасности для товарно-сырьевых складов ЛВЖ и СУГ, размещаемых в стесненных условиях.

Ниже представлены основные результаты, полученные при проведении вышеуказанных исследований, направленных на решение задачи по обеспечению пожарной безопасности товарно-сырьевых складов ЛВЖ и СУГ, размещаемых в стесненных условиях.

## **2.1 Состояние проблемы обеспечения пожарной безопасности товарно-сырьевых складов ЛВЖ и СУГ, размещаемых в стесненных условиях**

В данном разделе проводится анализ состояния проблемы обеспечения пожарной безопасности рассматриваемых объектов, включающий в себя анализ особенностей пожарной опасности товарно-сырьевых складов ЛВЖ и СУГ, в том числе размещаемых в стесненных условиях, а также анализ подходов к оценке уровня пожарной опасности указанных объектов.

Высокая пожарная опасность объектов обеспечения нефтепродуктами и моторными топливами обусловлена обращением на данных объектах ГГ, ЛВЖ и ГЖ в большом количестве и подтверждается крупномасштабными инцидентами, имевшими место при их эксплуатации.

Из общего числа пожаров на нефтеперерабатывающие заводы (НПЗ) приходится 28,4% (нефтепромыслы – 14,2%, распределительные нефтебазы – 47,7%).

На наземных резервуарах произошло 93,4% пожаров. Они распределяются следующим образом: 32,1% - на резервуарах с сырой нефтью; 53,9% - на резервуарах с бензином и 14,0% - на резервуарах с другими видами нефтепродуктов (мазут, керосин и др.). Пожары происходили в основном (227 случаев) на действующих верти-

кальных стальных резервуарах (РВС), из них в 198 случаях (87,2%) – на резервуарах с бензином и сырой нефтью.

Больше всего пожаров произошло в резервуарных парках нефтепромыслов (42,5%) и нефтеперерабатывающих заводов (33,6%), т.е. 76% всех аналогичных пожаров. За рассматриваемый период времени устойчивой тенденции роста или снижения числа пожаров в резервуарных парках не отмечается.

Причиной большинства пожаров были повреждения оборудования, нарушения технологического режима, повышенная загазованность территории резервуарного парка. В этих случаях источник зажигания является второстепенным фактором, а защита должна быть обеспечена за счет нормального ведения технологического процесса. Из установленных непосредственных источников зажигания наиболее распространенный – огневые работы – 26,9% (почти каждый третий пожар). Неосторожное обращение с огнем при ремонте резервуаров, электрические и механические искры или горячие выхлопы глушителя автомобиля при очистке резервуара через нижний люк явились причиной 11,6% пожаров. В целом, при очистке и ремонте резервуаров произошло 29 пожаров, что составляет 37,2% общего числа. Необходимо отметить, что 14 пожаров на резервуарах (18%) возникли от самовозгорания пирофорных отложений, причем 64% таких пожаров отмечено на объектах добычи нефти и 36% - в резервуарных парках на нефтеперерабатывающих заводах.

Следует отметить, что согласно имеющимся данным число пожаров, возникающих от воздействия пожароопасных факторов соседних с резервуарами объектов, постоянно увеличивается. Одним из основных источников зажигания (не считая огневых и ремонтных работ) являются разряды атмосферного электричества (21,2%), а также огневые технологические установки (15,7%).

Распределение пожаров в резервуарных парках по временам года показывает, что наиболее благоприятным для их возникновения является весенне-летний период, на долю которого приходится около 73% от общего числа пожаров. Вместе с тем известно, что наиболее интенсивно пожарные подразделения работают в зимний период. Имеющиеся данные свидетельствуют о том, что средняя продолжительность тушения зимнего пожара в резервуаре равна 8,46 ч, в то время как осенью – 6,56 ч, летом – 5,43 ч, весной – 6,69 ч.

Так, например, тушение 33% крупных пожаров от общего числа зимних пожаров за 1984-1987 г.г. выполнялось при температуре окружающего воздуха ниже  $-30^{\circ}\text{C}$ , 12% - ниже  $-40^{\circ}\text{C}$  и 3% - ниже  $-50^{\circ}\text{C}$ . В целом можно считать установленным факт, свидетельствующий о том, что средняя продолжительность тушения пожара в резервуаре с нефтью и нефтепродуктами в приблизительно в два раза больше по сравнению с другими крупными пожарами.

При этом более 50% пожаров было потушено в начальной стадии в течение 2 ч. Однако в ряде случаев (35%) потребовалась дополнительная доставка воды к месту пожара, так как запас ее в резервуарных парках в соответствии с действующими нормами рассчитан только на 6 ч тушения. Поэтому каждый четвертый пожар переходил в затяжной и, как правило, заканчивался полным выгоранием нефтепродуктов в резервуарах.

В работах [104 - 125] приводятся сведения различных литературных источников о крупных пожарах, имевших место на рассматриваемых в настоящей работе объектах.

Приведенные в настоящем разделе данные о пожарах и взрывах на объектах обеспечения нефтепродуктами и моторными топливами, в том числе товарно-сырьевых складах подтверждают высокую пожарную опасность исследуемых объектов и говорят об актуальности проблемы обеспечения их пожарной безопасности.

Проведенный в настоящей главе анализ состояния проблемы обеспечения пожарной безопасности рассматриваемых объектов позволяет заключить, что товарно-сырьевые склады, размещенные в стесненных условиях, являются объектами высокой пожарной опасности. При этом имевшие место пожары показывают, что на рассматриваемых объектах возможно каскадное развитие аварий с пожарами и взрывами, имеющих серьезные последствия. Негативным фактором, влияющим на пожарную опасность данных объектов, с точки зрения вероятности эскалации возможных пожаров, является именно вынужденное размещение в стесненных условиях в силу невозможности расширения территории по причине исторически сложившегося ситуационного плана.

Из вышеизложенного следует, что разработка комплекса защитных мероприятий, направленных на снижение пожарной опасности товарно-сырьевых складов, ос-

тается актуальной задачей, и должна быть основана на исследовании особенностей, количественной оценке уровня пожарной опасности и способов его снижения.

## **2.2 Особенности разработки мероприятий по обеспечению пожарной безопасности товарно-сырьевых складов ЛВЖ и СУГ, размещаемых в стесненных условиях**

На основании анализа имеющихся данных об авариях с пожарами и взрывами на рассматриваемых объектах можно сделать вывод о том, что частоты возникновения инициирующих аварию событий определяется:

- частотами выхода параметров технологических процессов за критические значения, которые вызваны нарушением технологического регламента;
- частотами разгерметизации технологического оборудования, вызванной износом;
- частотами механического повреждения оборудования;
- частотами умышленного создания аварийных ситуаций в результате противоправных действий.

Количество возможных сценариев развития аварии, прежде всего, определяется следующими факторами:

- количеством составляющих объекта, на которых возможно инициирующее аварию событие (под составляющими объекта понимаются, единицы технологического оборудования и участки технологических систем, помещения, здания, сооружения и т.д.);
- пожаровзрывоопасными характеристиками и количественными показателями горючих веществ, участвующих в аварии;
- конструктивными особенностями технологического оборудования; объемно-планировочными и конструктивными решениями зданий и сооружений; размещением оборудования, зданий и сооружения на территории объекта;
- особенностями ведения технологических процессов;
- возможностью цепного развития аварии.

Вероятность развития аварии по каждому из возможных сценариев определяется:

- конструктивными особенностями технологического оборудования; объемно-планировочными и конструктивными решениями зданий и сооружений; размещением оборудования, зданий и сооружений на территории объекта;

- пожаровзрывоопасными характеристиками и количественными показателями горючих веществ, участвующих в аварии;

- вероятностью эффективного срабатывания средств противоаварийной и противопожарной защиты;

- правильностью действий людей при локализации и ликвидации аварии;

- временем задержки появления источника зажигания по отношению к моменту начала выхода горючих веществ в окружающую среду;

- вероятностью реализации определенных метеорологических условий.

Вероятность поражения опасными факторами пожара и взрыва при реализации каждого из возможных сценариев развития аварии определяется:

- количеством людей, находящихся в зоне поражения;

- расстоянием от места возникновения аварии с пожарами и взрывами до людей и объектов;

- местом нахождения людей и наличием средств защиты от опасных факторов пожара (взрыва);

- сценарием развития аварии.

Среди всего многообразия методов снижения пожаровзрывоопасности, а, следовательно, и методов снижения пожарного риска, можно выделить три основные группы:

- методы, снижающие частоту возникновения аварийных ситуаций;

- методы, ограничивающие последствия аварии и снижающие условные вероятности ее развития по наиболее неблагоприятным сценариям;

- методы, снижающие условную вероятность поражения людей опасными факторами пожаров и взрывов.

В зависимости от уровня пожарной опасности объекта указанные методы обычно применяются в сочетании, дополняя друг друга, но могут применяться и индивидуально.

К основным методам, предназначенным для снижения частоты возникновения пожароопасных ситуаций, можно отнести, например, следующие:

- методы, снижающие частоты реализации инициирующих аварийную ситуацию событий;
- методы, снижающие частоту выхода горючих веществ из оборудования в окружающее пространство;
- методы, снижающие частоту образования взрывоопасной смеси в свободном пространстве технологического оборудования;
- методы, снижающие вероятность возникновения источника зажигания или распространения пламени внутри технологической системы.

К основным методам, предназначенным для ограничения последствий аварии и снижения вероятности ее развития по наиболее неблагоприятным сценариям, можно отнести, например, следующие:

- ограничение количественных показателей возможных утечек горючих веществ;
- снижение интенсивности испарения проливов горючих жидкостей;
- методы, направленные на снижение вероятности образования локального взрывоопасного объема в помещениях и на открытой площадке;
- методы, направленные на предотвращение распространения газопаровоздушных облаков в открытом пространстве;
- методы, направленные на снижение вероятности эскалации (цепного развития аварии).

К основным методам, предназначенным для снижения условной вероятности поражения людей при реализации аварий с пожарами и взрывами, можно отнести, например, следующие:

- ограничение количества людей, которые могут попасть в зону поражения;
- защита людей от опасных факторов пожара (взрыва).

В качестве иллюстрации можно привести следующие примеры способов реализации указанных выше методов.

Примеры способов реализации методов, снижающих частоты реализации инициирующих аварийную ситуацию событий:

- соблюдение технологического регламента;
- применение конструкционных материалов повышенной прочности стойких к механическим, температурным и агрессивным химическим воздействиям и исполь-

зование систем антикоррозионной защиты (в том числе систем катодной и протекторной защиты);

- защита оборудования от пожара и механического повреждения;
- использование соединений повышенной надежности (сварные соединения, фланцевые соединения по принципу «шип-паз» и т.п.) и запорной арматуры с повышенным классом герметичности.

Примеры способов реализации методов, снижающих частоты выхода горючих веществ из оборудования в окружающее пространство:

- применение двустенного оборудования совместно с системами контроля за герметичностью их межстенного пространства;
- оснащение оборудования устройствами контроля за его герметичностью;
- устранение разгерметизации оборудования до возникновения пожароопасной ситуации;
- закрытый способ проведения сливо-наливных операций;
- оснащение емкостного оборудования системами предотвращения переполнения при сливо-наливных операциях.

Примеры способов реализации методов, снижающих частоту образования взрывоопасной смеси в свободном пространстве технологического оборудования или помещений:

- применение систем контроля образования взрывоопасных смесей в свободном пространстве;
- поддержание концентрации горючих газов или паров ниже нижнего или выше верхнего концентрационных пределов распространения пламени;
- флегматизация свободного пространства оборудования или помещения;
- заполнение свободного объема в замкнутых пространствах, в которые возможно образование взрывоопасных смесей негорючими или трудногорючими веществами и материалами;
- очистка и дегазации оборудования перед ремонтными работами и т. п.

Примеры способов реализации методов, снижающих вероятность возникновения источника зажигания или распространения пламени внутри технологической системы:

- использование взрывозащищенного и безопасного в отношении пожара электрооборудования и применение искробезопасных материалов;
- оборудование системами заземления, защиты от статического электричества и молниезащиты;
- установка огнепреградителей на трубопроводах, по которым возможно поступление воздуха во внутреннее пространство технологического оборудования или использование систем, не сообщающихся с атмосферой;
- установка гидрозатворов;
- заполнение емкостного оборудования пористыми средами;
- обеспечение предотвращения нагрева ниже температуры самовоспламенения;
- оснащение выхлопных труб двигателей искрогасителями.

Примеры способов реализации методов, ограничивающих количественные показатели возможных утечек горючих веществ:

- ограничение единичной емкости аппаратов (резервуаров), участков технологических трубопроводов;
- секционирование технологических систем (установок) аварийной запорной арматурой;
- применение быстродействующих дистанционно или автоматически управляемых систем закрытия аварийной запорной арматуры в сочетании с системами обнаружения утечек;
- применение систем аварийного опорожнения внутреннего пространства технологического оборудования (в том числе систем сброса давления);
- устройство верхней разводки трубопроводов, подходящих к резервуарам.

Примеры способов реализации методов, снижающих интенсивность испарения проливов горючих жидкостей:

- ограничение площади растекания пролитых горючих веществ посредством использования лотков, поддонов, отбортовок, обвалования и т. п. в сочетании с отводом аварийных проливов в специальные емкости;
- покрытие поверхностей проливов пеной и/или заполнение поглощающей средой.

Примеры способов реализации методов, направленных на снижение вероятности образования локального взрывоопасного объема в помещениях и на открытой площадке:

- применение систем вентиляции (в том числе систем аварийной вентиляции с автоматическим запуском);
- устройство систем аэрации в сочетании с продуваемыми преградами в качестве ограждения;
- снижение выбросов в атмосферу путем применения систем рециркуляции или установками улавливания паров при сливо-наливных операциях;
- организация безопасного рассеивания сбрасываемых горючих газов и паров или сжигания сбрасываемых газов или паров.

Примеры способов реализации методов, направленных на предотвращение распространения газопаровоздушных облаков в открытом пространстве:

- применение водяных, паровых или газовых завес;
- применение инженерно защитных сооружений.

Примеры способов реализации методов, направленных на снижение вероятности эскалации (цепного развития аварии):

- рациональное размещение оборудования, зданий и сооружений на территории предприятия;
- соблюдение противопожарных разрывов;
- повышение огнестойкости зданий (сооружений);
- применение противопожарных преград;
- ограничение распространения пожара по инженерным коммуникациям;
- повышение огнестойкости опор технологического оборудования и трубопроводов;
- применение систем пожарной сигнализации;
- применение систем водяного орошения;
- применение систем пожаротушения;
- подземное расположение оборудования или теплоизоляция технологического оборудования и трубопроводов негорючими материалами для защиты от воздействия пожара;

- использование систем противоаварийной защиты для предотвращения перехода аварии с одного участка на другой;
- использование инженерных сооружений и конструкций для предотвращения распространения утечек горючих веществ при разгерметизации оборудования (обвалование, защитные ограждения, лотки и т. п.);
- оборудование взрывоопасных помещений легкобрасываемыми конструкциями;
- использование взрывоустойчивых зданий;
- ограничение количества одновременно проводимых пожароопасных технологических операций;
- оснащение аппаратов, сосудов или резервуаров автоматическими (самосрабатывающими) и дистанционно управляемыми из безопасного места устройствами сброса избыточного давления;
- применение экранов, снижающих воздействие пожара на оборудование.

Примеры способов реализации методов, направленных на ограничение количества людей, которые могут попасть в зону поражения:

- размещение объектов повышенной пожарной опасности вне селитебной территории населенных пунктов или на значительном удалении от мест массового скопления людей;
- увеличение расстояний между объектами и транспортными коммуникациями общего пользования;
- зонирование территории объекта с целью удаления производственной зоны от административной и вспомогательной;
- учет рельефа местности и преобладающего направления розы ветров при размещении зданий и сооружений;
- ограничение количества людей, одновременно находящихся на объекте;
- ограничение доступа в зоны повышенной опасности.

Примеры способов реализации методов, направленных на защиту людей от опасных факторов пожара (взрыва);

- обеспечение эффективной эвакуации;
- защита помещений с постоянным пребыванием людей и путей эвакуации от опасных факторов пожара (взрыва);

- применение средств индивидуальной защиты персонала;
- оборудование особо пожароопасных объектов средствами коллективной защиты.

Следует отметить, что выше приведены лишь основные подходы к управлению пожарным риском для рассматриваемых объектов, и приведенный перечень способов снижения пожарного риска не является исчерпывающим и не охватывает все возможные мероприятия по обеспечению пожарной безопасности. Однако предложенные мероприятия дают возможность управлять пожарным риском объектов товарно-сырьевых складов ЛВЖ и СУГ, размещенных в стесненных условиях с обеспечением требуемого уровня пожарной безопасности.

Вообще говоря, разработка комплекса защитных мероприятий с целью обеспечения приемлемых (менее максимально допустимых) величин пожарного риска является индивидуальной задачей для каждого конкретного заданного объекта, поскольку определенный комплекс соответствующих противопожарных мероприятий для одного объекта может быть эффективным и достаточным, а для других объектов тот же комплекс указанных мероприятий может оказаться недостаточным по причине необеспечения требуемого уровня пожарной безопасности или неэффективным по причине излишних материальных затрат на избыточные противопожарные мероприятия. При этом обоснование эффективности и достаточности разработанного для заданного объекта комплекса защитных мероприятий осуществляется посредством оценки пожарного риска.

В следующем разделе на практических примерах для конкретного примера объектов товарно-сырьевого склада ЛВЖ и СУГ, размещенного в стесненных условиях, показаны способы решения задач по разработке комплекса защитных противопожарных мероприятий, позволяющих обеспечить требуемый уровень пожарной безопасности заданного объекта и методы учета различных защитных мероприятий при оценке пожарного риска для заданного объекта с целью обоснования эффективности и достаточности разработанного для указанного объекта комплекса противопожарных мероприятий.

### **2.3 Количественная оценка пожарного риска для товарно-сырьевых складов ЛВЖ и СУГ, размещаемых в стесненных условиях**

В настоящем разделе на примерах решения задачи обеспечения пожарной безопасности рассматриваемого объекта, размещаемого в стесненных условиях, показана реализация предлагаемых подходов к разработке комплекса защитных противопожарных мероприятий, направленных на снижение величин пожарного риска до приемлемых значений.

В ходе выполнения диссертационной работы рассмотрены вопросы обеспечения пожарной безопасности следующих объектов:

- нефтебаза, расположенная в черте населенного пункта;
- резервуарный парк нефтепродуктов, расположенный вблизи жилых и общественных зданий;
- товарно-сырьевой склад сжиженного углеводородного газа, расположенный в черте населенного пункта.

На основе анализа и оценки уровня пожарной опасности для указанных объектов с помощью предлагаемых подходов был разработан комплекс противопожарных мероприятий, направленных на снижение уровня пожарной опасности данных объектов. При этом оценка уровня пожарной опасности рассмотренных объектов и обоснование достаточности и эффективности разработанных защитных мероприятий осуществлялись посредством оценки пожарного риска для указанных объектов в соответствии с [66].

Вместе с тем, в силу большого объема реализация предлагаемых подходов к разработке комплекса защитных противопожарных мероприятий, направленных на снижение величин пожарного риска до приемлемых значений подробно приведена только для одного примера, представленного далее.

#### **Обеспечение пожарной безопасности нефтебазы, расположенной в черте населенного пункта**

В настоящем разделе рассматриваются вопросы обеспечения пожарной безопасности нефтебазы, вынужденно расположенной в стесненных условиях в черте населенно-

го пункта. Рассматриваемый объект, находившийся на момент ввода в эксплуатацию за пределами населенного пункта, в результате расширения зоны застройки оказался в черте города. Ситуация усугубляется тем, что расширение жилой застройки привело к отступлениям от требований федерального закона [20] в части минимально допустимых расстояний от зданий, сооружений и строений нефтебазы до граничащих с ней объектов защиты, а перенос рассматриваемого объекта на безопасные расстояния за пределы населенного пункта труднореализуем по социально-экономическим и технологическим причинам (необходимость, бесперебойного снабжения топливом бюджетобразующих предприятий, объектов тепло- и водоснабжения, отсутствие в районе альтернативных объектов по перевалке нефтепродуктов и т.д.).

### Краткая характеристика рассматриваемой нефтебазы

Как уже было отмечено рассматриваемая нефтебаза в результате развития города оказалась в черте городской застройки. Ниже приведен план рассматриваемого объекта (рисунок 2.1).

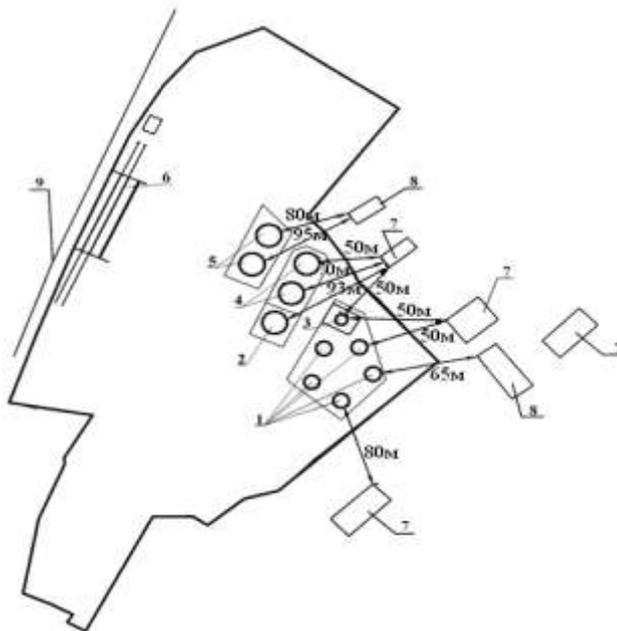


Рисунок 2.1 – План нефтебазы

- 1 – резервуары хранения бензина ( $2000 \text{ м}^3$ ); 2 – резервуары хранения дизельного топлива ( $3000 \text{ м}^3$ ); 3 – резервуары хранения дизельного топлива ( $1000 \text{ м}^3$ ); 4 – резервуары хранения нефти ( $3000 \text{ м}^3$ ); 5 – резервуары хранения дизельного топлива ( $3000 \text{ м}^3$ ); 6 – железнодорожная сливноналивная эстакада; 7 – жилые здания; 8 – административные здания; 9 – железнодорожный путь общей сети

С одной стороны объекта проходит подъездной железнодорожный путь для грузовых перевозок, который огибает площадку нефтебазы на расстоянии 5-11 м от ее ограждения, ограничивая её территорию. С другой стороны площадки нефтебазы расположены жилые и административные здания, находящиеся на расстоянии 25-30 м от ограждения объекта.

Общая вместимость резервуарного парка нефтепродуктов менее 50000 м<sup>3</sup>. Хранение бензина осуществляется в вертикальных резервуарах со стационарной крышей и понтоном с максимальным единичным объемом резервуара 2000 м<sup>3</sup>. Хранение дизельного топлива и мазута осуществляется в вертикальных резервуарах со стационарной крышей с максимальным единичным объемом резервуара 3000 м<sup>3</sup>.

Исходя из общей вместимости, максимального единичного объема резервуара и в соответствии с таблицей 14 Федерального закона [20] нефтебаза относится ко II категории.

На объекте в силу существующих условий зоны застройки имеются следующие вынужденные отступления от нормативных требований в области пожарной безопасности:

– сокращение расстояния от железнодорожной сливо-наливной эстакады до железнодорожного пути общей сети грузового назначения на перегоне до 11 м (вместо 50 м в соответствии с таблицей 12 Федерального закона [20] и [99]);

– сокращение расстояний от резервуаров хранения бензина, дизельного топлива и мазута до жилых и административных зданий до 50 м (вместо 100 м в соответствии с таблицей 12 Федерального закона [20] и [99]);

– сокращение расстояний между резервуарами хранения дизельного топлива и мазута до 0,5 диаметра резервуара (вместо 0,75 диаметра в соответствии с документами [99, 126]).

**Количественная оценка влияния сокращения расстояний между участками нефтебазы и расстояний от участков нефтебазы до граничащих с ней объектов защиты и разработка дополнительных противопожарных мероприятий.**

Для количественной оценки влияния имеющихся отступлений от нормативных требований на пожарную опасность объекта необходимо провести анализ возмож-

ных пожаров на участках, характеризующихся вынужденными отступлениями, и определить величины опасных факторов пожара при их воздействии на соседние объекты, расстояния до которых меньше нормативных.

Размещение железнодорожной эстакады слива-налива с сокращением расстояния до перегона железнодорожного пути общей сети создает угрозу воздействия опасных факторов пожара на эстакаде на людей и грузы, перевозка которых осуществляется по данному железнодорожному пути.

К пожару на эстакаде может привести пролив топлива в результате разгерметизации железнодорожной цистерны либо технологического оборудования эстакады в случае последующего воспламенения вышедшей горючей среды.

Сокращение расстояний между резервуарами, располагаемыми на территории объекта, может в случае пожара одного из резервуаров способствовать эскалации пожара (т.е. переходу пожара на соседние резервуары).

При оценке влияния на пожарную опасность нефтебазы допущенных в силу стесненных условий размещения вынужденных сокращений расстояний между резервуарами дизельного топлива и мазута в качестве наиболее вероятного сценария рассматривается возможность пожара на поверхности резервуара.

Сокращение расстояний от резервуаров дизельного топлива, мазута и бензинов до жилых и административно-бытовых зданий обуславливает в случае пожара на указанных резервуарах и в их обваловании возможность воздействия опасных факторов пожара на жилые и административно-бытовые здания, людей, находящихся в этих зданиях, и распространения пожара на прилегающую к нефтебазе зону жилой застройки.

Пожар пролива в обваловании резервуарного парка представляет большую, по сравнению с пожаром резервуара, опасность для людей, находящихся на прилегающей к объекту территории, в силу большей площади очага пожара. Поэтому для количественной оценки влияния на пожарную опасность отступлений, допущенных в части расстояний от резервуаров нефтепродуктов до жилых и административно-бытовых зданий, рассматривается пожар пролива в обваловании резервуарного парка.

Следует отметить, что по своим свойствам бензин более пожароопасен, чем дизельное топливо и мазут, поэтому при наличии на участке нескольких видов нефтепродуктов рассматривался пожар пролива бензина.

Для исследуемых пожаров рассматривались следующие наиболее опасные факторы:

- тепловое излучение пламени;
- непосредственное воздействие пламени и высокотемпературных продуктов сгорания.

Оценка величин опасных факторов и размеры зон поражения для возможных пожаров на рассматриваемой нефтебазе определялись в соответствии с приведенными в Приложении №3 Методики [66] методами.

В результате расчета интенсивности теплового излучения пожара пролива бензина на площадке железнодорожной сливноналивной эстакады было получено, что интенсивность теплового излучения на высоте ограждения нефтебазы на расстоянии 11 м от очага пожара в направлении, перпендикулярном железнодорожным путям, составляет 18,1 кВт/м<sup>2</sup>. Эта величина превосходит критическую интенсивность теплового излучения  $q_{CR}$  (таблица П4.3 [66]) для таких материалов, как древесина, пластик, резина, а также предельно допустимую для человека величину интенсивности теплового излучения (4 кВт/м<sup>2</sup> [66]). Следовательно, при пожаре пролива топлива на эстакаде существует опасность для людей и угроза воспламенения грузов, перевозка которых осуществляется по железнодорожному пути, проходящего на расстоянии 11 м от эстакады.

При расчете интенсивности теплового излучения рассматриваемых пожаров на резервуарах принималось, что очаг пожара расположен на высоте, равной высоте резервуара. Высота и диаметр рассматриваемых резервуаров для хранения бензина равны соответственно 18 м и 12,3 м, остальных резервуаров – 11,9 м и 19,0 м. Таким образом, рассматриваются пожары (пожары на поверхности топлива в резервуарах), характеризующиеся расположением очагов на высотах 11,9 м и 18 м. При таком расположении очага подвижность атмосферы существенна даже у основания пламени. Учитывая соотношение между размерами очага пожара пролива бензина в обваловании резервуарного парка и расстоянием от резервуарного парка до соседних объектов, для рассматриваемого пожара в об-

валовании резервуарного парка бензинов подвижность атмосферы также необходимо учитывать при расчете величин опасных факторов.

В связи с вышеизложенным для рассматриваемых пожаров на поверхности топлива в резервуарах и для пожара пролива бензина в обваловании резервуарного парка бензинов был произведен расчет интенсивности теплового излучения в соответствии с Методикой [66] с учетом удлинения и наклона пламени в направлении ветра. При этом интенсивность теплового излучения пожаров на поверхности топлива в резервуарах и пожара пролива в обваловании парка бензинов рассчитывалась для диапазона скоростей ветра от 0 до 20 м/с.

Было определено, что при пожаре на поверхности мазута в резервуаре максимальное для рассматриваемого диапазона скоростей ветра значение интенсивности теплового излучения в ближней к очагу пожара точке на поверхности соседнего резервуара, расположенного на расстоянии около 0,55 диаметров резервуара, равно 33,9 кВт/м<sup>2</sup>.

Максимальное для рассматриваемого диапазона скоростей ветра значение интенсивности теплового излучения в ближней к очагу пожара точке на поверхности резервуара дизельного топлива при пожаре на поверхности мазута в резервуаре, расположенном на расстоянии около 0,5 диаметров, равно 35,0 кВт/м<sup>2</sup>.

Также было установлено, что при пожаре на поверхности дизельного топлива в резервуаре максимальное для рассматриваемого диапазона скоростей ветра значение интенсивности теплового излучения в ближней к очагу пожара точке на поверхности соседнего резервуара дизельного топлива, расположенного на расстоянии 0,57 диаметров, равно 27,6 кВт/м<sup>2</sup>.

В руководстве [13] в качестве критической интенсивности теплового излучения для металлических конструкций рекомендуется величина 25 кВт/м<sup>2</sup>. Согласно полученным результатам при воздействии рассматриваемых пожаров на поверхности топлива в резервуарах на соседние резервуары, расстояния до которых меньше минимально допустимых противопожарными требованиями, интенсивность теплового излучения в ближних к очагу пожара точках поверхности этих резервуаров превышает указанную предельно допустимую величину.

Следует отметить, что результаты проведенных расчетов показали, что при расстоянии между резервуарами около половины диаметра резервуара существует воз-

возможность опасного воздействия теплового излучения пожара резервуара как на стенки, так и на поверхность крыши соседнего резервуара. Этот результат подтверждается данными литературных источников (например, работы [127]).

В случае пожара пролива бензина в обваловании резервуарного парка интенсивность теплового излучения в местах расположения жилых и административно-бытовых зданий (на расстоянии около 50 м от резервуаров) превышает при наличии ветра в направлении указанных зданий предельно допустимую величину  $4 \text{ кВт/м}^2$  во всем рассматриваемом диапазоне скоростей ветра.

Проведенные расчеты величин опасных факторов пожара на рассматриваемом объекте показали следующее.

- В случае пожара пролива нефтепродуктов на железнодорожной сливноналивной эстакаде существует угроза недопустимого воздействия опасных факторов пожара на людей и грузы, перевозка которых осуществляется по железнодорожному пути общей сети, проходящему вблизи эстакады.

В качестве дополнительных защитных мероприятий представляется необходимым реализовать меры по:

- предотвращению и снижению объемов утечек ЛВЖ и ГЖ (например, применение быстродействующих систем аварийного перекрытия трубопроводов, обеспечению локализации площади аварийного пролива в пределах эстакады, а при секционировании площадки эстакады в пределах отдельной секции площадки эстакады с организацией отвода этого пролива в аварийную емкость (емкости) и т.д.);

- предотвращению воспламенения поступивших в окружающее пространство при аварии горючих веществ (например, обеспечение возможности покрытия поверхности пролива ЛВЖ максимально возможной на площадке сливноналивной эстакады площади слоем воздушно-механической пены);

- оснащению эстакады стационарными системами пенного пожаротушения и водяного орошения, в том числе с использованием дистанционно управляемых лафетных стволов.

- При пожарах в резервуарных парках, резервуары которых расположены на расстояниях от жилых и административно-бытовых зданий менее минимально до-

пустимых нормативными требованиями, существует угроза воздействия опасных факторов пожара на людей, находящихся в указанных зданиях.

Для указанных парков необходимо предусмотреть дополнительные защитные мероприятия, направленные на предотвращение возникновения пожароопасных ситуаций и пожаров. В качестве основных мероприятий представляется необходимым предусмотреть следующее:

- ограничение общей вместимости резервуарных парков и единичного объема резервуаров;

- применение резервуаров с защитной стенкой типа «стакан в стакане». Конструкция резервуаров с защитной стенкой должна обеспечивать функционирование внутреннего резервуара в качестве резервуара хранения горючих жидкостей (рабочего резервуара), а внешнего резервуара («стакана») – в качестве аварийного резервуара;

- применение двустенных трубопроводов («труба в трубе»);

- использование аварийной запорной арматуры с дистанционным управлением в сочетании с системами обнаружения утечек;

- оснащение резервуаров стационарными дистанционно управляемыми или автоматическими системами пожаротушения и водяного орошения.

- При возникновении пожара на одном из резервуаров хранения нефтепродуктов, между которыми расстояние снижено по сравнению с требованиями документов [99, 126], существует угроза эскалации пожара на соседние резервуары. При этом возможно опасное воздействие теплового излучения пожара резервуара как на стенки, так и на поверхность крыши соседнего резервуара.

Для предотвращения распространения пожара с одного резервуара хранения нефтепродуктов на другие резервуары при сокращении расстояний между ними целесообразно предусмотреть устройство систем водяного орошения как боковых стенок, так и крыши указанных резервуаров.

### **Обоснование эффективности и достаточности разработанных противопожарных мероприятий для обеспечения требуемого уровня пожарной безопасности рассматриваемой нефтебазы**

Для оценки эффективности и достаточности разработанных дополнительных противопожарных мероприятий для рассматриваемой нефтебазы была произведена оценка пожарного риска, обусловленного участками объекта, размещаемыми по отношению к жилым и административно-бытовым зданиям на расстояниях, менее нормативных значений, с учетом указанных мероприятий. При этом, поскольку для рассматриваемого объекта нарушены расстояния до жилых и административных зданий, пожарный риск рассчитывался для населения, а не для персонала объекта.

Парк бензинов имеет среди рассматриваемых резервуарных парков наибольшее по площади обвалование (около 5000 м<sup>2</sup>).

В состав рассматриваемого резервуарного парка бензинов входят 5 резервуаров емкостью 2000 м<sup>3</sup> и технологические трубопроводы, соединяющие парк с насосной светлых нефтепродуктов.

Выход горючей среды (бензина) в окружающее пространство возможен в результате разгерметизации резервуаров хранения либо трубопроводов. Таким образом, в качестве основных пожароопасных ситуаций при оценке потенциального пожарного риска для парка бензинов рассматриваются:

- разгерметизация резервуара хранения бензина;
- разгерметизация трубопровода, соединяющего резервуар хранения бензина с насосной светлых нефтепродуктов.

Частота разгерметизации резервуаров бензина (резервуары с защитной стенкой типа «стакан в стакане») принималась равной  $5,0 \cdot 10^{-7}$  год<sup>-1</sup> согласно руководству [14]. В силу того, что на внутренних трубопроводах (трубопроводы типа «труба в трубе») внутри обвалования парка бензинов устройство разъемных соединений не допускается, и по причине отсутствия статистических данных по частотам разгерметизации двойных трубопроводов частота разгерметизации участков трубопроводов, соединяющих резервуары парка бензинов с насосной светлых нефтепродуктов, внутри обвалования резервуарного парка аналогично принималась равной  $5,0 \cdot 10^{-7}$  год<sup>-1</sup>.

Аварийная запорная арматура с дистанционным управлением на трубопроводах, соединяющих резервуары хранения бензина с насосной светлых нефтепродуктов, расположена за пределами обвалования. Следовательно, в случае разгерметизации как резервуаров хранения, так и трубопроводов происходит выход всего содержимого резервуара с образованием пролива бензина в границах обвалования резервуарного парка бензинов. Последующее воспламенение паров вышедшего нефтепродукта может привести к реализации следующих сценариев развития пожароопасных ситуаций: пожар пролива, пожар-вспышка, взрыв паровоздушной смеси.

Как взрыв, так и сгорание паровоздушной смеси без образования избыточного давления (пожар-вспышка) возможны только в случае воспламенения с задержкой паровоздушной смеси, образовавшейся в результате испарения бензина с поверхности пролива при условии безветрия. Данные о повторяемости направлений ветра и повторяемости штиля для района размещения объекта использовались в соответствии с [128].

Наиболее опасными факторами пожара и взрыва для рассматриваемых сценариев развития пожароопасных ситуаций являются:

- тепловое излучение при пожаре пролива;
- тепловое воздействие высокотемпературных продуктов сгорания паровоздушных смесей при возникновении пожара-вспышки;
- избыточное давление, образующееся при взрыве паровоздушной смеси.

Согласно полученным результатам расчета горизонтального размера зоны, ограничивающей область концентрации, превышающей нижний концентрационный предел распространения пламени, при поступлении паров бензина с поверхности пролива в границах обвалования радиус этой зоны превышает расстояние от резервуаров парка бензинов до близлежащих жилых и административно-бытовых зданий с учетом поправки на расстояние от резервуаров до геометрического центра обвалования. В связи с этим условная вероятность поражения при реализации пожара-вспышки и взрыва паровоздушной смеси принималась равной 1.

Ниже в таблице 2.1 приведены максимальные по направлениям ветра значения условной вероятности поражения человека тепловым излучением пожара пролива бензина в границах обвалования резервуарного парка бензинов для различных скоростей ветра на расстоянии 50 м от резервуаров парка.

Таблица 2.1 – Условная вероятность поражения человека тепловым излучением пожара пролива бензина в границах обвалования резервуарного парка бензинов для различных скоростей ветра

Скорость ветра, м/с	Условная вероятность поражения
0	0
5	0,03
10	0,20
15	0,39
20	0,54

Рассчитанная величина потенциального пожарного риска, совпадающего для населения с индивидуальным, обусловленного возможными пожарами в резервуарном парке бензинов, на расстоянии 50 м от резервуаров парка, составила  $1,8 \cdot 10^{-7}$  год<sup>-1</sup>. Следовательно, вклад резервуарных парков дизельного топлива и мазута, резервуары которых размещаются на аналогичном расстоянии от жилых и административно-бытовых зданий, в величину индивидуального риска для населения также не превосходит  $1,8 \cdot 10^{-7}$  год<sup>-1</sup>.

При этом индивидуальный риск, обусловленный размещением резервуарных парков бензина, мазута и дизельного топлива на расстоянии 50 м, не будет превышать предельно величину  $10^{-6}$  год<sup>-1</sup> [20].

Величина социального риска для населения, обусловленного возможными пожарами в парке бензинов, парке дизельного топлива и парке мазута, не превышает  $5,4 \cdot 10^{-7}$  год<sup>-1</sup>, что, в свою очередь, не превосходит предельно допустимую величину [20].

Таким образом, принятие разработанных противопожарных мероприятий позволяет обеспечить требуемый уровень пожарной безопасности для населения.

### **Результаты работы по обеспечению пожарной безопасности нефтебазы, расположенной в черте населенного пункта, и их обсуждение**

Проведенный выше анализ пожарной опасности нефтебазы, расположенной в стесненных условиях в черте населенного пункта с вынужденным сокращением расстояний между участками нефтебазы и расстояний от участков нефтебазы до граничащих с ней объектов защиты, показывает, что указанное сокращение расстояний обуславливает высокую вероятность каскадного развития возможных на рассматри-

ваемом объекте пожаров при их возникновении с возможностью эскалации воздействия поражающих факторов в сторону близлежащих жилых и общественных зданий.

С помощью предлагаемых в работе подходов к разработке способов снижения уровня пожарной опасности объектов обеспечения нефтепродуктами и моторными топливами для рассматриваемой нефтебазы был разработан комплекс противопожарных мероприятий, компенсирующих имеющиеся сокращения расстояний, в том числе новых, неспецифичных для объектов такого рода, например, применение резервуаров с защитной стенкой типа «стакан в стакане» и двустенных трубопроводов («труба в трубе»).

Результаты оценки пожарного риска, обусловленного участками объекта, размещаемыми по отношению к жилым и административно-бытовым зданиям на расстояниях, менее нормативных значений, с учетом указанных мероприятий, для населения говорят о достаточности и эффективности разработанного комплекса противопожарных мероприятий для обеспечения требуемого уровня пожарной безопасности нефтебазы.

## **2.4 Типовые требования пожарной безопасности для товарно-сырьевых складов ЛВЖ и СУГ**

На основе проведенного анализа были разработаны некоторые требования пожарной безопасности для товарно-сырьевых складов ЛВЖ и ГЖ, размещенных в стесненных условиях. Разработанные требования являются общими требованиями пожарной безопасности, которые целесообразно предъявлять к товарно-сырьевым складам, размещенным в стесненных условиях.

### **Способы хранения СУГ. Типы резервуаров**

Хранение СУГ следует предусматривать в резервуарных парках следующими основными способами:

– в надземных металлических горизонтальных и сферических (шаровых) резервуарах под давлением при температуре не выше 323,15 К (50 °С) и при давлении на-

сыщенных паров, соответствующем температурным условиям наружного воздуха климатической зоны;

– в наземных изотермических резервуарах при постоянной температуре, обеспечивающей избыточное давление насыщенных паров в резервуаре, близкое к атмосферному давлению.

Допускается хранение СУГ полуизотермическим способом, при реализации которого среда внутри резервуара соответствует изотермическим условиям хранения, а резервуар рассчитан на хранение под давлением, а также комбинированным способом, сочетающим указанные выше способы хранения в отдельной группе, содержащей соответствующую технологическую среду.

Резервуарные парки СУГ размещаются на промежуточных, товарных и сырьевых складах организации. При необходимости хранения СУГ в объемах, превышающих допускаемые для складской зоны организации, товарные и сырьевые склады должны выноситься за пределы организации на товарно-сырьевую базу.

Промежуточные склады СУГ размещаются в пределах производственной зоны организации и выполняют оперативные функции технологических систем производства.

Сырьевые и товарные склады СУГ размещаются на самостоятельных площадках отдельно от технологических систем цеха или производства в зоне товарно-сырьевых складов и (или) на товарно-сырьевой базе организации.

На складах СУГ допускается совместное размещение в самостоятельных группах резервуаров под давлением и изотермических резервуаров. При этом допустимая общая вместимость склада определяется по формуле

$$B = A + 3 (10000 - A), \quad (2.1)$$

где  $B$  – допустимая общая вместимость резервуаров склада при комбинированном способе хранения, м<sup>3</sup>;  $A$  – общая вместимость резервуаров для хранения под давлением в товарном или сырьевом складе, м<sup>3</sup>.

Для хранения СУГ на складах рекомендуется использовать резервуары в соответствии с таблицей 2.2.

Таблица 2.2 – Характеристики резервуаров для складов СУГ

Типы резервуара	Расчетное давление, МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	Вместимость одного резервуара, м <sup>3</sup>	Область использования
Горизонтальные цилиндрические под давлением	1,76(18)	100	Промежуточные склады пропана, пропилена, пропан-пропиленовая и пропан-бутан-пентановая фракция, ШФЛУ, смесь пропана и бутана
	0,72(7,35)	100	Промежуточные склады бутанов, бутиленов, бутадиена, бутан-бутиленовая фракция
	1,76(18)	200	Товарные и сырьевые склады пропана, пропан-пропиленовая и пропан-бутан-пентановая фракция, ШФЛУ, смесь пропана и бутана
	0,72(7,35)	200	Товарные и сырьевые склады бутанов, бутиленов, бутадиена, бутан-изобутиленовая фракция
Сферические под давлением	1,76(18)	600	Товарные и сырьевые склады пропана, пропилена
	0,88(8,79)	600	Товарные и сырьевые склады пропана, пропилена – полуизотермические
	0,6(6,0)	600	Товарные и сырьевые склады бутанов, бутиленов, бутадиена под давлением
	0,245(2,5)	600	Товарные и сырьевые склады бутанов, бутиленов, бутадиена – полуизотермические
	0,59(6,02)	2000	Товарные и сырьевые склады бутанов, бутиленов, бутадиена под давлением, пропана, пропилена, пропан-пропиленовой фракции – полуизотермические
	0,245(2,5)	2000	Товарные и сырьевые склады бутанов, бутадиена – полуизотермические
Цилиндрические вертикальные изотермические наземные	От 0,106 до 0,11 (от 1,08 до 1,12)	2000 6000 10000 20000 30000	Товарные и сырьевые склады изотермического хранения для всех СУГ
	От 0,106 до 0,11 (от 1,08 до 1,12)	10000 20000 30000 50000	Товарно-сырьевые базы изотермического хранения для всех СУГ

### Требования к генеральному плану

Выбор площадки для строительства складов СУГ следует осуществлять с учетом соблюдения противопожарных расстояний до окружающих склад зданий, сооружений, наружных установок. При выборе площадки под строительство в проектной документации должны быть определены охранные зоны, не подлежащие застройке в пределах противопожарных расстояний.

Размещение вновь проектируемых складов СУГ должно предусматриваться за пределами городов и населенных пунктов с подветренной стороны преобладающего направления ветра по отношению к жилым районам.

Для размещения складов следует предусматривать земельные участки, имеющие более низкие уровни по сравнению с отметками территорий соседних населенных пунктов, организаций, путей железных дорог общей сети.

Допускается размещение указанных складов на земельных участках, имеющих более высокие уровни по сравнению с отметками территорий соседних населенных пунктов, организаций, путей железных дорог общей сети, автомобильных дорог общего пользования, подъездных дорог к промышленным предприятиям, на расстоянии более 300 м от них.

На складах, расположенных на расстоянии от 100 до 300 м, должны быть предусмотрены меры (в том числе второе обвалование, аварийные емкости, отводные каналы, траншеи), предотвращающие растекание жидкости на территорию населенных пунктов, организаций, на пути железных дорог общей сети, автомобильных дорог общего пользования, подъездных дорог к промышленным предприятиям.

Планировка территории склада и его объектов должна предотвращать попадание СУГ при аварийном разливе с участков одних объектов на участки других, а также обеспечивать организацию отвода разлившихся жидкостей и защиту территории от скапливания талых и ливневых вод.

Территория склада не должна иметь оврагов, низин и выемок природного происхождения.

Земельные участки под размещение складов СУГ должны располагаться ниже по течению реки по отношению к населенным пунктам, пристаням, речным вокзалам, гидроэлектростанциям, судоремонтным и судостроительным организациям, мостам и сооружениям на расстоянии не менее 300 м от них, если техническими регламентами не установлены большие расстояния от указанных сооружений.

Допускается размещение складов выше по течению реки по отношению к указанным сооружениям на расстоянии не менее 3000 м от них при условии оснащения складов средствами оповещения и связи, а также средствами локализации и тушения пожаров.

Территорию товарного и (или) сырьевого склада СУГ рекомендуется разделять на зоны. Наименование зон и примерный состав объектов, размещаемых в зонах, приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Зонирование территории товарного и (или) сырьевого склада СУГ

Наименование зон	Здания и сооружения, размещаемые в пределах зоны
Производственная	Промежуточный склад СУГ, насосная СУГ, блоки очистки и осушки газа, блок сжижения углеводородного газа, блок регазификации СУГ, блок хладагента, канализационные сооружения, операторная
Изотермического хранения СУГ	Изотермические резервуары СУГ и вспомогательное оборудование, обеспечивающее безопасную эксплуатацию резервуаров
Хранения СУГ под давлением	Резервуары хранения СУГ под давлением
Приема и выдачи СУГ	Железнодорожные сливноналивные эстакады, насосные магистральных продуктопроводов
Факельное хозяйство	Ствол факела, устройство для зажигания факела, дренажные емкости, сепараторы, насосы
Подсобно-производственная	Здания и сооружения подсобно-производственного назначения (азотно-воздушная станция, котельная, лаборатория, насосная станция оборотного водоснабжения, насосная противопожарного водоснабжения, очистные сооружения, ремонтно-механические мастерские)

Объекты, размещаемые в каждой из указанных в таблице 2.3 зон, должны располагаться на обособленной территории. На складе СУГ в зависимости от размеров его территории может быть несколько однотипных зон (подсобно-производственных, изотермического хранения СУГ и др.).

В составе склада СУГ могут выделяться как обособленные зоны территории пункта осмотра и подготовки железнодорожных цистерн, пункта слива неисправных железнодорожных цистерн и пунктов отстоя железнодорожных цистерн, проектирование которых должно выполняться по специальным нормативным документам.

При проектировании складов СУГ следует предусматривать максимально возможное размещение технологических установок, аппаратов и оборудования вне зданий.

Резервуарные парки СУГ должны размещаться с одной стороны от подсобно-производственной зоны склада с подветренной стороны ветров преобладающего направления (по годовой «розе ветров»).

На территории складов СУГ должны быть установлены указатели направления и скорости ветра, хорошо видимые с любой точки территории в любое время суток.

Территория склада должна иметь не менее двух выездов на автомобильные дороги общей сети или на подъездные пути склада или организации.

Расстояние (по периметру) между выездами должно быть не более 1500 м. Выезды должны быть оборудованы автоматическими шлагбаумами, светофорами и сиренами.

Автомобильные дороги на территории складов устраиваются с обочинами (тро-туарами).

Устройство и планировка дорог должна исключать разлив жидкости на проезжую часть (устройство кюветов, канав).

В пределах обочин автомобильных дорог допускается прокладка подземных сетей противопожарного водопровода, связи, сигнализации, наружного освещения и силовых электрокабелей.

Допускается наземная прокладка сетей противопожарного водопровода с устройствами по предохранению воды от замерзания.

Служебные дороги, предназначенные для проезда основных и специальных пожарных автомобилей на территории складов СУГ, следует предусматривать с переходными типами дорожных одежд.

В зонах хранения СУГ сеть дорог и проездов для противопожарных целей должна быть кольцевой.

На тупиковых участках служебных дорог необходимо предусматривать разворотные площадки размером не менее 15×15 м.

На складах с подземным размещением резервуаров между группами резервуаров и зданиями (сооружениями) склада должна быть предусмотрена автомобильная дорога с обочинами.

По границам резервуарного парка СУГ и между отдельными группами резервуаров должны быть устроены проезды для пожарных машин с проезжей частью шириной не менее 3,5 м с твердым покрытием.

На участках сливноналивных железнодорожных эстакад, оборудованных сливноналивными устройствами с двух сторон эстакады, проезды для передвижной пожарной техники должны устраиваться кольцевыми.

Подъездной железнодорожный путь к складу не должен проходить через территорию других организаций, города и населенные пункты. Допускается прохождение

подъездного железнодорожного пути к складу через территорию организации, к которой относится склад, при условии устройства в пределах территории организации самостоятельного транзитного пути для склада СУГ.

Пересечение подъездных железнодорожных путей к складу с внешними автомобильными дорогами рекомендуется осуществлять на разных уровнях.

Конструкции мостов на подъездах и внутренних дорогах складов должны быть выполнены из негорючих материалов.

Ширина мостов должна быть не менее ширины проезжей части автомобильных дорог и пешеходной части дорог.

Для озеленения территории складов следует отдельно сажать декоративные деревья и низкорастущий кустарник лиственных пород.

Не допускается озеленение территории складов деревьями и кустарником, выделяющими при цветении хлопья, волокнистые вещества, опушенные семена.

Посадка сплошного кустарника и деревьев хвойных пород не допускается.

Расстояние от деревьев, кустарников на территории склада до ограждения резервуарного парка СУГ должно быть не менее 5 м, до изотермических резервуаров – не менее 20 м.

Для озеленения участков железнодорожного приема-отпуска СУГ и территории резервуарных парков СУГ следует устраивать только газоны.

При наличии автомобильных дорог на складах в качестве второго ограждения резервуаров посадка деревьев и кустарников между этими дорогами и ограждениями резервуаров не допускается.

При размещении складов в местности с наличием лесов вдоль границы лесного массива должна предусматриваться вспаханная полоса земли шириной не менее 5 м. При размещении складов в местности с участками залегания торфа расстояние от участка залегания торфа до ограждения склада должно быть не менее 100 м.

При наличии ограждения территории склада оно должно быть полностью продуваемым высотой не менее 2 м и выполненным из негорючих материалов.

Расстояния от ограждения склада до резервуаров, зданий и сооружений склада должны обеспечивать свободный проезд передвижной пожарной техники и создавать зону шириной не менее 10 м, свободную от горючих материалов.

Снаружи ограждения склада по его периметру следует предусматривать охранную полосу шириной не менее 10 м, в пределах которой не должно быть горючих материалов.

На складах не допускается осуществлять какие-либо производственные процессы, не связанные с приемом, хранением и отгрузкой СУГ.

Управление технологическими операциями на складах должно осуществляться из отдельно стоящих операторных, центральных пунктов управления, оборудованных системами устойчивой телефонной, теле- и радиосвязи, сигнализации и оповещения.

При определении расстояний от объектов склада их следует принимать:

- для зданий, сооружений, наружных установок – от наружных стен или конструкций (без учета металлических лестниц);
- для железнодорожных путей – от подошвы насыпи или бровки выемки;
- для сливноналивных устройств – от оси ближайшего железнодорожного пути со сливноналивными эстакадами;
- для эстакад технологических трубопроводов и трубопроводов, проложенных без эстакад – от крайнего трубопровода;
- для автомобильных дорог – от края проезжей части дороги;
- для факельных установок – от ствола факела;
- для надземных (наземных) резервуаров – от наружной стенки резервуара;
- для группы резервуаров – от наружной образующей замкнутого ограждения группы;
- для резервуарных парков – от наружной образующей замкнутого ограждения парка (граница резервуарного парка);
- для складов СУГ – от ограждения склада.

При определении противопожарных расстояний выступающие металлические конструкции, изоляция, присоединительные штуцеры объектов не учитываются.

В пределах противопожарных расстояний не допускается размещение временных строений, объектов, сооружений.

Местоположение противопожарных разрывов (расстояний), проездов, подъездов, пожарных гидрантов, резервуаров, водоемов, водоприемных колодцев, стацио-

нарных лафетных стволов, пожарных извещателей должно быть обозначено на плане территории склада СУГ.

План должен находиться в помещении дежурного персонала склада.

### Размещение складов СУГ

#### • Резервуарные парки

Резервуары для СУГ в резервуарных парках следует располагать по одному или группами по [141].

Резервуарный парк может состоять из одной или нескольких групп резервуаров.

В каждой группе следует размещать резервуары, аналогичные по своим конструктивным особенностям (горизонтальные, шаровые, изотермические).

Группы резервуаров для СУГ в зависимости от типа резервуаров, способа хранения и места размещения должны иметь общую вместимость в единицах объема согласно таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Общая вместимость группы резервуаров для СУГ в зависимости от зоны размещения, типа резервуара и способа хранения

Зона размещения	Наименование склада	Общая вместимость группы резервуаров, м <sup>3</sup>	Тип резервуара и способ хранения	Вместимость одного резервуара, м <sup>3</sup>
Производственная	Промежуточный	1000	Горизонтальный цилиндрический под давлением	100
Товарно-сырьевых складов и товарно-сырьевых баз	Товарный и сырьевой	2400	Горизонтальный цилиндрический под давлением.	200
			Сферический под давлением и полуизотермический	600
		2000	Сферический под давлением и полуизотермический	2000
Товарно-сырьевых складов и товарно-сырьевых баз	Товарный и сырьевой	5000	Наземный изотермический	5000
		10000	Наземный изотермический	10000
		20000	Наземный изотермический	20000
		30000	Наземный изотермический	30000

Горизонтальные цилиндрические и сферические резервуары в своих группах могут располагаться в один или два ряда с общей вместимостью, не превышающей установленную для группы.

Ряды из горизонтальных цилиндрических резервуаров в группе должны примыкать один к другому по короткой стороне.

Сферические резервуары вместимостью до 2000 м<sup>3</sup> включительно и наземные изотермические резервуары вместимостью до 5000 м<sup>3</sup> включительно размещаются в один или два ряда, наземные изотермические резервуары вместимостью свыше 10 000 м<sup>3</sup> и подземные – в одну линию.

Резервуарные парки, группы резервуаров, отдельно стоящие резервуары по периметру должны иметь защитные ограждения.

Ограждения должны отвечать требованиям [141].

При размещении резервуаров группами последние должны размещаться относительно друг друга по наименьшей стороне ограждения резервуаров. Если из условий планировки и размещения группы резервуаров обращены друг к другу длинной стороной, а общая ширина их при этом составляет больше 70 м, каждая группа должна иметь собственное ограждение.

Расстояние между рядами горизонтальных резервуаров в группе должно быть равно длине наибольшего резервуара, но не менее 10 м.

Расстояние между шаровыми резервуарами в группе должно быть не менее диаметра наибольшего из рядом стоящего резервуара. Расстояние принимается между внешними образующими резервуара.

Расстояния между отдельными группами резервуаров в промежуточных и товарно-сырьевых складах СУГ в организациях и на базах принимаются:

для групп резервуаров под давлением при общей вместимости резервуаров в наибольшей группе:

- до 700 м<sup>3</sup> – не менее 10 м;
- св. 700 до 2000 м<sup>3</sup> – не менее 25 м;
- св. 2000 м<sup>3</sup> – не менее 30 м;

для групп резервуаров изотермических при общей вместимости резервуаров в наибольшей группе:

- до 700 м<sup>3</sup> – не менее 10 м;
- св. 700 до 2000 м<sup>3</sup> – не менее 16 м;
- св. 2000 м<sup>3</sup> – не менее чем расстояние между резервуарами в группе;

для групп резервуаров под давлением и резервуаров изотермических при общей вместимости резервуаров в наибольшей группе:

- до  $700 \text{ м}^3$  – не менее 20 м;
- св.  $700$  до  $2000 \text{ м}^3$  – не менее 40 м;
- св.  $2000$  до  $5000 \text{ м}^3$  – не менее 60 м;
- св.  $5000$  до  $10\,000 \text{ м}^3$  – не менее 100 м;
- св.  $10000 \text{ м}^3$  – не менее 150 м;

для групп резервуаров СУГ и резервуаров с ЛВЖ без давления и ГЖ при общей вместимости резервуаров в наибольшей группе:

- до  $700 \text{ м}^3$  – не менее 25 м;
- св.  $700$  до  $2000 \text{ м}^3$  – не менее 50 м;
- св.  $2000$  до  $5000 \text{ м}^3$  – не менее 100 м;
- св.  $5000$  до  $10\,000 \text{ м}^3$  – не менее 120 м;
- св.  $10000$  до  $50\,000 \text{ м}^3$  – не менее 150 м;
- св.  $50000 \text{ м}^3$  – не менее 200 м.

При определении расстояний между группами резервуаров следует обеспечивать возможность устройства подъезда передвижной пожарной техники к любой группе с двух сторон, а также установку лафетных стволов.

При определении расстояний между группой горизонтальных цилиндрических резервуаров и группой сферических резервуаров следует учитывать ширину трассы трубопроводов, проходящих вне защитного ограждения резервуаров.

Для подземных резервуаров расстояния в группе и между группами допускается сокращать на 50 % по сравнению с расстояниями для соответствующих наземных резервуаров, при этом при определении расстояний между группами резервуаров следует обеспечивать возможность устройства подъезда передвижной пожарной техники к любой группе с двух сторон, а также установку лафетных стволов.

Расстояние между резервуарами различных складов СУГ, размещаемых в зоне товарно-сырьевых складов организации, должно быть не менее 300 м независимо от способа хранения в указанных складах.

Внутри ограждения группы резервуаров допускается прокладка инженерных коммуникаций, обслуживающих резервуары данной группы.

Не допускается транзитная прокладка надземных инженерных сетей в пределах ограждения групп и отдельных резервуаров.

В пределах ограждения резервуарных парков установка вспомогательного оборудования не допускается. При этом испарители и теплообменники для подогрева СУГ следует размещать на расстоянии не менее 10 м от ограждения резервуаров хранения и более 1 м от стен зданий насосной и компрессорной, обслуживающих эти парки.

Территория внутри защитного ограждения должна быть спланирована с уклоном не менее 0,5 % от резервуаров к обвалованию и с общим уклоном 1,0 % в сторону ливневых колодцев. Трубы или короба выпуска ливневых и талых вод должны быть герметичны в местах прохода через ограждение.

Собранные стоки должны направляться в локальные очистные сооружения.

Переходы через ограждения резервуаров следует предусматривать в соответствии с требованиями [141].

Дренажные и факельные емкости, емкости для инертного газа, емкости, используемые для слива продуктов, а также сепараторы на линиях сброса из предохранительных клапанов должны размещаться вне защитного ограждения на расстоянии от резервуаров не менее диаметра ближайшего к емкости резервуара.

Расстояние между указанными емкостями следует принимать как для технологического оборудования, но не менее 1 м и не менее 10 м от здания насосной и сливноливного устройства.

Расстояние от этих емкостей до открытых насосных не нормируется.

На складах в случае возникновения пожароопасной ситуации и пожара должна быть предусмотрена возможность аварийного освобождения резервуаров от хранимого продукта путем перемещения его из резервуаров одной группы в резервуары другой группы, а при наличии на складе одной группы – из резервуара в резервуар.

При отсутствии возможности указанного перемещения следует предусматривать аварийные резервуары для приема продукта из резервуаров хранения склада.

Аварийные резервуары следует размещать в отдельной группе по отношению к резервуарам хранения склада. Вместимость аварийных резервуаров должна обеспечивать полное освобождение резервуара хранения максимального объема по каждому из хранимых продуктов и в общей вместимости склада не учитывается.

Размещение аварийных резервуаров на складе определяется требованиями, предъявляемыми к расположению основных резервуаров хранения склада.

Аварийные резервуары должны быть включены в технологическую систему таким образом, чтобы они находились в постоянной готовности к приему хранимого продукта.

На резервуарный парк хранения СУГ должны составляться технологическая схема с указанием расположения резервуаров, их номеров, всех технологических трубопроводов и арматуры с номерами и обозначениями, технологические карты резервуаров с указанием наибольшего допустимого уровня СУГ, наибольшего объема заполнения и других эксплуатационных показателей.

• Промежуточные склады СУГ

Общая вместимость промежуточного склада СУГ для одной технологической установки, цеха или производства, размещаемого в производственной зоне организации при хранении под давлением, не должна превышать 2000 м<sup>3</sup>. Вместимость одного резервуара промежуточного склада не должна превышать 100 м<sup>3</sup>.

Расстояния от резервуаров промежуточных складов СУГ до отдельных объектов организации, а также до насосных, обслуживающих эти склады, должны быть не менее указанных в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Противопожарные расстояния от резервуаров промежуточного склада до отдельных объектов организации

Объекты	Расстояние, м
Продуктовые насосные, обслуживающие промежуточные склады	15
Здания, сооружения, аппаратура технологических установок	40
Аварийный резервуар для продуктов технологических установок	В отдельной группе
Сооружения на очистке стоков: канализационная насосная, закрытая нефтеловушка	40
емкость для сбора канализационных стоков	20
Сооружения оборотного водоснабжения:	В соответствии с требованиями нормативных документов, но не менее
градирня	40
насосная оборотного водоснабжения	40
Здания и сооружения подсобной зоны	100
Здания административной зоны	100

Объекты	Расстояние, м
Внутризаводские железнодорожные пути (от ограждения до оси пути)	30
Внутризаводские автодороги (от ограждения до края проезжей части)	Не менее 20
Электропомещения и отдельно стоящие трансформаторные подстанции, распределительные устройства и пункты, помещения управления	По расчету зон поражения избыточным давлением взрыва, но не менее чем в соответствии с требованиями нормативных документов к устройству электроустановок
Транзитные кабельные эстакады и эстакады для трасс КИП	Вне защитного ограждения резервуаров на расстоянии не менее 10
Транзитные, технологические и тепловые трубопроводы	Вне защитного ограждения резервуаров на расстоянии не менее 10

Размещение сливноналивных эстакад в составе промежуточных складов не допускается.

- Склады СУГ, размещаемые в товарно-сырьевой зоне организации

Общая вместимость одного товарного и (или) сырьевого склада, размещаемых в товарно-сырьевой зоне организации, не должна превышать значений, указанных в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Общая вместимость одного товарного и (или) сырьевого склада

Зона размещения склада	Общая вместимость одного склада СУГ, м <sup>3</sup>	
	при хранении под давлением	при изотермическом способе хранения
Товарно-сырьевых складов	10000	40000
Товарно-сырьевой базы	20000	60000

Расстояния от товарных и сырьевых складов СУГ до других объектов организации и объектов вне территории организации принимаются в соответствии с требованиями [126].

Расстояния от резервуаров товарных и сырьевых складов СУГ до зданий и сооружений, обслуживающих склады, принимаются по таблице 2.7.

Таблица 2.7 – Противопожарные расстояния от резервуаров товарного и сырьевого склада до зданий и сооружений, обслуживающих склад, м

Объекты	Резервуары надземные под давлением, включая полуизотермические	Резервуары подземные под давлением	Резервуары наземные изотермические	Резервуары подземные изотермические
Здание насосной	15	10	15	15
Компрессорная	15	10	40	40
Газодувные для СУГ, поступающих на компримирование	-	-	15	15
Автомобильные дороги; подъезды к складу и кольцевая дорога вокруг склада, связанные с обслуживанием склада	10	10	10	10
Насосные станции противопожарного водопровода	100	60	80	60
Пожарные водоемы (от места забора воды)	100, но не более 200	75	75	50
Электропомещения и отдельно стоящие трансформаторные подстанции, распределительные устройства и пункты, помещение операторной	По расчету зон поражения избыточным давлением взрыва, но не менее чем в соответствии с требованиями нормативных документов к устройству электроустановок			
Бытовые здания и помещения	100	50	100	50
Контрольно-пропускные пункты	30	20	20	20
Пожарные проезды между группами резервуаров и между сооружениями склада	5	5	5	5
Пункт осмотра и подготовки железнодорожных цистерн	300	150	200	100
Сливоналивные эстакады: железнодорожная (от оси пути до оси обвалования) для слива неисправных цистерн	40	20	40	20
	30	20	30	20
Установки для испарения и смешения газов	-	-	15	15
Пожарный пост	80	60	60	40
Факельная установка при складе	100	75	100	50
Подъездные железнодорожные пути к складу (от оси пути до оси защитного ограждения резервуаров)	40	20	40	20

Расстояние от факельной установки до резервуарного парка следует считать минимальным; в каждом конкретном случае его следует определять с учетом влияния теплового потока от пламени факела.

Расстояние от отдельно размещенной сливоналивной эстакады до смежных организаций, жилых и общественных зданий и других объектов организаций принимается как от резервуаров склада СУГ.

В состав пункта слива неисправных железнодорожных вагонов-цистерн следует включать резервуар для слива продукта, вместимость которого должна быть не менее максимальной вместимости железнодорожного вагона-цистерны. Оборудование указанного резервуара должно отвечать требованиям, предъявляемым к резервуарам складов СУГ.

- Склады СУГ, размещаемые на товарно-сырьевой базе

Общая вместимость одного товарного и (или) сырьевого склада, размещаемых на товарно-сырьевой базе организации, не должна превышать значений, указанных в таблице 2.6.

Расстояния от складов СУГ, входящих в состав товарно-сырьевой базы, до других объектов принимаются в соответствии с требованиями [126].

Расстояния от резервуаров складов товарно-сырьевой базы до зданий и сооружений этих складов следует принимать по таблице 2.7.

Расстояния между отдельными складами с резервуарами под давлением, с резервуарами изотермическими, полуизотермическими на товарно-сырьевой базе принимаются не менее 250 м.

Сливоналивные эстакады для СУГ допускается размещать на одном из складов или отдельно.

- Дополнительные требования к размещению складов изотермического хранения

При проектировании складов СУГ изотермического хранения рекомендуется предусматривать преимущественно однотипные резервуары равного объема и стремиться к сокращению их общего количества за счет увеличения единичных объемов резервуаров в пределах, установленных настоящим сводом правил.

В резервуарных парках допускается размещать резервуары следующих основных видов:

– по конструктивному исполнению стенок резервуара – одностенные с теплоизоляцией и двустенные, состоящие из внутренней емкости и внешней емкости, включающие в себя изолированное (межстенное) пространство;

- по конструктивному исполнению внутренней крыши – с самонесущей и подвесной крышей;

- по типу изоляции – с экранной, пористой, засыпной и жесткой изоляцией;

- по применяемому материалу – металлические, железобетонные и комбинированные.

Изотермические резервуары вместимостью 2000 м<sup>3</sup> и более размещаются в самостоятельном обваловании каждый.

Высота обвалования рассчитывается на полный геометрический объем резервуара, установленного внутри него, при условии, что высота обвалования должна быть на 0,5 м выше уровня разлившейся жидкости. Обвалование выполняется из материала, непроницаемого для СУГ.

Следует предусматривать установку дополнительной преграды (ограждающей стены по [141]), способной предотвратить или снизить растекание перелившейся за обвалование жидкой фазы СУГ.

Конструкция, материалы, габариты и расстояние от резервуара до дополнительной преграды должны быть определены гидродинамическим расчетом при конкретном проектировании.

Обвалование и ограждающая стена должны быть рассчитаны:

- на криогенное и гидравлическое воздействие СУГ (тепловой и гидравлический удар при мгновенном разливе);

- на тепловое воздействие от горящего в пределах обвалования и ограждающей стены разлитого СУГ с сохранением конструктивной устойчивости в течение времени полного выгорания расчетного объема разлива СУГ, но не менее 3 ч;

- на внешние климатологические и другие особо оговоренные в проекте воздействия.

По обе стороны ограждающей стены должны быть установлены лестницы-переходы в количестве не менее двух с расположением в противоположных от резервуара сторонах ограждения.

Изотермические резервуары для хранения СУГ следует размещать группами, не более трех резервуаров в группе. Объединять в группу следует преимущественно однотипные резервуары.

Расстояние между резервуарами в группе следует принимать:

- при вместимости одного резервуара до  $2000 \text{ м}^3$  – не менее диаметра наибольшего резервуара;
- при вместимости одного резервуара от  $2000 \text{ м}^3$  – не менее 60 м;
- при вместимости одного резервуара от  $10\,000 \text{ м}^3$  – не менее 100 м.

Расстояние от внешней образующей резервуара до внутренней подошвы обвалования должно быть не менее половины диаметра установленного резервуара.

С территории, ограниченной обвалованием и ограждающей стеной, должен быть обеспечен отвод ливневых и талых вод. Следует предусматривать устройство водосборника (приямка), размещаемого у подошвы обвалования или ограждающей стены и оборудованного в месте откачки воды съемным насосом.

Отвод воды с помощью сливных трубопроводов, проходящих сквозь обвалование или ограждающую стену, не допускается.

Территорию, ограниченную обвалованием и ограждающей стеной, следует планировать с уклоном не менее 1 % от резервуара и с общим уклоном 0,25 % в сторону выпуска ливневых и талых вод.

Непосредственно под изотермическим резервуаром площадка должна быть приподнята относительно прилегающей территории и иметь уклон к наружному периметру.

На территории резервуарного парка изотермического хранения СУГ допускается размещать технологическое оборудование, непосредственно связанное с резервуарами и обеспечивающее их безопасную эксплуатацию:

- системы, устройства и средства противопожарной защиты;
- емкости для хранения азота;
- насосы для откачки ливневых и талых вод.

Расстояния от изотермических резервуаров до объектов склада изотермического хранения принимаются по таблице 2.7.

### **Требования к резервуарам, оборудованию и устройствам складов СУГ с резервуарами под давлением**

Резервуары и технологическая обвязка.

В зависимости от места хранения и вида хранимого СУГ рекомендуется применять типы резервуаров, приведенные в таблице 2.2.

Резервуары необходимо использовать только для продуктов, предназначенных по проекту или имеющих сходные физико-химические и коррозионные характеристики (при соответствующем обосновании).

Резервуары должны устанавливаться на опорах, выполненных из негорючих материалов, с собственными фундаментами, с устройством стационарных металлических площадок с лестницами. Предел огнестойкости опор – не ниже R 120.

Площадки обслуживания горизонтальных цилиндрических резервуаров должны предусматриваться с двух сторон от арматуры, приборов и люков. При устройстве одной площадки для нескольких резервуаров лестницы следует устанавливать в концах площадки. При длине площадки более 60 м в средней ее части следует предусматривать дополнительную лестницу. Лестницы должны выводиться за защитное ограждение резервуаров.

Корпуса резервуаров должны быть оснащены платиками и деталями для крепления трубопроводов систем водяного орошения.

При необходимости устройства теплоизоляции резервуара на корпусе резервуара должны быть детали для крепления изоляции.

В районах, где по климатическим условиям возможен нагрев содержимого резервуара выше 45 °С, следует предусматривать теплоизоляцию, орошение водой или устройство теневого кожуха. Резервуары должны быть окрашены в белый цвет.

Сферические резервуары в верхней части оборудуются металлической площадкой с ограждением и приспособлением монтажа-демонтажа предохранительных клапанов, арматуры, приборов. Площадка переходным мостиком должна быть соединена с лестницей.

Лестницы к сферическим резервуарам выполняются отдельно стоящими (не по образующей резервуара) с уклоном 45°. Допускается установка одной лестницы для двух шаровых резервуаров.

Технологическая обвязка горизонтальных цилиндрических и сферических резервуаров трубопроводами и арматурой должна обеспечивать выполнение следующих операций:

- прием СУГ в резервуар;
- выдачу СУГ из резервуара;
- отключение (отсоединение) резервуара с помощью запорной арматуры от связанных с ним технологических коммуникаций;
- аварийную перекачку СУГ из одного резервуара во все остальные резервуары;
- дренирование подтоварной воды снизу резервуара в закрытую дренажную систему;
- связь по газовому пространству с другими резервуарами группы (с помощью уравнивающей линии);
- регулирование давления в газовом пространстве (в случае технической необходимости);
- защиту резервуара от повышения давления с помощью предохранительных клапанов;
- защиту резервуара от вакуума (если резервуар на него не рассчитан);
- сброс паров и газов для сжигания на факеле (ручное стравливание);
- отвод (сброс) газов продувки на свечу;
- отбор проб на анализ;
- подготовку резервуара к ремонту (подачу пара, инертного газа, воды);
- вентиляцию резервуара в атмосферу в случае необходимости (через воздушник);
- отключение резервуара от технологических коммуникаций;
- проведение гидравлического испытания на прочность;
- удаление воды после гидроиспытаний.

На каждом резервуаре должно предусматриваться автоматическое закрытие арматуры на входе СУГ в резервуар при достижении верхнего аварийного уровня в резервуаре с одновременной остановкой насоса или открытием арматуры на входе СУГ в другой резервуар.

На входе в резервуар должен быть установлен обратный клапан.

Допускается установка одного обратного клапана на каждой общей линии, по которой СУГ подается в группу резервуаров.

## **Технологические трубопроводы и арматура**

Внутренние, а также наружные технологические трубопроводы, связывающие между собой блоки, установки, резервуары склада и склады СУГ, следует прокладывать надземным способом с размещением на эстакадах, этажерках, стойках, опорах, выполненных из негорючих материалов. Предел огнестойкости опорных конструкций на высоте первого яруса, но не ниже 4 м, должен быть не менее R 60.

Рекомендуется предусматривать расположение трасс трубопроводов со стороны дорог и проездов противоположным размещению тротуаров и пешеходных дорожек.

Не допускается прокладка трубопроводов, транспортирующих СУГ и его пары, в искусственных или естественных углублениях.

При проектировании трасс технологических трубопроводов следует по возможности предусматривать минимальное количество разъемных соединений. Соединения труб должны быть сварными.

Фланцевые соединения допускаются в местах установки арматуры или подсоединения трубопроводов к аппаратам, а также на участках, где в соответствии с технологическим процессом требуется периодическая разборка для проведения чистки и ремонта трубопроводов.

В качестве прокладочных материалов для фланцевых соединений необходимо применять материалы, устойчивые к перемещаемым средам и отвечающие требованиям хранения СУГ.

Трубопроводы, проложенные внутри ограждения резервуаров, не должны иметь фланцевых соединений, за исключением мест присоединения арматуры.

Трубопроводы к резервуарам должны прокладываться над защитным ограждением резервуаров. При прокладке трубопроводов через защитное ограждение в месте прохода труб должна обеспечиваться герметичность.

Не допускается прокладка трубопроводов через защитные ограждения соседних резервуаров и групп резервуаров парка.

Запорная трубопроводная арматура, применяемая для установки на трубопроводах с СУГ, по герметичности затвора должна соответствовать классу «А» по [142].

На входе и выходе с территории организации трубопроводы с СУГ должны иметь отключающие устройства, размещенные в пределах территории организации.

На подводящих и отводящих коллекторах СУГ при вводах в резервуарный парк и выводах из него трубопроводов должна устанавливаться запорная арматура с дистанционным управлением, конструкция которой предусматривает также ручное управление по месту.

Установку отключающей арматуры на вводах и выводах следует предусматривать вне защитных ограждений резервуаров парка, ограждения насосной и компрессорной.

В помещение управления должен подаваться сигнал о конечном положении штока запорной арматуры (по принципу «открыто – закрыто»).

При подключении нескольких резервуаров к общему коллектору необходимо предусматривать отключающие устройства на каждом трубопроводе-отводе к резервуару.

Не допускается установка отключающих устройств на трубопроводах подачи и отвода СУГ внутри ограждения резервуарного парка, за исключением устройств, установленных непосредственно у резервуара.

Для отключения трубопроводов от резервуара следует предусматривать два запорных устройства. Коренные задвижки у резервуаров должны быть с ручным управлением и дублироваться дистанционно управляемыми запорными устройствами, установленными вне ограждения резервуаров.

На трубопроводах с СУГ, прокладываемых между зданиями и сооружениями складов СУГ, для аварийного отключения следует устанавливать запорную или отсечную арматуру с дистанционным управлением.

Прокладка трубопроводов с СУГ под зданиями и сооружениями не допускается.

Арматуру на трубопроводах следует предусматривать в легкодоступных местах, обеспечивающих удобство и безопасность ее обслуживания и ремонта.

Ручной привод арматуры должен располагаться на высоте не более 1,8 м от поверхности земли или площадки обслуживания.

На участках трубопроводов с СУГ, имеющих отключающую арматуру на концевых участках, между отключающими устройствами следует устанавливать перепускные предохранительные клапаны для защиты трубопроводов и арматуры от повышения давления при объемном расширении СУГ.

Отключение перепускного клапана может производиться только на время его замены при работающем трубопроводе, который должен быть соединен с резервуаром, имеющим паровую фазу над жидкостью.

На трубопроводах с СУГ складов с изотермическими и полуизотермическими резервуарами должны быть предусмотрены устройства и средства для предварительного их захлаживания и поддержания в охлажденном состоянии в периоды простоя.

В случаях необходимости транспортирования влажного сжиженного газа с содержанием воды трубопроводы прокладываются с обогревающим спутником и изолируются.

Для транспортирования СУГ не допускается применение труб из стекла и других хрупких материалов, а также из горючих и трудногорючих материалов (фторопласта, полиэтилена и др.).

Не допускается применение гибких соединений (резиновые и пластмассовые шланги, металлорукава) в качестве стационарных трубопроводов для транспортировки СУГ.

Для проведения операций слива и налива в железнодорожные вагоны-цистерны и другое нестационарное оборудование, а также для выполнения вспомогательных операций (продувка участков трубопроводов, насосов, отвод отдувочных газов и паров, освобождение трубопроводов от остатков продукта) допускается применение гибких соединений – металлорукавов.

Подключение металлорукавов для выполнения вспомогательных операций допускается только на период проведения этих работ. Выбор гибких соединений должен выполняться с учетом свойств транспортируемого продукта и параметров проведения процесса.

Не допускается прокладка кабелей и трубопроводов систем противопожарной защиты совместно с трубопроводами СУГ.

Для аварийного освобождения резервуаров следует применять запорную арматуру с дистанционным управлением из мест, доступных для обслуживания в пожароопасных ситуациях и при пожаре, как по месту установки, так и из помещения управления.

### **Предохранительные устройства от повышения давления**

Горизонтальные цилиндрические и сферические резервуары следует оборудовать системой предохранительных клапанов от повышения давления, состоящей из рабочего (группы рабочих) и резервного (группы резервных) клапанов.

Предохранительные клапаны (группы рабочих и резервных) должны иметь пропускную способность, обеспечивающую полную защиту резервуара от давления, превышающего допустимое.

Предохранительные клапаны рекомендуется устанавливать выше отметки расположения общего сбросного коллектора.

Сборные коллекторы сброса среды от предохранительных клапанов должны рассчитываться на максимально возможный сброс газа и паров СУГ в условиях пожара в зависимости от расположения резервуаров в группе.

При двухрядном расположении резервуаров в группе при наличии четырех и более резервуаров коллектор следует рассчитывать на сброс предохранительных клапанов от трех резервуаров. При однорядном расположении резервуаров в группе при наличии трех и более резервуаров коллектор рассчитывается на сброс от двух резервуаров, при наличии двух или одного резервуара коллектор рассчитывается на сброс от одного резервуара.

При проектировании коллектора сброса от предохранительных клапанов отдельной группы резервуаров к общему трубопроводу «газ на факел» необходимо рассматривать возможность их секционирования, позволяющего отключать на время ремонта или ревизии предохранительных клапанов группы резервуаров от общего факельного коллектора.

Сброс газа и паров СУГ от предохранительных клапанов резервуаров следует осуществлять в отдельную систему, не связанную с другими факельными системами.

Трубопроводы от предохранительных клапанов должны иметь уклон в сторону факельного коллектора не менее 0,002 и подсоединяться к факельному коллектору сверху или под углом от 30° до 45°.

Установка на трубопроводах запорных устройств после предохранительных клапанов не допускается.

При сбросе в факельную систему газа и паров СУГ, имеющих при нормальном давлении температуру кипения минус 30 °С и ниже (низкотемпературные, или холодные сбросы), следует предусматривать их предварительный подогрев перед входом в общий факельный коллектор или факельный ствол.

### **Насосные СУГ**

Насосы, входящие в состав насосных станций складов СУГ, следует предусматривать для проведения одной или нескольких следующих технологических операций:

- подачи СУГ в магистральные продуктопроводы;
- создания требуемого подпора на приеме магистральных насосов (подпорные насосы);
- подачи СУГ на технологические установки для дальнейшей переработки;
- слива-налива железнодорожных вагонов-цистерн;
- подачи СУГ на регазификацию для собственных топливных нужд;
- вспомогательных операций (внутрипарковые перекачки, пусковые цели и пр.);
- циркуляции постоянного количества СУГ из изотермического резервуара через испаритель для поддержания температурного режима в резервуаре.

На складах СУГ должны применяться центробежные герметичные (бессальниковые) насосы.

Допускается применение центробежных насосов с двойными торцовыми уплотнителями. В качестве затворной жидкости должны использоваться негорючие, нейтральные к перекачиваемой среде жидкости.

Отключающая от технологических коммуникаций запорная арматура должна устанавливаться на приемном и выходном трубопроводах. Запорная арматура должна быть максимально приближена к насосу (располагается внутри здания, блочного сооружения, ограждающей конструкции) и с ручным управлением.

Насосы, перекачивающие СУГ, а также компрессоры, газодувки, работающие непрерывно, должны быть оснащены средствами сигнализации, извещающими об их останове.

Должно быть предусмотрено дистанционное отключение электродвигателей насосов из помещения управления.

На приемном и выходном трубопроводах снаружи на расстоянии не менее 3 м и не более 50 м от ограждающей конструкции насосной следует устанавливать запорную арматуру аварийного отключения с дистанционным управлением.

В открытых насосных запорную арматуру аварийного отключения следует устанавливать на расстоянии от 5 до 50 м от границы контура насосной.

На обвязке каждого насоса должен быть предусмотрен штуцер для подсоединения съемного участка трубопроводов подвода инертного газа и (или) пара для продувки и пропарки насоса.

На корпусе насоса или на выходном трубопроводе насоса до отключающей арматуры необходимо устанавливать тепловой предохранительный клапан, предотвращающий повышение давления сверх расчетного в случае возгорания на неработающем насосе. После предохранительного клапана устанавливается запорная арматура, опломбированная в открытом положении.

Средние скорости движения жидкой фазы СУГ с учетом противокавитационного запаса при гидравлических расчетах трубопроводов следует принимать:

- во всасывающих трубопроводах насосов – не более 1,2 м/с;
- в нагнетательных трубопроводах насосов – не более 3 м/с.

Максимальная безопасная скорость движения жидкости при диаметрах трубопроводов до 200 мм не должна превышать следующих пределов:

- для СУГ с удельным объемным электрическим сопротивлением не более  $10^5$  Ом·м – 10 м/с;
- для СУГ с удельным объемным электрическим сопротивлением от  $10^5$  до  $10^9$  Ом·м – 5 м/с;
- для СУГ с удельным объемным электрическим сопротивлением более  $10^9$  Ом·м – 1,2 м/с.

Насосы, перекачивающие СУГ, следует размещать на открытых площадках под навесом (открытые насосные) с продуваемым ограждением по периметру и обогреваемыми полами, в блок-боксах и специальных укрытиях и при соответствующем обосновании в отдельных зданиях не ниже II степени огнестойкости класса С0.

Площадь защитных боковых ограждений открытых насосных должна составлять не более 50 % общей площади закрываемой стороны (считая по высоте от пола до выступающей части перекрытия или покрытия насосной).

Защитные боковые ограждения открытых насосных должны быть выполнены из негорючих материалов и по условиям естественной вентиляции не должны доходить до пола и покрытия (перекрытия) насосной более чем на 0,3 м.

Насосы, предназначенные для отбора СУГ из изотермического резервуара, могут устанавливаться снаружи или непосредственно внутри резервуара (криогенные погружные герметичные насосы).

Насосы, предназначенные для отбора СУГ из изотермического резервуара и циркуляции постоянного количества СУГ из резервуара через испаритель для поддержания низкотемпературного режима хранения, допускается устанавливать внутри защитного ограждения или с наружной стороны у ограждения изотермических резервуаров. Насосы в этом случае должны размещаться под навесом.

К зданию насосной допускается пристраивать вентиляционную камеру, помещение контрольно-измерительных приборов (КИП) без постоянных рабочих мест, а также санитарный узел для обслуживающего персонала. При этом указанные помещения должны быть отделены от насосной глухой противопожарной стеной 2-го типа и иметь самостоятельные выходы наружу.

При размещении в один ряд двух и более насосов ширину основного прохода по фронту обслуживания следует принимать не менее 1,5 м до наиболее выступающих частей насосов, а между отдельными насосами – не менее 0,8 м с учетом обвязки технологическими и вспомогательными трубопроводами.

Насосы должны устанавливаться на фундаментах, не связанных с фундаментами другого оборудования и стенами здания.

При технической необходимости рабочие насосы должны иметь резерв.

### **Дренажные системы и система сброса на свечу**

На складах СУГ должны быть обеспечены взрывопожаробезопасные сбор, удаление и утилизация стоков, содержащих горючие газы при нормальном режиме ра-

боты, проведении регламентных и ремонтных работ, при возникновении аварийных пожароопасных ситуаций.

По каждому участку склада должны определяться возможные составы, температура и количество направляемых в дренажные системы стоков с учетом их взрывопожароопасных и физико-химических свойств, а также компоновочных решений сооружений, размещенных на участке.

Спуск подтоварной воды из горизонтальных цилиндрических и сферических резервуаров для хранения СУГ следует предусматривать в закрытую систему дренажа.

Пропускная способность, объем дренажной емкости и другие параметры закрытой дренажной системы должны обеспечивать ее работоспособность при возникновении пожароопасной ситуации, для локализации которой предназначена дренажная система.

Закрытые дренажные системы должны отвечать следующим основным требованиям:

- предотвращать образование взрывоопасных смесей как в самих системах, так и в окружающем пространстве, а также предотвращать развитие пожароопасных ситуаций;
- обеспечивать минимально возможное время освобождения резервуаров и технологических систем;
- оснащаться средствами контроля и управления в необходимом объеме;
- находиться в постоянной готовности к введению в действие.

Горизонтальные и сферические резервуары для хранения СУГ, в которых возможно присутствие воды, оборудуются закрытой системой дренажа воды с установкой в днище резервуара донного незамерзающего клапана (тип КНД) и внешними нагревательными устройствами в нижней части резервуара, обеспечивающими отвод воды при отрицательных значениях температуры окружающей среды. В качестве теплоносителя следует использовать пар, паровой конденсат, горячую воду или негорючие некоррозионные антифризы.

На трубопроводах для спуска воды из резервуаров необходимо устанавливать последовательно два запорных устройства (отключающую арматуру) и дренажное устройство между ними, имеющее выход в атмосферу, обеспечивающее контроль дренирования воды и проверку исправности запорных устройств.

Одним из запорных органов может служить дренажный незамерзающий клапан.

Запорные устройства на трубопроводах спуска воды из резервуаров следует устанавливать на расстоянии не менее 0,5 м друг от друга.

Второе по ходу запорное устройство, служащее для регулирования дренируемого потока, не должно быть расположено под резервуаром.

Маховики или рукоятки запорных устройств должны быть несъемными, на них должно быть стрелкой или иным способом указано направление вращения при закрывании или открывании (положения «открыто – закрыто»).

Второе по ходу запорное устройство и дренажный трубопровод после него должны иметь соответствующие опоры и быть защищены от возможных механических повреждений, воздействия вибрации и удара струи.

Дренажный трубопровод должен иметь диаметр не менее 50 мм и уклон не менее 0,002 в сторону дренажной емкости. Должны быть предусмотрены обогрев и теплоизоляция дренажного трубопровода.

Дренирование резервуаров с СУГ должно производиться в дренажную емкость (сепаратор), оснащенную змеевиком обогрева внешнего исполнения.

Дренажная емкость (сепаратор) должна устанавливаться вне защитного ограждения резервуаров на расстоянии не менее 5 м от нижней образующей ограждения.

Сточные воды из сепаратора необходимо сбрасывать через дегазатор в промливневую канализацию, жидкую фазу СУГ возвращать в систему.

Сброс выделившегося газа в атмосферу следует производить через сбросные трубы, оборудованные огнепреградителями.

Трубопровод спуска воды в промливневую канализацию должен иметь окончание, открытое для наблюдения.

Расчетное давление элементов дренажной системы, включая дренажную емкость, следует принимать равным максимальному расчетному давлению в резервуаре, подключенному к системе.

Для выпуска атмосферных вод с огражденных площадок резервуарных парков хранения СУГ под давлением (отдельно размещенных резервуаров) за пределами защитных ограждений в сухих колодцах должны быть установлены задвижки в нормально закрытом состоянии.

Рассеивание продувочных газов (смеси СУГ с воздухом и инертным газом), образующихся при продувке резервуаров и трубопроводов, а также оборудования склада во время пуска и подготовки к ремонту или осмотру, следует предусматривать через свечу.

Свеча рассеивания размещается вне защитного ограждения резервуарного парка преимущественно с подветренной стороны к резервуарам и другим сооружениям склада на расстоянии не менее 5 м от ограждения.

Расстояние от свечи рассеивания до электропомещений, помещений КИП и вспомогательных зданий должно быть не менее 40 м.

Высота свечи должна рассчитываться, исходя из необходимости рассеивания взрывоопасных газов в требуемой точке с концентрацией ниже нижнего концентрационного предела распространения пламени (20 % от НКПР по [22]), при этом верхний срез свечи должен быть не ниже 30 м над верхней кромкой (точкой) потенциального источника зажигания.

Сбросные трубопроводы на свечу следует прокладывать без карманов.

Снизу свечи необходимо предусматривать дренажное устройство.

### **Электроснабжение и электрооборудование электроустановок**

Электроустановки складов СУГ должны соответствовать классу взрывоопасной зоны, в которой они расположены.

Выбор и установка электрооборудования, электропроводок и кабельных линий для электроустановок во взрывоопасных зонах должны производиться на основе классификации взрывоопасных зон, категории и группы взрывоопасных смесей в соответствии с [143].

По надежности электроснабжения электроприемники складов СУГ следует относить к I категории.

Из состава электроприемников I категории выделяется особая группа электроприемников, определяемая в каждом конкретном случае при разработке проекта.

Для электроснабжения особой группы электроприемников I категории должно предусматриваться дополнительное питание от третьего независимого взаиморезервирующего источника питания. В особую группу электроприемников I категории следует выделять системы противопожарной и противоаварийной защиты.

Должна быть обеспечена возможность безаварийного перевода технологического процесса хранения в безопасное состояние во всех режимах, в том числе и при одновременном прекращении подачи электроэнергии от двух независимых взаиморезервирующих источников питания.

Электроснабжение аварийного освещения рабочих мест, с которых предусмотрена аварийная остановка электроприемников, относящихся к особой группе I категории надежности электроснабжения, должно выполняться с той же категорией надежности.

Электродвигатели основного насосного и другого оборудования, а также всех ответственных механизмов должны быть оборудованы схемой самозапуска, обеспечивающей включение электродвигателей после кратковременного прекращения подачи электроэнергии.

В качестве резервных источников электропитания допускается применение дополнительных дизельных генераторов и аккумуляторных батарей.

Пуск аварийных дизельных генераторов должен обеспечиваться без потребления электроэнергии извне.

Управление резервными энергетическими установками (дизель-генераторами) должно выполняться как с центрального пункта управления склада, так и с пультов, расположенных в помещениях, где находятся указанные установки.

Кабели, прокладываемые на территории склада в зонах размещения резервуаров и оборудования, должны иметь не распространяющую горение изоляцию. Оболочки кабелей должны быть выполнены из материалов, стойких к воздействию продуктов, имеющихся в зоне прокладки кабелей.

Кабельные эстакады и галереи могут быть как самостоятельными, так и размещенными на общих строительных конструкциях с технологической эстакадой.

Конструкции для прокладки и крепления кабелей должны быть выполнены из негорючих материалов.

Прокладка токопроводов без электроизоляции на эстакадах с трубопроводами, транспортирующими горючие газы, эстакадах кабелей автоматики и контрольно-измерительных приборов не допускается.

Не допускается совместная прокладка взайморезервирующих кабелей рабочего, аварийного освещения, а также кабелей питания и управления в одной трубе, металлорукаве, пучке, замкнутом канале строительной конструкции или на одном лотке.

Допускается прокладка кабелей в каналах, засыпанных песком, и траншеях. В кабельных каналах, проходящих во взрывоопасных зонах или по территории от одной взрывоопасной зоны до другой, через каждые 100 м должны быть установлены песочные переемычки длиной не менее 1,5 м каждая.

Способы прокладки кабелей должны отвечать требованиям действующих нормативных документов.

Ввод электрических кабелей и кабелей систем автоматики и контрольно-измерительных приборов в открытые насосные следует осуществлять не менее чем в двух местах.

Установка электрооборудования и прокладка электрокабельных линий внутри защитного ограждения резервуаров не допускается, за исключением устройств контроля и автоматики, приборов местного освещения и электроприводов резервуарного оборудования во взрывозащищенном исполнении, а также имеющего сертификат пожарной безопасности кабеля и устройств для обогрева трубопроводов и оборудования внутри защитного ограждения резервуаров.

Устройства для подключения передвижного и переносного электрооборудования должны размещаться вне взрывоопасных зон. Сеть для подключения сварочных аппаратов должна быть нормально обесточена.

Электропомещения, обслуживающие склады СУГ, должны размещаться в отдельно стоящих зданиях.

В указанных помещениях следует предусматривать гарантированный подпор воздуха, подъем полов без пустот; не допускается устройство окон, двери должны иметь уплотнения в притворах и прижимные пружины.

Шкафы управления электрозадвижками резервуарного парка следует размещать в закрытых вентилируемых электропомещениях.

Воздухозабор для приточной вентиляции электропомещений должен приниматься высотой не менее 15 м.

В воздухозаборниках приточной вентиляции следует устанавливать сигнализаторы до взрывоопасных концентраций в соответствии с требованиями раздела 10, по сигналам которых должна отключаться приточная вентиляция и автоматически закрываться герметичный клапан на воздухозаборе.

Электропомещения должны отвечать требованиям документа [144].

Защита надземных и подземных резервуаров складов СУГ от прямых ударов молнии должна обеспечиваться молниеотводами, стоящими отдельно вне ограждения резервуаров.

Не допускается устанавливать молниеотводы на резервуарах или использовать в качестве молниеотводов стенки резервуаров.

Сливоналивные эстакады должны быть защищены вдоль всего сливоналивного фронта от прямых ударов молнии и от электрической индукции.

Металлическое и электроприводное неметаллическое оборудование, трубопроводы должны представлять собой на всем протяжении непрерывную электрическую цепь, которая в пределах сливоналивной эстакады должна быть присоединена к контуру заземления не менее чем в двух точках.

Сливоналивные устройства должны быть заземлены.

Допускается предусматривать объединение заземлителей защиты от прямых ударов молнии, защитного заземления электрооборудования и заземлителя защиты от электрической индукции.

Рельсы железнодорожных путей в пределах сливоналивного фронта эстакады должны быть электрически соединены между собой и присоединены к заземляющим устройствам в двух местах по торцам эстакады. При этом заземляющие устройства не должны быть связаны с заземлением электротяговой сети.

Защита установок, оборудования, трубопроводов от статического электричества и системы заземления должны отвечать требованиям действующих нормативных документов.

На складах СУГ должно быть предусмотрено отдельное централизованное управление освещением по следующим видам:

- наружное освещение резервуарных парков, проездов, проходов, оборудования;
- охранное освещение территории склада.

Освещение складов СУГ должно выполняться прожекторами или светильниками «лампа-солнце», установленными на прожекторных мачтах.

Для охранного освещения допускается применение светильников, установленных на опорах, и подземной кабельной проводки. Допускается выполнение локального освещения с помощью светильников во взрывозащищенном исполнении.

Для аварийного освещения и освещения мест, где проводятся ремонтные работы, следует применять аккумуляторные фонари во взрывозащищенном исполнении.

Прожекторные мачты следует устанавливать вне пределов защитного ограждения резервуарных парков и взрывоопасных зон на расстоянии не менее полуторной высоты мачты.

Аппараты управления освещением следует размещать в местах с постоянным пребыванием персонала (операторные, пункты управления).

В случае использования отдельно стоящих молниеотводов для резервуаров допускается совмещать установку прожекторов для освещения и молниеотводов на одной строительной конструкции, размещаемой за пределами защитного ограждения резервуарных парков.

Электрооборудование систем, обеспечивающих пожарную безопасность объектов, должно быть защищено от механических повреждений.

В случае возникновения пожара должно быть предусмотрено дистанционное отключение электрооборудования по группам из операторной или пункта управления. Группы оборудования должны быть сформированы по территориальному признаку.

### **Специфические требования к резервуарам, оборудованию, арматуре и устройствам складов изотермического хранения СУГ. Резервуары и оборудование изотермических резервуаров**

За объем резервуара следует принимать геометрический объем его внутренней емкости. Максимальный уровень заполнения резервуара хранящимся СУГ должен быть не менее чем на 1 м ниже узла сопряжения цилиндрической стенки с самонесущим купольным перекрытием или внутренней поверхности подвесного перекрытия.

Технологическая схема хранения СУГ в изотермических резервуарах должна исключать возможность попадания СУГ из резервуара после его нагрева или регази-

фикации обратно, попадание недостаточно охлажденного продукта в резервуар, влияние нарушений параметров технологического режима одного из резервуаров на режим и параметры технологической системы соседних резервуаров.

Технологическое оборудование, входящее в состав технологической схемы изотермического хранения СУГ (собственно изотермический резервуар, холодильный блок охлаждения продукта при его заливе в изотермический резервуар, холодильная установка поддержания низкотемпературного режима хранения, насосы для циркуляции СУГ через испаритель-конденсатор и последующего возврата переохлажденной жидкости в паровое пространство резервуара, насосы для отгрузки СУГ из резервуара, регазификаторы, буферные емкости и др.), и его характеристики должны определяться термодинамическими свойствами хранимого СУГ, конструкцией и объемом изотермического резервуара, интенсивностью и характером (наличие или отсутствие в схеме буферных емкостей) подачи СУГ в резервуар, интенсивностью и характером (при температуре хранения или в подогретом состоянии) выдачи СУГ.

Узлы ввода и вывода из резервуара трубопроводов и других элементов и устройств должны быть выполнены только через перекрытие.

Конструкция шахт погружных насосов выдачи СУГ должна обеспечивать возможность снятия и замены любого из насосных агрегатов без опорожнения резервуара.

Грузоподъемные средства и механизмы для обслуживания технологического оборудования, предохранительной арматуры, средств КИП, другого резервуарного оборудования, включая погружные насосы, размещаемые на площадках в области перекрытия резервуара, должны быть в исполнении, исключающем образование искр, с электроприводами во взрывозащищенном исполнении.

Должна быть обеспечена возможность продувки всего объема межстенного пространства резервуара инертным газом, в первую очередь пространства вдоль наружной поверхности внутренней емкости резервуара.

Наружная тепловая изоляция и другие покрытия резервуара должны быть стойкими к воздействию СУГ и воды, применяемой для орошения резервуара.

Конструкция резервуара, используемые материалы и средства гидрозащиты наружной поверхности внешней емкости должны исключать проникновение влаги из окружающей среды в межстенное пространство.

Фундамент и донная опорная плита надземного резервуара должны быть выполнены из негорючих материалов с пределом огнестойкости, определяющим их устойчивость на время полного выгорания расчетного объема СУГ, но не менее 8 ч, и рассчитаны на криогенное и гидростатическое воздействие СУГ.

По всему периметру перекрытия (крыши) резервуара следует предусматривать установку ограждающих конструкций.

### **Технологическая обвязка изотермических резервуаров**

Трубопроводная технологическая обвязка изотермических резервуаров должна обеспечивать выполнение пожаробезопасным способом следующих технологических операций:

- подачу СУГ в резервуар на изотермическое хранение;
- выдачу СУГ из резервуара потребителю;
- возможность внутриварочной перекачки СУГ из одного резервуара в другой;
- подачу инертного газа для гашения вакуума или продувки резервуара при смене вида хранящегося СУГ, при вводе резервуара в эксплуатацию, а также при его остановках для проведения профилактических осмотров и ремонта;
- подачу инертного газа в межстенное пространство;
- отбор паров СУГ из резервуара и их подачу в холодильно-компрессорное отделение;
- сброс паров из резервуара через предохранительные клапаны в факельную систему и в сбросную трубу;
- отбор инертного газа из межстенного пространства (при замкнутой системе циркуляции инертного газа или централизованном отборе инертного газа для анализа на наличие в нем углеводородов);
- подвод воздуха (азота) к системам КИП и управляющим механизмам;
- подвод воды к системам противопожарной защиты.

Прокладка технологических трубопроводов к резервуару в пределах обвалования и защитной стены должна предусматриваться только по эстакаде с проницаемым для СУГ настилом, выполненной из негорючих материалов с пределом огнестойкости несущих конструкций не менее R 60 и стойких к криогенному воздействию СУГ.

Прокладка трубопроводов систем противопожарной защиты по этим эстакадам не допускается.

На эстакаде должны быть предусмотрены проходы с ограждаемыми конструкциями для доступа к трубопроводам, арматуре и приборам.

Высота и конструкция эстакады под трубопроводы технологической обвязки надземного резервуара должны обеспечивать подвод коммуникаций через верх защитного ограждения без нарушения его целостности.

Окончание трубопровода заполнения резервуара сжиженным газом должно располагаться непосредственно у днища резервуара.

Каждый из погружных насосов выдачи СУГ должен размещаться в собственной шахте, оснащенной гидравлическими затворными и предохранительными устройствами, а также устройствами для подачи в шахту инертного газа.

Следует предусматривать установку необходимого количества резервных агрегатов.

Трубопроводы технологической обвязки изотермических резервуаров должны иметь продувочные патрубки для подачи инертного газа.

При проектировании трубопроводов технологической обвязки резервуаров следует предусматривать установку специальных устройств (например, обратных клапанов), ограничивающих разлив СУГ при истечении газа в случае аварийной разгерметизации трубопровода.

На трубопроводах подачи (выдачи) СУГ и паров в (из) резервуар следует устанавливать запорную арматуру.

Управление запорной арматурой должна управляться следующими способами:

– дистанционно с щита операторной (диспетчерской) – при нормальных режимах работы и при пожароопасных ситуациях;

– автоматически – при авариях, связанных с разгерметизацией трубопроводов (резкое падение давления или скоростного напора в трубопроводе), при неисправностях в сетях управления (пневматических, электрических), при обнаружении концентрации паров СУГ в воздухе, равной 50 % от НКПР по [22], при пожаре в производственной зоне склада СУГ и на территории резервуарного парка.

Оперативная арматура должна иметь дублирующее ручное управление по месту.

Отсекающую запорную арматуру следует устанавливать в местах, расположенных в непосредственной близости от резервуара в уровне купола и в пределах обвалования резервуара.

Оперативную запорную арматуру следует располагать на специальной площадке за пределами обвалования или ограждающей стены на расстоянии не менее 10 м от них.

Под площадками запорной арматуры следует предусматривать поддоны для сбора возможных утечек СУГ из фланцевых соединений арматуры и при аварийных проливах в узлах запорной арматуры.

Конструкция поддонов должна обеспечивать возможность естественного стока СУГ в приямок-ловушку.

### **Предохранительные устройства и системы защиты от повышения давления и образования вакуума. Факельные системы**

Изотермические резервуары должны быть защищены от повышения давления с помощью предохранительных устройств.

Следует предусматривать две независимые автоматические системы сброса газа:

- закрытую систему газосброса для сжигания на факеле;
- систему газосброса через сбросную трубу непосредственно в атмосферу.

Сброс избытка паровой фазы СУГ через систему предохранительных клапанов сброса на «холодный» факел низкого давления должен автоматически производиться в случае превышения избыточного давления относительно номинального (рабочего) на заданную технологическим регламентом или техническими условиями величину.

Сброс избытка паровой фазы СУГ через систему предохранительных клапанов в сбросную трубу непосредственно в атмосферу должен автоматически производиться в случае, если избыточное давление превысит давление срабатывания предохранительных клапанов сброса на факел.

Каждая из указанных систем должна быть рассчитана как на максимальный единичный сброс паров СУГ, образующихся вследствие причин, так и на экстремальное внешнее тепловое воздействие на конструкцию резервуара при горении разлитого СУГ. Она должна иметь не менее двух предохранительных клапанов с пропускной способностью каждого, обеспечивающей максимальный сброс паров.

При расчете максимального сброса паров СУГ следует учитывать указанные ниже причины, а также возможное их сочетание:

- нарушения в работе или выход из строя системы поддержания режима низкотемпературного хранения (холодильной установки, испарителей-конденсаторов, избытка паровой фазы из резервуара, циркуляционных насосов подачи постоянного количества жидкости из резервуара на охлаждение);

- нарушения в работе или выход из строя регулятора давления в паровом пространстве резервуара;

- переполнение резервуара жидкой фазой СУГ;

- изменение стационарного теплопритока к СУГ в резервуаре и трубопроводах от окружающей среды, определяемого принятыми техническими решениями по тепловой изоляции и ее тепловым состоянием (увлажнение теплоизоляции, усадка засыпной теплоизоляции);

- мгновенное (полное) испарение СУГ при их подаче в теплый резервуар, в режиме его предварительного захлаживания, путем распыливания жидкости или при прямом заполнении резервуара жидкой фазой СУГ;

- повышение интенсивности испарения СУГ вследствие самопроизвольного перемешивания хранящегося продукта, при возникновении в резервуаре температурного расслоения (ролловера);

- падение атмосферного давления.

При расчете теплового баланса резервуара должны учитываться следующие факторы:

- для режима хранения при температуре ниже температуры окружающей среды – абсолютная максимальная температура воздуха и солнечная радиация;

- для режима заполнения – максимальная температура поступающего в резервуар СУГ с учетом максимальной температуры окружающей среды и солнечной радиации;

- для случая горения соседнего резервуара – температура наружной стены резервуара принимается равной 600 °С при одновременном сбросе на факел и орошении резервуара;

– для режима хранения при температуре выше температуры окружающей среды  
– абсолютная минимальная температура окружающего воздуха с учетом отвода тепла при откачке СУГ.

Установочное давление (давление срабатывания) предохранительных устройств вследствие повышения давления на резервуарах со сбросом паров СУГ в систему сброса на факел и в систему газосброса через сбросную трубу непосредственно в атмосферу должно быть менее максимального расчетного давления внутренней емкости резервуара.

Системы газосброса резервуара должны иметь резервные предохранительные клапаны, аналогичные по характеристикам рабочим клапанам.

Сбросные трубы от предохранительных устройств и общие сбросные коллекторы должны устанавливаться с выполнением следующих условий:

- обеспечивать отвод паров СУГ в безопасное место;
- обеспечивать защиту от механического повреждения;
- исключать попадание в трубопроводы атмосферной влаги и углеводородного конденсата от предохранительных устройств или удалять их, с устройством противодождевых козырьков и дренажей соответствующих конструкций. Дренажи должны исключать возможность проникновения через них пламени в резервуар, трубопроводы и конструкции.

Высота, диаметр и место размещения сбросной трубы должны определяться исходя из условия безопасного рассеивания паров СУГ с учетом требований действующих нормативных документов, но при этом окончание трубы должно размещаться на расстоянии не менее 2 м от кровли резервуара.

Газосбросы на факел от предохранительных клапанов, установленных на изо-термическом резервуаре, следует направлять от каждого резервуара по отдельному трубопроводу в общий коллектор специальной системы «холодного» факела низкого давления (далее – факельная система низкого давления), не связанной с другими факельными системами.

Факельная система низкого давления должна иметь собственную факельную установку сжигания сбрасываемых газов и паров, отвечающую требованиям действующих нормативных документов.

Пропускная способность общего коллектора факельной системы низкого давления изотермических резервуаров должна быть рассчитана на наибольшее количество аварийных сбросов из всех изотермических резервуаров склада СУГ.

Потери давления в факельной системе низкого давления (противодавление) при максимальном расчетном сбросе должны исключать преждевременное срабатывание предохранительных клапанов газосброса непосредственно в атмосферу.

Конструкция предохранительных клапанов должна обеспечивать их самофиксацию после открытия вследствие избыточного давления в трубопроводе до клапана и исключать потери напора в них путем удержания в открытом состоянии.

Трубопроводы факельной системы низкого давления должны выполняться из сталей, предназначенных для работы в условиях низких температур, и проектироваться надземными на опорах, с теплоизоляцией, с уклоном в сторону сепараторов не менее 0,003. Соединения труб должны быть сварными.

Территория вокруг факельного ствола на расстоянии, определяемом расчетом, но не менее 50 м от него, должна быть ограждена.

Ограждение факельного ствола должно быть выполнено из негорючих материалов, в его пределах не допускается размещать сепараторы, насосы, емкости и другое оборудование факельной установки, а также устраивать колодцы, приемки и другие заглубления.

Сбросы от предохранительных клапанов технологических блоков и установок при резервуарах следует направлять в факельную систему высокого давления, не связанную со факельной системой низкого давления резервуара.

Сброс газов высокого давления в факельную систему низкого давления не допускается.

Изотермические резервуары должны быть защищены от образования вакуума в паровом пространстве резервуаров с помощью предохранительных устройств.

Следует предусматривать две системы предохранительных устройств для защиты от вакуума:

– систему гашения вакуума до определенного заданного предела путем подачи в паровое пространство инертного газа или осушенных паров СУГ низкого давления;

– систему гашения вакуума с помощью вакуумных клапанов, при срабатывании которых резервуар по паровому пространству соединяется непосредственно с атмосферой.

Вакуумные предохранительные устройства резервуара должны быть рассчитаны на максимальный единичный пропуск газа (паров) или воздуха, поступающих в резервуар для гашения вакуума.

При расчете максимального единичного пропуска газа (паров СУГ) или воздуха следует учитывать перечисленные ниже причины, а также возможное их сочетание:

– отбор (откачку) жидкой фазы СУГ из резервуара с максимальной производительностью;

– отбор паров из резервуара компрессором с максимальной производительностью;

– повышение атмосферного давления.

Допускается снижать пропускную способность устройств гашения вакуума на количество паров, образующихся при испарении в результате притока внешнего тепла при нормальных условиях к СУГ в резервуаре.

Система подачи газа для гашения вакуума не должна допускать нерасчетного срабатывания вакуумных предохранительных клапанов и попадания воздуха в резервуар.

Применение системы гашения вакуума путем подачи газа в резервуар не должно исключать установки самих вакуумных предохранительных клапанов.

Вакуумные предохранительные клапаны должны выполняться с переключающими устройствами. Нейтральное положение в переключающих устройствах не допускается.

Установочное давление вакуумных предохранительных клапанов должно быть менее максимального расчетного вакуума внутренней емкости резервуара.

Предохранительные устройства для защиты от повышения давления и от образования вакуума в паровом пространстве резервуаров должны устанавливаться с выполнением следующих условий:

– обеспечивается прямая связь устройств с паровым пространством резервуара и исключается перекрывание подводящих трубопроводов жидким СУГ, содержащимся в резервуаре;

– сводится к минимуму возможность доступа к механизму настройки устройств.

При внешнем исполнении механизма настройки последний следует опломбировать;

– обеспечивается требуемая пропускная способность подводными и отводящими трубопроводными сборками предохранительных устройств, включая любую блокирующую арматуру;

– эксплуатация предохранительных устройств осуществляется при температуре окружающей среды при отсутствии потока паров СУГ через них.

Конструкция и размещение всех установленных на резервуаре предохранительных клапанов (устройств) должны обеспечивать сохранение их работоспособности в условиях радиационного облучения от горящего СУГ при пожаре.

Межстенное пространство двустенного надземного металлического изотермического резервуара должно быть защищено от повышения давления и от образования вакуума при изменениях атмосферного давления или от теплового радиационного воздействия пожара.

Подачу инертного газа в межстенное пространство следует предусматривать по трубопроводу в нижнюю его часть на распределительный коллектор с обязательными отводами под днище внутренней емкости.

На выходе инертного газа из межстенного пространства должны производиться отбор газовых проб или устанавливаться газоанализаторы, обеспечивающие регистрацию углеводородов в инертном газе.

Система текущей диагностики герметичности межстенного пространства должна обеспечивать оперативную регистрацию наличия углеводородов в среде инертного газа, отбираемого на анализ из межстенного пространства, а также идентифицировать место утечки СУГ.

### **Контроль и автоматизация**

Уровень автоматизации склада изотермического хранения СУГ должен обеспечить:

– дистанционный контроль, автоматическое регулирование и управление технологическим процессом изотермического хранения;

– поддержание оптимальных режимов работы резервуаров и основных технологических блоков и установок;

– безопасную и безаварийную работу резервуаров, технологических блоков и установок;

– невозможность функционирования основного технологического оборудования при отключенных системах обеспечения пожарной безопасности и блокировок с ними.

Средства контроля и автоматизации изотермического резервуара должны обеспечивать:

– автоматическое регулирование давления в паровом пространстве резервуара с дистанционной передачей и регистрацией показаний на щите оператора и сигнализацией в операторной верхнего и нижнего предела рабочего давления;

– автоматическое регулирование давления инертного газа в межстенном пространстве двустенных резервуаров с дистанционной передачей и регистрацией показаний на щите оператора и сигнализацией в операторной верхнего и нижнего предела рабочего давления;

– измерение, дистанционную передачу и регистрацию на щите оператора уровня хранимого СУГ с сигнализацией в операторной верхнего и нижнего предельного рабочего уровня;

– измерение, дистанционную передачу и регистрацию на щите оператора температуры хранимого СУГ в паровой и жидкой фазе не менее чем в четырех точках по высоте резервуара;

– измерение, дистанционную передачу и регистрацию на щите оператора температуры тепловой изоляции днища, боковой стенки и перекрытия в характерных точках;

– измерение, дистанционную передачу и регистрацию на щите оператора температуры наружной поверхности резервуара в характерных точках;

– автоматическое поддержание температурного поля подогревателя основания резервуара (в случае необходимости его установки) с дистанционной передачей и регистрацией показаний на щите оператора и сигнализацией отклонений этих температур от рабочих параметров;

– независимую сигнализацию верхнего и нижнего предельно допустимого уровня хранимого СУГ;

– автоматическое включение систем защиты резервуара от повышения давления и образования вакуума в паровом пространстве резервуара;

– текущий контроль за герметичностью (отсутствием утечек) внутренней емкости по результатам анализа инертного газа, выходящего из межстенного пространства;

– регистрацию срабатывания предохранительных устройств системы защиты резервуара от повышения давления со сбросом среды в закрытую систему для сжигания на факеле, регистрацию факта срабатывания затворных механизмов средств тепловой защиты поверхности резервуара в случае пожара;

– устройство системы автоматического отключения запорной арматуры на технологических трубопроводах подачи СУГ в резервуар при достижении верхнего предельного уровня, повышении давления или температуры в резервуаре, при достижении предельных рабочих значений этих параметров;

– автоматическое отключение насосов выдачи СУГ из резервуара и соответствующей запорной арматуры на технологических трубопроводах при достижении нижнего предельного уровня и снижении давления в резервуаре до нижнего предельного значения рабочего давления;

– автоматическое отключение или перевод на работу по байпасной схеме (на циркуляцию) компрессоров холодильной установки при достижении нижнего предельного значения рабочего давления.

## **Системы противопожарной защиты**

### Системы водяного орошения

Резервуары хранения СУГ независимо от типа следует оборудовать автоматическими стационарными установками водяного орошения, обеспечивающими защиту:

– поверхности корпуса резервуара хранения СУГ под давлением;

– крыши и боковых поверхностей изотермического резервуара;

– штуцеров, клапанов, трубопроводов, арматуры и оборудования, установленных на резервуаре;

– запорной арматуры на трубопроводах подачи и выдачи СУГ;

– отсекающей, запорной и оперативной арматуры на трубопроводах подачи, выдачи и отбора паров СУГ, а также трубопроводов (до мест установки оперативной запорной арматуры) и металлических конструкций эстакад для их прокладки.

Автоматическая стационарная установка водяного орошения резервуара должна содержать следующее оборудование:

- кольцевые оросительные трубопроводы с оросителями, расположенными с заданным интервалом и на определенном расстоянии от боковой наружной поверхности резервуара;

- кольцевые оросительные трубопроводы с оросителями, расположенными на крыше (перекрытии) изотермического резервуара;

- кольцевые или тупиковые трубопроводы с оросителями для защиты арматуры, трубопроводов, клапанов и другого оборудования.

Оросительные трубопроводы конструктивно должны быть выполнены с соблюдением следующих условий:

- для горизонтальных цилиндрических резервуаров наружным диаметром менее 2 м – трубопроводом в одну нитку;

- для горизонтальных цилиндрических резервуаров наружным диаметром 2 м и более – трубопроводом, выполненным в виде петли (П-образная форма);

- для сферических резервуаров – кольцами орошения (по горизонтали) с интервалом установки колец – 5 м, начиная с верха резервуара;

- для изотермических резервуаров – в виде секций (полуколец) по горизонтали для боковых поверхностей резервуара. Интервал установки секций (полуколец) – от 5 до 6 м по высоте резервуара.

Отдельные оросительные секции (кольцевые или тупиковые трубопроводы с оросителями) следует устраивать для мест расположения функционального оборудования (узлов отключающей и предохранительной арматуры).

Запорно-пусковые устройства установок водяного орошения следует предусматривать, исходя из следующих положений:

- для горизонтальных цилиндрических резервуаров – группы из трех резервуаров на каждое запорно-пусковое устройство при расположении резервуаров в один ряд и шести резервуаров при расположении резервуаров в два ряда;

- для сферических резервуаров – одно запорно-пусковое устройство на каждый резервуар;

– для изотермических резервуаров – запорно-пусковое устройство на каждую секцию оросительных трубопроводов.

Тип, количество и особенности расстановки оросителей, а также режим их работы (давление перед оросителями, расход воды, дисперсность распыла) должны быть определены исходя из условия равномерного орошения всех защищаемых поверхностей с заданной интенсивностью, обеспечивающей тепловую защиту резервуара, его конструкций и оборудования как в случае разлива и горения СУГ в пределах защитного ограждения, так и при тепловом воздействии горящих утечек СУГ и горения смежного резервуара.

Установки водяного орошения следует выполнять:

– с автоматическим и ручным пуском для резервуаров хранения СУГ под давлением, для установленных на этих резервуарах арматуры и оборудования, а также для запорной арматуры и крыши изотермического резервуара;

– с ручным пуском для установок водяного орошения боковых стен изотермического резервуара.

Автоматический и дистанционный ручной пуск установок водяного орошения следует блокировать с прекращением подачи углеводородов на склад СУГ.

Ручной пуск должен быть предусмотрен как непосредственно с места у кольцевой сети противопожарного водопровода склада за пределами защитного ограждения резервуаров на расстоянии не менее 10 м от него, так и дистанционно из помещения с постоянным присутствием персонала (операторной).

Штурвалы задвижек на подводящем трубопроводе к стоякам установки водяного орошения и задвижек узлов управления должны быть выведены наружу (над покрытием колодцев).

Расход воды на стационарные установки водяного орошения сферических резервуаров принимается из расчета одновременного орошения условно горящего резервуара и смежных с ним резервуаров, расположенных на расстоянии диаметра наибольшего горящего или смежного с ним резервуара и менее, а для горизонтальных – в соответствии с таблицей 2.8.

Таблица 2.8 – Количество одновременно орошаемых горизонтальных резервуаров

Расположение резервуаров	Объем единичного резервуара, м <sup>3</sup>			
	100	160	175	200
В один ряд	5	5	3	3
В два ряда	6	6	6	6

Расход воды на стационарные установки водяного орошения изотермических резервуаров принимается из расчета одновременного орошения условно горящего резервуара и смежных с ним резервуаров, расположенных на расстоянии трех и менее диаметров наибольшего горящего или смежного с ним резервуара.

Интенсивность подачи воды на орошение резервуаров следует принимать не менее:

– для поверхности без арматуры сферических и горизонтальных цилиндрических резервуаров, для поверхности крыши и боковых стен изотермических резервуаров –  $1,0 \cdot 10^{-4}$  м<sup>3</sup>/с (0,1 л/с) на 1 м<sup>2</sup> защищаемой поверхности;

– для мест, где расположено функциональное оборудование, включая штуцеры и предохранительные клапаны, для торцевых и других поверхностей резервуаров в местах установки этого оборудования и штуцеров, для узлов отключающей арматуры, расположенных непосредственно на перекрытии изотермического резервуара и на площадках обслуживания в пределах защитного ограждения, –  $5,0 \cdot 10^{-4}$  м<sup>3</sup>/с (0,5 л/с) на 1 м<sup>2</sup> защищаемой поверхности.

Следует предусматривать автоматическое опорожнение установок водяного орошения от воды при прекращении напорной подачи.

Прокладка трубопроводов должна быть выполнена с необходимым уклоном в сторону питающего трубопровода, а питающего трубопровода – в сторону узла опорожнения.

Дополнительно следует предусматривать возможность продувки оросителей и трубопроводов сухим воздухом из питающей системы КИП или иных источников.

Электрооборудование автоматических установок водяного орошения резервуаров по уровню взрывозащиты должно соответствовать требованиям [144].

На складах СУГ должна быть обеспечена возможность водяного орошения резервуаров из стационарных пожарных лафетных стволов.

Число и расположение лафетных стволов для резервуарного парка склада СУГ определяют исходя из условия орошения каждой точки резервуара одной компактной струей. При этом должно обеспечиваться орошение горящего и смежного с ним резервуаров одновременно.

Лафетные стволы следует располагать вне защитного ограждения резервуарного парка, на расстоянии не менее 10 м от оси ограждения.

Для обеспечения безопасности оперативных пожарных подразделений следует предусматривать теплозащитные экраны.

Управление лафетными стволами следует предусматривать дистанционным.

Лафетные стволы для орошения надземных резервуаров должны устанавливаться на специальных лафетных вышках. Высота вышек (от поверхности грунта до пола вышки) для защиты сферических резервуаров – не менее 5 м, для защиты горизонтальных цилиндрических резервуаров – не менее 2 м.

Защиту открытых железнодорожных сливноналивных эстакад (как односторонних, так и двусторонних) следует выполнять с помощью лафетных стволов, которые должны быть размещены по обе стороны эстакады с таким расчетом, чтобы обеспечивалось орошение железнодорожных вагонов-цистерн с СУГ и каждой точки конструкции эстакады по всей длине эстакады двумя компактными струями.

Установку лафетных стволов следует предусматривать на вышках высотой не менее 2 м, на расстоянии от железнодорожных путей не менее 15 м. Допускается уменьшение расстояния до 10 м при условии ввода в действие дублирующих или дистанционно управляемых лафетных стволов и осциллирующих мониторов.

Лафетные стволы устанавливают со стационарным подключением к водопроводной сети высокого давления.

### **Противопожарное водоснабжение**

Противопожарное водоснабжение складов СУГ следует проектировать с учетом требований нормативных документов на проектирование наружных и внутренних сетей водоснабжения и в соответствии с требованиями, приведенными в настоящем разделе.

Источником водоснабжения стационарных установок водяного орошения и стационарных лафетных стволов должен быть противопожарный кольцевой водопровод высокого давления.

Давление в сети должно обеспечивать надежную работу систем противопожарной защиты, водообеспечения передвижной пожарной техники.

При расчете производительности насосной станции противопожарного водоснабжения склада СУГ и пропускной способности трубопроводов системы противопожарного водоснабжения следует принимать один пожар. Расход принимается наибольшим для противопожарной защиты.

При размещении склада СУГ в производственной зоне организации и устройстве общей системы противопожарного водоснабжения последняя должна приниматься из расчета тушения одного максимального проектного пожара в производственной зоне организации.

Расход воды на один пожар из системы противопожарного водоснабжения должен рассчитываться для условия одновременной:

а) работы автоматических стационарных установок водяного орошения резервуаров;

б) работы двух лафетных стволов орошения резервуаров производительностью не менее  $2,0 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/\text{с}$  (20 л/с) каждый;

в) подачи воды из пожарных гидрантов с расходом 25 % от общих расходов, указанных в перечислениях а) и б), но не менее  $5 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/\text{с}$  (50 л/с).

Расход воды на противопожарную защиту и пожаротушение из сети противопожарного водопровода следует определять расчетом, но для склада СУГ он должен приниматься не менее  $0,2 \text{ м}^3/\text{с}$  (200 л/с).

Неприкосновенный запас воды при насосной станции противопожарного водоснабжения следует принимать исходя из расчета продолжительности тушения пожара:

- не менее 6 ч в зоне изотермического хранения СУГ;
- не менее 3 ч в зоне хранения СУГ под давлением.

Расчетный запас воды должен храниться не менее чем в двух пожарных резервуарах.

Время восстановления (после пожара) неприкосновенного запаса воды на тушение одного пожара должно приниматься не более 24 ч.

Насосная станция противопожарного водоснабжения должна размещаться в подсобно-производственной зоне склада СУГ в отдельно стоящем здании не ниже II степени огнестойкости класса С0.

При необходимости размещения насосной в зоне хранения СУГ она должна быть на расстоянии не менее 100 м от резервуаров и не менее 50 м от продуктовых насосных станций.

В дополнение к противопожарному водопроводу необходимо предусматривать пожарные водоемы объемом не менее 250 м<sup>3</sup> каждый, имеющие приемные колодцы и площадки с твердым покрытием.

Интервал размещения водоемов – не менее 500 м, количество водоемов – не менее двух. Расстояние от мест забора воды из пожарных водоемов до резервуаров с СУГ должно быть не менее 60 м.

К водоемам, являющимся источниками противопожарного водоснабжения, а также к другим сооружениям, вода из которых может быть использована для тушения пожара, надлежит предусматривать подъезды с площадками для разворота пожарных автомобилей, их установки и забора воды.

### **Системы пожарной сигнализации и обнаружения утечек горючих газов и паров**

Пожарной сигнализацией должны оснащаться здания, сооружения, резервуарные парки, наружные установки и территория склада СУГ. При этом автоматически устанавливаемыми установками пожарной сигнализации следует оснащать все помещения зданий и сооружений складов СУГ, кроме указанных в п. А.4 [93].

Тип автоматических извещателей должен приниматься с учетом первичных признаков пожара (тепло, дым, пламя), а размещение должно быть выполнено в соответствии с действующими нормативными документами.

Ручные пожарные извещатели устанавливаются независимо от наличия извещателей автоматической пожарной сигнализации.

Ручные пожарные извещатели следует предусматривать для следующих объектов:

- зданий, сооружений, помещений – в соответствии с требованиями [93];
- в резервуарных парках склада СУГ и наружных установках – по внешнему периметру резервуарного парка на расстоянии не более чем через 100 м один от другого, по периметру границы наружной установки, на расстоянии не более 5 м от защитного ограждения резервуарных парков и от границ наружных установок;
- на железнодорожных сливноналивных эстакадах СУГ – вдоль эстакад через 100 м один от другого, но не менее двух на каждую эстакаду (у лестниц для обслуживания эстакад), на расстоянии не более 20 м от эстакады;
- у пешеходных дорожек территории склада СУГ на расстоянии не более 100 м друг от друга.

Размещение ручных пожарных извещателей на территории склада СУГ следует предусматривать на окрашенных в сигнальный цвет столбиках таким образом, чтобы нажимной узел (тревожная кнопка) был расположен на высоте не более 1,5 м от уровня земли и были обеспечены свободный доступ к ним и достаточная освещенность.

Ручные пожарные извещатели должны иметь степень защиты в соответствии с требованиями [144].

В местах, где существует опасность механического повреждения пожарного извещателя, должна быть предусмотрена защитная конструкция, не влияющая на его работоспособность и эффективность обнаружения загорания.

Системы пожарной сигнализации должны обеспечивать подачу светового и звукового сигналов о возникновении пожара на приемно-контрольное устройство в помещении дежурного персонала или на специальные выносные устройства оповещения.

Приемная станция должна обеспечивать выдачу сигнала на остановку технологического оборудования в очаге пожара и включение соответствующих систем противопожарной защиты.

Склады СУГ должны быть оснащены системой обнаружения утечек газа и паров СУГ, обеспечивающей непрерывный автоматический контроль воздушной среды в производственных помещениях, в зонах хранения СУГ и приема-отпуска СУГ (эстакадах).

Система обнаружения утечек газа и паров СУГ должна обеспечивать выполнение следующих функций:

- обнаружение опасных концентраций горючих газов или паров СУГ;

– включение тревожной сигнализации и соответствующих систем противопожарной и противоаварийной защиты.

Места установки и количество автоматических сигнализаторов дозрывоопасных концентраций (датчики системы обнаружения утечек горючих газов и паров СУГ) определяются в проекте, исходя из требования максимально быстрого обнаружения утечек горючих газов и паров.

Сигнализаторы дозрывоопасных концентраций должны размещаться в зависимости от условий на каждом конкретном участке и иметь уставку на уровнях 20 % и 50 % от НКПР горючего газа по [22].

Сигнализаторы дозрывоопасных концентраций должны устанавливаться в местах вероятного выделения и скопления горючих газов и паров на следующих объектах предприятия:

- в резервуарных парках товарных, сырьевых и промежуточных складов СУГ;
- в производственных помещениях категорий А, Б;
- в помещениях продуктовых насосных;
- в открытых насосных и у отдельно размещенного оборудования с наличием СУГ;
- на наружных установках категорий АН, БН;
- на железнодорожных сливноналивных эстакадах СУГ.

Сигнализаторы дозрывоопасных концентраций должны обеспечивать подачу предупредительного светового и звукового сигналов по месту и в помещение операторной склада при концентрации 20 %, а аварийного сигнала – при концентрации 50 % от НКПР.

При получении аварийного сигнала (50 % от НКПР) от сигнализаторов дозрывоопасных концентраций дополнительно должен выдаваться сигнал для прекращения технологических операций процесса хранения СУГ и сливноналивных технологических операций на эстакаде до выявления причин загазованности и их устранения.

Возврат технологического оборудования в рабочее состояние после срабатывания систем защиты должен выполняться персоналом склада, имеющим соответствующий допуск на проведение указанных операций.

Система обнаружения утечек газа и паров СУГ в производственных помещениях одновременно с подачей предупредительного сигнала должна подавать команду на включение аварийной вентиляции, а при аварийном сигнале – на остановку оборудования.

Сигнализаторы довзрывоопасных концентраций должны быть во взрывозащищенном исполнении, соответствующем категориям и группам взрывоопасных смесей.

Технические характеристики и условия монтажа сигнализаторов довзрывоопасных концентраций и сигнальной аппаратуры должны обеспечивать их работоспособность в возможном диапазоне температур окружающей среды (климатической зоне) при нормальной эксплуатации.

### ГЛАВА 3

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ МОРСКИХ СТАЦИОНАРНЫХ НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩИХ ПЛАТФОРМ

К особо опасным, технически сложным производственным объектам, следует отнести объекты обустройства морских углеводородных месторождений.

Проведение интенсивных разведывательных и научно-исследовательских работ в области нефтегазодобычи является самым перспективным направлением в поиске и освоении новых месторождений, в том числе морских запасов энергоресурсов, расположенных на континентальном шельфе.

Для освоения морских углеводородных месторождений используются различные нефтегазодобывающие установки. Наряду с их успешной эксплуатацией, история мировой морской нефтегазодобычи насчитывает ряд крупномасштабных аварий, которые показали, что аварийные ситуации, возникающие в процессе работ по бурению, добыче, подготовке и переработке добываемой продукции, а также при транспортировке нефти и газа, могут привести к большим человеческим жертвам, потере установок, огромному экономическому и тяжелейшему экологическому ущербу. При этом, наиболее частой причиной развития крупных аварий на морских установках является возникновение пожаров и взрывов.

Для освоения месторождений российского континентального шельфа в основном применяются стационарные нефтегазодобывающие платформы, устойчивые к ледовым нагрузкам.

Проблема обеспечения пожарной безопасности морских стационарных платформ (МСП) на российском континентальном шельфе усугубляется отсутствием в России комплексного нормативного документа, регламентирующего требования пожарной безопасности к морским нефтегазодобывающим платформам. При этом достаточность мероприятий по обеспечению пожарной безопасности, регламентированных зарубежными стандартами (например, *ISO 13702:1999*, *ISO 10418:2003*, *NORSOK S-001*, *NORSOK C-001* и др.), применительно к условиям России также не вполне обоснована.

Все это вызывает необходимость детальной научной проработки проблемы обеспечения пожарной безопасности этих сооружений.

Исходя из вышеизложенного, задачей настоящей главы диссертационного исследования является оценка пожарной опасности МСП и разработка на её основе комплекса научно-обоснованных мероприятий по обеспечению их пожарной безопасности.

Ниже представлены основные результаты, полученные при проведении исследований, направленных на решение задачи по обеспечению пожарной безопасности морских стационарных нефтегазодобывающих платформ.

### **3.1 Состояние проблемы обеспечения пожарной безопасности морских стационарных нефтегазодобывающих платформ**

#### **3.1.1. Краткий обзор современной морской нефтегазодобычи**

Первопроходцами морской нефтегазодобычи являются Россия и США. Начиная с конца XIX века, эти страны проводили различные научные исследования, разработки средств и технологий по проведению работ для освоения углеводородных месторождений континентального шельфа [145].

В настоящее время в производство нефти и газа в мировом океане непрерывно возрастает. На сегодняшний день проведено изучение большинства нефтегазоносных бассейнов российского шельфа, оценены их ресурсы, открыты 45 морских и прибрежно-морских, в большинстве крупных, месторождений нефти и газа и обоснованы главные районы дальнейших поисков углеводородного сырья [146].

Один из крупнейших проектов в России с прямыми иностранными инвестициями - проект «Сахалин-1» [147 - 149]. Оператором проекта «Сахалин-2» является компания *Sakhalin Energy Investment Company Ltd. (Sakhalin Energy)*, акционерами которой являются [150]: *Gazprom Sakhalin Holdings B.V.* (дочернее предприятие ОАО «Газпром»), *Shell Sakhalin Holdings B. V.* (дочернее предприятие *Royal Dutch Shell plc.*), *Mitsui Sakhalin Holdings B. V.* (дочернее предприятие компании *Mitsui & Co. Ltd.*), *Diamond Gas Sakhalin B. V.* (дочернее предприятие компании *Mitsubishi Corporation*).

В северной части акватории Каспийского моря в 180 км от Астрахани в 2000 году открыто месторождение им. Ю. Корчагина, которое введено в эксплуатацию 28 апреля 2010 г [151]. Оператором месторождения является одна из крупнейших российских нефтяных компаний – ОАО «Лукойл». Добыча осуществляется с помощью ледостойкой стационарной платформы ЛСП-1, для проживания персонала на месторождении предусмотрена ледостойкая стационарная платформа ЛСП-2, которая соединена с ЛСП-1 переходным мостом.

Другим проектом нефтяной компании ОАО «Лукойл» является освоение Кравцовского нефтяного месторождения (Д-6), расположенного в пределах Куршского участка российского шельфа Балтийского моря, в 22,5 км от побережья Калининградской области [152].

В 2005 году компанией ОАО «Лукойл» открыто нефтегазоконденсатное месторождение им. В. Филановского, расположенное в северной части акватории Каспийского моря в 220 км от Астрахани. Первую очередь освоения месторождения планируется проводить при помощи соединенных переходными мостами четырех отдельных платформ: платформы райзерного блока РБ, платформы жилого модуля ПЖМ – 1, буровой и эксплуатационной платформы ЛСП-1 и центральной технологической платформы ЦТП. На сегодняшний момент в Каспийском море завершены работы по установке опорных частей ЛСП-1, ПЖМ, РБ и ЦТП. Ввод месторождения в эксплуатацию запланирован на 2016 г. Всего в настоящее время нефтяная компания ОАО «Лукойл» владеет лицензиями на разработку 11 перспективных месторождений на Каспии.

В декабре 2013 г. компания ОАО «Газпром» объявила об официальном старте добычи нефти и газа с морской ледостойкой стационарной платформы «Приразломная», которая является основным объектом обустройства месторождения Приразломное. Это месторождение открыто в 1989 году. Оно находится на шельфе Печорского моря, в 60 км от берега (пос. Варандей). Лицензией на разведку и добычу углеводородов на Приразломном месторождении владеет ООО «Газпром нефть шельф» – 100-процентное дочернее общество ОАО «Газпром» (до переименования – ЗАО «Севморнефтегаз») [153].

Кроме вышеперечисленных российским нефтяными компаниями при участии иностранных инвесторов на разных стадиях реализуются и другие проекты обустройства морских месторождений континентального шельфа РФ. При этом достаточно остро встает вопрос о совершенствовании морских нефтегазодобывающих платформ, для того чтобы сделать добычу нефти на акваториях более продуктивной и безопасной.

### **3.1.2 Типы и конструктивные особенности морских стационарных нефтегазодобывающих платформ, в том числе применяемых на континентальном шельфе РФ**

Для освоения морских месторождений на протяжении всей истории морского бурения и добычи нефти и газа использовались различные типы сооружений.

Если месторождение располагается близко к суше, целесообразно бурить наклонную скважину с берега. Одна из наиболее интересных современных разработок – дистанционное управление горизонтальным бурением. Специалисты осуществляют контроль прохождения скважины с берега. Точность процесса настолько высока, что можно попасть в нужную точку с расстояния в несколько километров. В феврале 2008 года корпорацией Эксон Мобил (*Exxon Mobil*) установлен мировой рекорд в бурении подобных скважин в рамках проекта «Сахалин-1» [147].

Для месторождений, расположенных на значительном расстоянии от берега применяются морские установки различного типа. Платформы экономически целесообразно устанавливать для освоения месторождений на глубине от 14 до 500 м. Более глубокие районы делают установку платформ затруднительной, более мелкие затрудняют подход к платформам танкеров или строительство подводных нефте- и газопроводов.

На рисунке 3.1 представлены основные типы применяемых в настоящее время морских платформ для добычи нефти и газа на континентальном шельфе (по данным [154]).

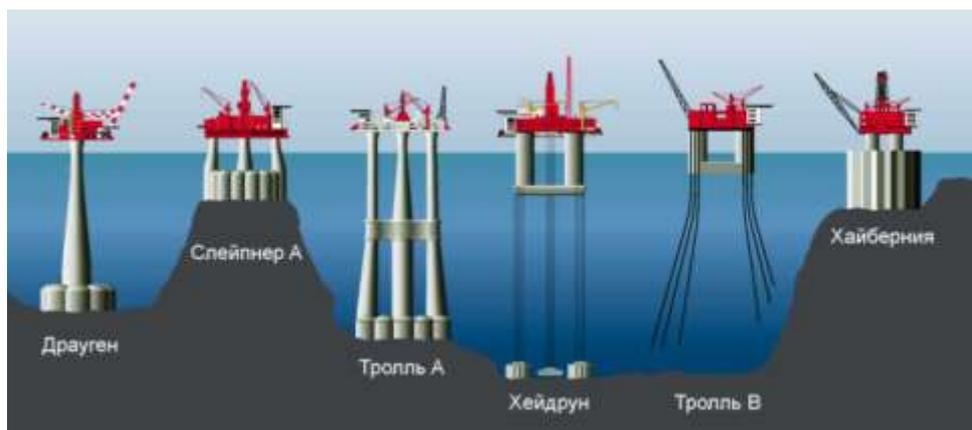


Рисунок 3.1 – Основные типы применяемых в настоящее время морских платформ для добычи нефти и газа на примере установок, эксплуатирующихся в Северном море («Слейпнер А», «Хайберния» – морские стационарные платформы, «Драуген», «Тролле А» – морские стационарные глубоководные платформы, «Тролле В» – плавучая платформа, «Хейдрун» – плавучая полупогружная платформа на натянутых связях)

В иностранных нормативных документах встречаются определения для нескольких различных типов буровых судов [157,158]:

– *FPSO (Floating Production, Storage and Offloading)* – это плавучая установка для добычи, хранения и отгрузки углеводородов, которая также включает оборудование для получения сырой нефти из добывающих скважин и обработки ее для экспорта, разделения воды и газа. Вышеупомянутые буровые судна «Валентин Шашин» и «Тикю» по международным стандартам маркируются как *FPSO*.

– *FSO* – плавучая система для хранения и выгрузки нефти, как правило, это судно или плавучая баржа, имеющая корпус, содержащий резервуары для хранения добытой нефти, и средство для перекачивания нефти из резервуаров. Эти установки не имеют никакого иного технологического оборудования.

– *FPS* – плавучая система нефтедобычи: это общий термин для описания любого плавучего устройства, предназначенного для получения сырой нефти из добывающих скважин и ее обработки. Эта система может не иметь оборудования для хранения, в этом случае нефть будет передаваться с помощью трубопровода на берег или на ближайшую *FSO*.

– *FSU* – плавучее хранилище; плавучее установка, предназначенная исключительно для хранения нефти. Экспорт может осуществляться с помощью трубопровода на береговое устройство, в отличие от выгрузки на танкеры снабжения. Иногда данная аббревиатура используется как синоним к *FSO*.

– *FDPSO* – новый тип судна, появившийся в 2009 г., оснащенный буровой установкой. Причем, буровой модуль может быть снят и использован в другом месте.

В России все вышеописанные типы сооружений для морской добычи нефти и газа классифицируются в соответствии с правилами Российского морского регистра судоходства [159, 160] следующим образом:

Плавучая буровая установка (ПБУ) – судно, способное производить буровые работы и/или осуществлять добычу ресурсов, находящихся под дном моря.

Надводная установка (НУ) – установка, размещенная в корпусе водоизмещающего типа, как у ПБУ, бурового судна или баржи, не предназначенная для разведки/добычи подземных ресурсов морского дна.

Буровое судно – судно, имеющее буровую установку.

Самоподъемная ПБУ (СПБУ) – ПБУ, поднимаемая в рабочем состоянии над поверхностью моря на колоннах, опирающихся на грунт.

Погружная ПБУ – ПБУ со стабилизирующими колоннами, опирающаяся в рабочем состоянии на грунт.

Полупогружная ПБУ (ППБУ) – ПБУ со стабилизирующими колоннами, находящаяся в рабочем состоянии на плаву и удерживаемая в горизонтальной плоскости с помощью якорей, подруливающих устройств или других средств позиционирования.

ПБУ на натяжных связях – ПБУ со значительной избыточной плавучестью в рабочем состоянии, удерживаемая в точке бурения/добычи натянутыми анкерными связями, закрепленными на морском дне.

Морская стационарная платформа (МСП) – морское нефтегазопромысловое сооружение, состоящее из верхнего строения и опорного основания, зафиксированное на все время использования на грунте и являющееся объектом обустройства морских месторождений нефти и газа.

МСП гравитационная – морская стационарная платформа гравитационного типа – сооружение, устойчивость на грунте которого обеспечивается в основном за счет собственной массы и массы принимаемого балласта.

МСП мачтовая – морская глубоководная стационарная платформа, устойчивость которой обеспечивается либо оттяжками, либо соответствующим объемом плавучести.

МСП свайная – морская стационарная платформа свайного типа – сооружение, устойчивость на грунте которого обеспечивается в основном за счет забитых в грунт свай.

Морской плавучий нефтегазодобывающий комплекс (ПНК) – морское плавучее сооружение судовой, понтонной или иной формы с устройствами удержания на точке эксплуатации, предназначенное для осуществления одной или нескольких функций: добычи, приема, хранения, подготовки и отгрузки продукции.

Плавучее нефтегазохранилище (*FSO – floating storage and offloading unit*) – морское плавучее самоходное или несамоходное сооружение, предназначенное для приема, хранения и отгрузки продукции.

Плавучее нефтегазохранилище с комплексом подготовки продукции (*FPSO – floating production, storage and offloading unit*) – морское плавучее самоходное или несамоходное сооружение, предназначенное для приема, подготовки, хранения и отгрузки продукции.

По результатам проведения аналитического обзора существующих и эксплуатируемых в мире установок для добычи нефти и газа на континентальном шельфе можно сделать вывод о том, что одними из наиболее важных аспектов, влияющих на выбор типа конструкции объекта обустройства морского месторождения, является глубина морских вод, покрывающих месторождение, климатические условия района эксплуатации объекта, а также данные о запасах месторождения, определяющие будущий срок эксплуатации объекта.

Анализируя перечень эксплуатирующихся в настоящее время морских добычных установок на континентальном шельфе России, природно-климатические особенности регионов их эксплуатации, с учетом перспективы разработки месторождений Арктических морей, а также, принимая во внимание прогнозы показателей разработки морских месторождений нефти и газа на ближайшее будущее, представлен-

ные в [161], можно сделать вывод о том, что для освоения морских месторождений нефти и газа континентального шельфа России наиболее предпочтительным является использование морских стационарных платформ. В связи с этим, в настоящей работе основное внимание уделено данному типу морских добычных установок.

Для исследований в области обеспечения пожарной безопасности любых технически сложных систем и объектов большое значение имеет анализ аварийных ситуаций с пожарами и взрывами, имевших место при их эксплуатации. Этому вопросу посвящен следующий этап настоящей работы.

### 3.1.3 Краткий обзор аварий с пожарами и взрывами на морских нефтегазодобывающих платформах

Высокая пожарная опасность объектов обустройства морских нефтегазовых месторождений, а именно нефтегазодобывающих платформ, подтверждается крупномасштабными инцидентами, имевшими место при их эксплуатации. Так, Международная организация труда приводит данные о 47 инцидентах на платформах, сопровождавшихся гибелью более 3 человек [162]. При этом из анализируемых инцидентов в 27 случаях аварии сопровождались пожарами и взрывами.

Ниже приведен перечень наиболее крупных аварий с пожарами и взрывами, произошедших на морских нефтегазодобывающих платформах за последние 30 лет (таблица 3.1).

Таблица 3.1 – Крупные аварии с пожарами и взрывами на морских нефтегазодобывающих платформах

Дата	Событие	Примечание
Октябрь 1980 г.	Взрыв на плавучей буровой установке «Рон Таппмейр» при бурении скважины в Красном море. При взрыве погибло 19 человек.	-
Август 1984 г.	Взрыв и пожар на нефтебуровой платформе «Энчова» фирмы «Петробрас», расположенной на континентальном шельфе Бразилии. Погибло 36 человек и 17 получили травмы	Считается, что это связано с проблемой управления скважинами. Гибель людей произошла при покидании платформы и связана с опрокидыванием спасательной лодки при ее спуске на воду
Июль 1988 г.	Взрыв и пожар на платформе «Пайпер Альфа» фирмы «Оксидентал Петролеум» в Северном море. Погибло 167 человек.	Более подробно авария на «Пайпер Альфа» рассмотрена ниже

Дата	Событие	Примечание
Сентябрь 1988 г.	Взрыв и последующее затопление буровой установки близ юго-восточного побережья о. Борнео, принадлежащей французской компании «Тоталь Петролеум». Погибло 4 человека.	-
Сентябрь 1988 г.	Пожар на американской буровой установке «Оушен Одиссей» в Северном море. Погиб 1 человек, 66 человек спаслись, не получив травм.	На плавучей буровой установке возникла проблема с управлением скважинами. Была осуществлена успешная эвакуация, но радист вернулся на буровую установку и погиб.
Май 1989 г.	Взрыв и пожар на морской нефтяной платформе, принадлежащей калифорнийской компании «Юнион Ойл». Установка работала в заливе Кука, к юго-западу от Анкориджа (Аляска). 3 человека получили травмы	-
Ноябрь 1989 г.	Взрыв на буровой установке компании «Пенрод Дриллинг» в Мексиканском заливе. Получили травмы 12 человек.	-
Август 1991 г.	Взрыв на платформе «Фулмар Альфа» в Северном море, принадлежащей компании «Шелл». Получили травмы 3 человека.	Возможная причина аварии – проникновение паров углеводородов по дренажной системе в жилые помещения
Январь 1995 г.	Взрыв на передвижной буровой установке у побережья Нигерии. Погибло 13 человек, множество пострадавших.	-
Январь 1996 г.	Взрыв на буровой установке на нефтяном месторождении Моргана в Суэцком заливе. Погибло 3 человека, 2 человека травмированы.	-
Июль 1998 г.	Взрыв на буровой установке «Гломар Арктик IV». Погибло 2 человека.	-
Январь 2001 г.	Пожар на морской платформе для добычи природного газа фирмы «Петробрас» расположенной на континентальном шельфе Бразилии. Погибло 2 человека.	-
Март 2001 г.	Взрывы на самой большой в мире плавучей нефтяной платформе «Дух Колумба», принадлежащей бразильской фирме «Петробрас». Погибло 10 человек.	Первоначальный взрыв произошел на четвертом уровне правой кормовой колонны. Этот взрыв и послужил причиной затопления платформы.
Ноябрь 2004 г.	Пожар на газодобывающей платформе в Мексиканском заливе. Пострадавших нет.	Пожар возник вследствие столкновения сухогруза с платформой. Пожар был потушен командами находившихся в море судов.
Июль 2005 г.	Пожар на платформе месторождения Bombay High компании Oil and Natural Gas Corp. 10 человек погибли и 367 были	Пожар возник вследствие столкновения вспомогательного судна с платформой

Дата	Событие	Примечание
	эвакуированы. Платформа затонула.	
Февраль 2006 г.	Пожар на газодобывающей платформе Bravo в Северном море, принадлежащей британской компании Centrica. Пострадали 2 человека.	Пожар был ликвидирован собственными силами персонала платформы.
Март 2006 г.	Пожар на нефтяной платформе «Терн-Альфа» компании Royal Dutch в Северном море. Часть персонала была эвакуирована на берег. Пострадавших нет.	Пожар возник в генераторном отделении.
Август 2007 г.	Пожар на нефтяной платформе в Северном море компании Diamond Offshore. Часть персонала была эвакуирована на берег. Пострадавших нет.	Пожар возник в моторном отделении
Октябрь 2007 г.	Пожар на нефтяной платформе в Мексиканском заливе.	Штормовые ветры вызвали колебания платформы, что привело к удару о вершину клапана фонтанной арматуры соседней платформы. Произошла утечка нефти и газа с последующим воспламенением. Погиб 21 человек.
Июнь 2008 г.	Пожар на норвежской нефтяной платформе «Зеберг А» в Северном море.	Сразу же после возгорания с помощью четырех вертолетов с платформы было эвакуировано 311 человек. Пожар удалось локализовать.
Ноябрь 2009 г.	Пожар на нефтяной платформе таиландской компании «РТТ Exploration & Production» у северо-западного побережья Австралии.	Пожар начался во время проведения работ по ликвидации утечки нефти. Никто из персонала не пострадал.
Апрель 2010 г.	Взрыв и пожар на плавучей полупогружной платформе Deerwater Horizon в Мексиканском заливе. Погибло 11 человек.	Более подробно авария на «Deerwater Horizon» рассмотрена ниже
Март 2012 г.	Авария на платформе Elgin, которая расположена в 240 километрах от шотландского города Абердин.	В результате утечки газа из неиспользуемой скважины на платформе образовалось крупное облако загазованности, окутавшее все сооружение. Все 238 сотрудников платформы успешно были эвакуированы, платформа была полностью обесточена. Пожара удалось избежать.
Декабрь 2013 г. и Январь 2014 г.	В декабре 2013 в Северном море произошла утечка нефти и газа на платформе Statfjord A компании Statoil. Половина персонала платформы, состоящего из 168 человек, была эвакуирована на вертолетах. Менее, чем через месяц на ближайшей платформе Statfjord C также принадлежащей компании Statoil, про-	В результате инцидентов никто не пострадал. Пожар был предупрежден.

Дата	Событие	Примечание
	изошла утечка нефти и газа. Из-за опасности возгорания 270 рабочих платформы были срочно эвакуированы, работа платформы приостановлена.	
Октябрь 2014 г.	Возгорание на аварийном основании №441 нефтяной платформы Socar нефтегазодобывающего управления им. Н.Нариманова в Азербайджане ПО «Азнефть» в Каспийском море в 2 км к юго-востоку от поселка Сангачал.	Во время ремонтных работ вагон-домик упал в море в результате чего был поврежден трубопровод диаметром 700 мм. Произошло возгорание. Пожар был потушен в течение 45 минут, 37 человек были эвакуированы на берег, 3 человека погибли, 1 пропал без вести.
Апрель 2015 г.	Пожар на нефтяной платформе <i>Abkatun Alfa</i> компании Remex в Мексиканском заливе.	По предварительной версии, пожар произошел из-за нарушения техники безопасности. На тушение пожара были брошены восемь спасательных катеров. Около 300 человек эвакуированы, 45 пострадавших, один человек погиб.
Декабрь 2015 г.	Возгорание платформе № 10 месторождения Гюнешли в Каспийском море.	Пожар произошел в результате повреждения подводного газопровода высокого давления из-за сильнейшего шторма (скорость ветра 35-40 м/с, высота волн до 9 м). Пожар охватил зону устьев скважин, и продолжался 14 суток, до того момента пока скважины не были перекрыты. Из-за шторма возникли трудности при проведении эвакуации персонала, которая осуществлялась с помощью шлюпок, так как задействовать вертолеты в условиях сильного шторма не представлялось возможным. Из 63 сотрудников – 33 человека спасены, 12 погибли при эвакуации, 18 остаются пропавшими без вести.

Подробный анализ пожаров, аварийных выбросов и утечек углеводородов проводят такие зарубежные компании, как например: *Health and Safety Executive, Det Norske Veritas, Oil & Gas UK, Statoil* и др. Компания *Health and Safety Executive* каждый год публикует Отчеты о безопасности на море (*Offshore safety statistics bulletin*), которые содержат расширенную статистику аварийности по Великобритании, в том числе на континентальном шельфе.

По данным отчета *HSE* [163] в период 1990 по 2007 гг. на морских нефтегазовых объектах Великобритании из общего числа аварийных ситуаций 3419 приходится на различного рода проливы, выбросы и утечки углеводородов, 1889 – на падение предметов,

1352 – на крановые операции, 789 – на пожары, 43 – на взрывы. Как видно из представленных статистических данных, большинство аварийных ситуаций связано с утечками и выбросами углеводородов. В ежегодных отчетах [164] компания *HSE* проводит сравнительный анализ аварийных случаев в текущем году с предыдущими. Данные о выбросах углеводородов на морских установках по размеру выброса классифицируются как крупные, значительные и незначительные. Авторы статьи [165] приводят данные по классификации аварийных выбросов, которая применяется в статистических отчетах компании *HSE* (см. таблицу 3.2).

Таблица 3.2 – Классификация аварийных выбросов углеводородов на морских нефтегазовых объектах по данным *HSE*

Классификация выброса по размеру утечки	Характеристика выброса		
	Выброс газа	Выброс жидкости	Выброс двухфазной смеси
Крупный	масса > 300 кг; расход > 1 кг/с; длительность > 5 мин.	масса >9000 кг; расход > 10 кг/с; длительность > 15 мин.	масса жидкого выброса >300 кг; массовый расход жидкости > 1 кг/с; длительность > 5 мин.
Малый (незначительный)	масса < 1 кг; расход < 0,1 кг/с; длительность < 2 мин.	масса < 60 кг; расход < 0,2 кг/с; длительность < 5 мин.	масса жидкого выброса < 1 кг; расход < 0,1 кг/с; длительность < 2 мин.
Значительный	Характеризуется промежуточными значениями между крупным и малым выбросами.		

В работе [165] представлено распределение числа выбросов по годам, начиная с 1994 г. по 2010 г. включительно, составленное на основе результатов анализа данных [164], а также подобных отчетов компании *HSE* за предыдущие годы.

С учетом этих данных, а также отчетов *HSE* за 2010-2011гг. [166], за 2011-2012 гг. [167] и за 2012-2013 гг. [168] можно составить распределение числа выбросов углеводородов на морских нефтегазовых объектах Великобритании с 1994г. по 2013г. (см. рисунок 3.2).

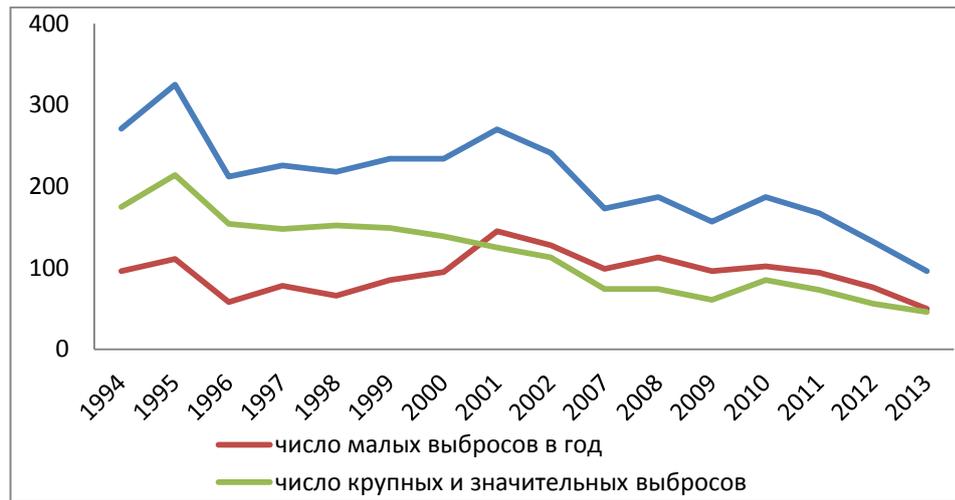


Рисунок 3.2 – Распределение числа выбросов по годам с 1994-2013 гг.  
по данным HSE

В работах [169, 170] авторы проводят анализ и причины аварий.

Наиболее частыми видами аварий при выполнении технологических операций являются выбросы, пожары и разливы (утечка нефти).

Больше всего аварий из общего числа происходит при добыче (около 30 %) и бурении (26 %). Следующее место занимают операции, связанные с перемещением объектов обустройства, вспомогательных и обслуживающих технических средств [171].

В работах [162, 172, 173] рассмотрены две самые масштабные в истории морской нефтегазодобычи аварии с пожарами и взрывами, возникшие на морских платформах «*Piper Alfa*» и «*Deepwater Horizon*».

В России количество морских объектов по разработке углеводородных топлив на континентальном шельфе не столь значительно, как во всем мире, однако имевшие место пожары и взрывы нанесли значительный материальный ущерб и приводили к гибели людей [174, 175].

### **3.1.4 Анализ требований зарубежных и отечественных нормативных документов, регламентирующих пожарную безопасность морских стационарных нефтегазодобывающих платформ**

В России проектирование, строительство и эксплуатация платформ, а также обеспечение пожарной безопасности при освоении месторождений нефти и газа на

море до недавнего времени осуществлялись на основе следующих нормативных документов:

– ППБОМ-88 «Правила пожарной безопасности на объектах нефтяной промышленности континентального шельфа»;

– РД-39-4700803-5-89 «Руководство по борьбе за живучесть морских стационарных платформ и плавучих буровых установок».

На сегодняшний день эти документы устарели и не в состоянии регламентировать на современном уровне безопасность даже морских платформ, не расположенных в арктической зоне. Что касается пожарной безопасности ледостойких морских платформ, то данные правила к ним вообще неприменимы [162].

В мировой практике сложилось два вида систем управления безопасностью.

а) Предписывающий подход.

Примером этого подхода являются положения документов, направленных на обеспечение безопасности человека на море, и среди них действующие в России документы Российского Морского Регистра Судоходства [159, 160].

б) Целеориентированный подход к управлению безопасностью.

Передовая практика морской добычи углеводородов в развитых странах закреплена в новом, так называемом целеориентированном законодательстве. Примером этого служит законодательство Англии, Норвегии, Австралии, России и других стран.

В настоящее время в Российской Федерации указанный метод управления рисками реализован с помощью Федерального закона № 123 – ФЗ [20], а также других нормативных документов по пожарной безопасности.

Как уже было отмечено, в соответствии со статьей 6 [20] пожарная безопасность нефтедобывающей платформы как объекта защиты считается обеспеченной, если:

– в полном объеме выполнены обязательные требования пожарной безопасности, установленные Федеральными законами о технических регламентах;

– пожарный риск не превышает допустимых значений, установленных [20].

Если для МСП, как объекта защиты, Федеральными законами о технических регламентах не установлены требования пожарной безопасности, то пожарная безопасность считается обеспеченной, если пожарный риск не превышает соответствующих допустимых значений, установленных настоящим федеральным законом (статья 93 [20]).

В соответствии со статьей 92 [20] документация на нефтегазодобывающую платформу должна содержать пожарно-технические характеристики, предусмотренные указанным федеральным законом. Состав и функциональные характеристики систем обеспечения пожарной безопасности нефтедобывающей платформы должны быть оформлены в виде самостоятельного раздела проектной документации.

Рассмотрим основные нормативные документы, регламентирующие требования пожарной безопасности для морских стационарных нефтегазодобывающих платформ.

До 7 мая 2015 г. одним из основных документов в Российской Федерации, регламентирующим условия обеспечения безопасности для морских стационарных платформ и плавучих буровых судов, являлись правила ПБ 08-623-03 «Правила безопасности при разведке и разработке нефтяных и газовых месторождений на континентальном шельфе» [179]. 7 мая 2015г. в соответствии с приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 18.03.2014 № 105 вступили в действие Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности морских объектов нефтегазового комплекса» [180] и признано утратившим силу постановление Госгортехнадзора России от 05.06.2003 № 58 «Об утверждении Правил безопасности при разведке и разработке нефтяных и газовых месторождений на континентальном шельфе» (ПБ 08-623-03).

Основными документами в Российской Федерации, регламентирующим обеспечение безопасности для морских стационарных платформ и плавучих буровых установок являются документы международного классификационного общества «Российский морской регистр судоходства» [159, 160]. Российский морской регистр судоходства является государственным учреждением технического надзора и классификации морских судов, подведомственным Министерству транспорта Российской Федерации.

Следует отметить, что применяемая в данном документе терминология не соответствует принятой в нормативных документах по пожарной безопасности, а положения правил [159] не соответствуют Федеральному закону [20]. Само заглавие части VI «Противопожарная защита» по сути своей не соответствует содержанию раздела, в котором представлены и требования к системам противопожарной защиты и требования к системам предотвращения пожара.

Приведем другой пример указанного несоответствия. Для морских стационарных платформ, как для сооружений, наступление пределов огнестойкости строительных конструкций должно устанавливаться в соответствии с требованиями федерального закона [20] по времени достижения одного или последовательно нескольких признаков предельных состояний (потеря несущей способности  $R$ , потеря целостности  $E$ , потеря теплоизолирующей способности  $I$ ).

Правила [159], которые, разработаны на основе требований иностранных нормативных документов, используемых в мировой практике строительства морских сооружений, в том числе и морских стационарных платформ, регламентируют пределы огнестойкости путем введения классификации переборок и палуб, разделяющих помещения (классы «А», «В», «С» и «Н»). Конструкции испытываются на огнестойкость по методикам, изложенным в резолюции ИМО А.754(18) и международном стандарте ИСО 834-1.

В п. 2 части VI правил [159] представлены требования к минимальной огнестойкости переборок и палуб, разделяющих смежные помещения МСП. Данная классификация переборок и палуб применяется в зарубежной нормативной базе и не используется в российских нормативных правовых актах и нормативных документах по пожарной безопасности.

01.02.2015 г. вступил в действие ГОСТ Р 55998-2014 «Нефтяная и газовая промышленность. Морские добычные установки. Эвакуационные пути и временные убежища. Основные требования» [181]. Данный стандарт внесен техническим комитетом по стандартизации ТК 23 «Нефтяная и газовая промышленность». Настоящий стандарт устанавливает общие требования к эвакуационным путям и временным убежищам морских добычных установок, в том числе и морских стационарных платформ.

Зарубежные нормативные документы, как отмечалось выше, имеют в своей основе целеориентированный подход к обеспечению безопасности МСП. Рассмотрим некоторые международные и национальные документы иностранных государств, касающиеся вопросов обеспечения пожаровзрывобезопасности морских нефтедобывающих платформ.

*ISO 13702* «Контроль и ограничение последствий взрывов и пожаров Основные требования» [8].

Стандарт устанавливает:

- состав систем, обеспечивающих снижение рисков пожаров и взрывов;
- цели каждой из этих систем;
- функциональные требования к каждой из систем и краткие инструкции по управлению рисками пожаров и взрывов на морских установках (с использованием этих систем).

*ISO 10418:2003* «Нефтяная и газовая промышленность Морские добычные установки. Системы обеспечения безопасности технологического процесса» [182].

Данный стандарт определяет цели, функциональные требования и руководящие принципы в отношении методов анализа, проектирования и испытания систем безопасности для верхних строений морских нефтегазопромысловых сооружений. Стандарт описывает основные концепции анализа и проектирования систем безопасности технологического процесса и иллюстрирован примерами применения этих концепций для типовых технологических элементов.

Стандарт построен на идеологии барьеров безопасности. Решения по конкретным барьерам должны приниматься на основе анализа риска. Стандарт содержит ссылки на ряд других стандартов (*ISO, IEC, API, ISA, ASME*).

Стандарты *ISO 418* и *ISO 13702* содержат ссылки на новые стандарты функциональной безопасности систем, оборудованных контрольно-измерительными приборами. В настоящем стандарте даны ссылки на стандарт МЭК 61511-1, который развивает применительно к технологическому процессу положения общего стандарта МЭК 615081, на который ссылается ИСО 13702. Взаимозависимость между стандартами, упомянутыми выше, представлена на рисунке 3.3, где 1 – комплексные методы обнаружения опасностей и анализа рисков; 2 – требования к контрольно-измерительным приборам, используемым исключительно для защиты или для дополнительной защиты; 3 – требования комплексной безопасности к системам пожарной и газовой сигнализации и системам аварийного останова.; 4 – требования к стратегии борьбы с пожарами и взрывами и вспомогательным системам; 5 – требования к

непроверенным на практике контрольно-измерительным приборам, используемым для обеспечения безопасности.

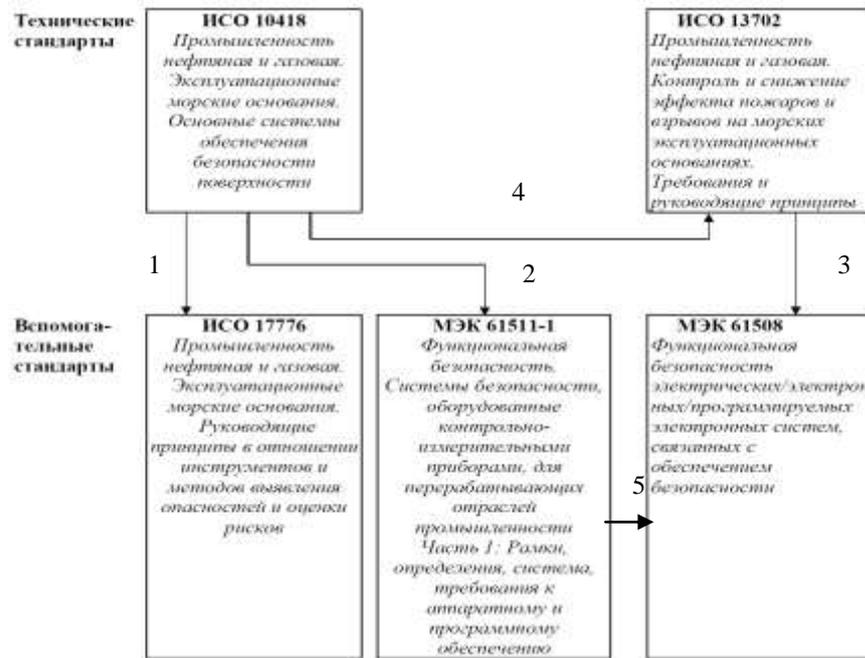


Рисунок 3.3 – Взаимосвязь между стандартами, относящимися к обеспечению безопасности морских сооружений.

На основе аутентичного перевода стандарта [182] техническим комитетом по стандартизации ТК 23 «Нефтяная и газовая промышленность» разработан проект национального стандарта ГОСТ Р ИСО 10418 «Нефтяная и газовая промышленность. Морские добычные установки. Система обеспечения безопасности технологического процесса. Основные требования». В настоящее время проект находится на рассмотрении и информации о вступлении его в действие нет.

*ISO 17776: 2000* «Нефтяная и газовая промышленность. Морские добычные установки. Руководящие указания по выбору методов и средств идентификации источника опасности и оценки риска» [9]. Стандарт является методическим пособием по использованию методов идентификации опасностей и оценки техногенных рисков эксплуатации морских нефтегазовых объектов. Стандарт в первую очередь относится к этапам разработки концепции создаваемой системы и проектирования. Стандарт носит рекомендательный характер.

В России действует национальный стандарт ГОСТ Р ИСО 17776-2010. «Менеджмент риска. Руководящие указания по выбору методов и средств идентификации опасностей и оценки риска для установок по добыче нефти и газа из морских месторождений» [183].

Настоящий стандарт содержит описание основных методов, рекомендуемых для идентификации опасностей и оценки риска, относящихся к разработке и эксплуатации морских месторождений нефти и газа, включая сейсморазведку, топографические съемки, разведочное и эксплуатационное бурение, разработку месторождений, включая обеспечение ресурсами, а также вывод из эксплуатации и утилизацию соответствующего оборудования. Настоящий стандарт содержит руководство по способам использования этих методов при разработке стратегий предупреждения опасных событий, а также контроля и снижения последствий возникающих опасных ситуаций.

Рассмотрим норвежский стандарт *NORSOK S-001* «Техническая безопасность» [184]. Стандарт описывает принципы обеспечения безопасности и устанавливает требования к системам обеспечения безопасности стационарных объектов морской добычи нефти и газа.

Стандарт применим при проектировании совместно со стандартом *ISO 13702* и в первую очередь относится к этапам разработки концепции морского объекта и к его проектированию.

Стандарт содержит ссылки на ряд других стандартов (*ISO, IEC, API, ISA, ASME, NPFA, NORSOK* и др.).

Стандарт содержит подробные требования ко всем системам обеспечения пожарной безопасности нефтегазодобывающей платформы, в том числе к системе предотвращения пожара, системе противопожарной защиты, а также к системе эвакуации и покидания платформы в критических ситуациях.

Аналогичного документа в России нет.

*NORSOK C-001* «Жилой модуль» [185].

Стандарт содержит требования к архитектурно-строительным решениям, инженерным и вспомогательным системам, в том числе к эвакуационным выходам и путям эвакуации жилых модулей морских нефтегазодобывающих платформ. Стандарт в основном применим для стационарных платформ, но может быть также использован и для проек-

тирования мобильных установок, в отношении которых не могут быть применимы требования других нормативных документов.

Аналогичного документа в России нет.

*NORSOK Z-013* «Анализ риска и анализ готовности к ЧС» [10].

Целью настоящего стандарта является установка требований по эффективному планированию, реализации и использованию процесса анализа рисков и готовности к чрезвычайным ситуациям. Также описывается применение критериев допустимого риска, таким образом, стандарт касается определенных аспектов оценки риска. В качестве дополнительной информации стандарт содержит приложения с рекомендациями по проведению оценки риска.

Настоящий стандарт включает ряд требований, отклонение от которых не допускается в нормальных условиях («обязательные» требования). В других случаях рекомендуется использование предпочтительных требований («рекомендательные» требования).

Стандарт содержит ссылки на ряд других стандартов *NORSOK*, *ISO*, *IEC* и к ряду отчетов различных организаций.

Морской стандарт *DNV-OS-D301*. Противопожарная защита [186].

Норвежский Веритас (от норвежск. *Det Norske Veritas (DNV)*) – автономная и независимая организация, ее задачи заключаются в обеспечении безопасности жизни, имущества и окружающей среды в море и на берегу. *DNV* выполняет классификацию, сертификацию и другие проверки, а также оказывает консультационные услуги, связанные с качеством судов, морских сооружений и установок, а также береговой промышленности по всему миру, он выполняет исследования, связанные с данными функциями.

С учетом полученных результатов проведенных аналитических исследований выявлены особенности наиболее типичных сценариев протекания аварий с пожарами и взрывами на морских стационарных нефтегазодобывающих платформах.

Для дальнейшего исследования проблемы обеспечения пожарной безопасности морских стационарных нефтегазодобывающих платформ целесообразно выбрать объект исследований – типовую морскую стационарную нефтегазодобывающую платформу и ее основные технологические процессы добычи и первичной перера-

ботки добываемой продукции. Более подробное описание типовой платформы представлено в разделе 3.2 настоящей работы.

Учитывая наиболее распространенный во всем мире целеориентированный подход к обеспечению пожарной безопасности, а также тот факт, что понятие пожарного риска является ключевым понятием Федерального закона [20], в работе планируется провести определение расчетных величин пожарного риска с учетом влияния различных мероприятий по обеспечению пожарной безопасности для выбранной типовой платформы. Далее необходимо провести сравнение полученных значений пожарного риска с нормативными, и рассмотреть методы управления пожарным риском, в том числе исследовать подходы к разработке мероприятий по обеспечению пожарной безопасности с применением методологии барьеров безопасности.

### **3.2 Количественная оценка пожарного риска для типовой морской стационарной нефтегазодобывающей платформы**

Настоящий раздел посвящен вопросам количественной оценки пожарного риска для морских стационарных платформ. Ниже приведены результаты исследований по определению расчетных величин пожарного риска для типовой МСП, выбранной по результатам анализа различных типов МСП.

В соответствии с Федеральным законом [84] риск – это вероятность причинения вреда жизни или здоровью граждан, имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, окружающей среде, жизни или здоровью животных и растений с учетом тяжести этого вреда.

Понятие пожарного риска, регламентируется Федеральным законом [20] и может быть использовано в качестве количественного критерия при определении выполнения условий соответствия объекта защиты требованиям пожарной безопасности.

#### **3.2.1 Краткое описание рассматриваемой типовой платформы, результаты расчетов и их обсуждение**

Рассматриваемая МСП представляет собой установленное на шельфе моря автономное сооружение, включающее комплекс добывающего, технологического, энергетического

ческого и вспомогательного оборудования, а также жилой модуль, вертолетную площадку и средства покидания платформы в критических аварийных ситуациях.

По результатам анализа, проведенного в разделе 1 настоящей работы, в качестве объекта исследований выбрана типовая платформа, состоящая из двух основных конструктивных элементов – железобетонного опорного основания гравитационного типа (ОГТ) и установленных на нем сооружений интегрированного верхнего строения (ВС). Примерами таких платформ могут служить новые морские стационарные платформы проектов Сахалин - I и Сахалин – II, предназначенные для работ по освоению нефтегазовых месторождений континентального шельфа вблизи о. Сахалин. Внешний вид типовой МСП представлен на рисунке 3.4.



Рисунок 3.4 – Типовая морская стационарная платформа, рассматриваемая в настоящей работе

Железобетонное ОГТ типовой платформы устанавливается на морское дно над пластом-коллектором месторождения и включает в себя буровые вырезы, стояки подводных трубопроводов, кессоны подъема морской воды и воды для пожаротушения, внутренние железобетонные резервуары-хранилища и другие коммуникации инженерных сетей между ОГТ и верхним строением.

Интегрированное верхнее строение платформы опирается на опоры ОГТ и находится над поверхностью моря на высоте, исключающей непосредственное воздействие на него льда и волн. Над самой верхней буровой палубой размещены подвиж-

ной склад труб и комплект оборудования буровой вышки. Предполагается, что основная часть комплекса ВС является закрытой и обогреваемой для поддержания минимальной температуры  $+5^{\circ}\text{C}$ , но предусматривается размещение некоторых участков оборудования за пределами помещений, так как это вызвано особенностями эксплуатации, технического обслуживания и компоновки.

ВС платформы опирается на железобетонное ОГТ с буровыми вырезами для направлений, стояками подводных трубопроводов, кессонами подъема морской воды (МВ) и воды для пожаротушения (ВП), внутренними резервуарами-хранилищами, системой предупреждения проявления мелкозалегающего газа и другими соединениями инженерных сетей между ОГТ и ВС.

В ОГТ размещены три железобетонных резервуара: один – для углеводородной основы бурового раствора в северо-западной шахте, и два – для неочищенного дизельного топлива в юго-западной шахте.

Северо-восточная шахта ОГТ – буровая, через которую осуществляются бурильные работы. В юго-восточной шахте находятся стояки для трубопровода неразделенной продукции, трубопровода для закачки воды и трубопровода для обратной закачки бурового шлама.

Предполагается, что на платформе эксплуатируется всего 45 скважин: 28 добывающих скважин, 12 водонагнетательных скважин, 1 скважина для закачки бурового шлама. Для учета прогнозируемых смещений при осадке, теплового расширения и влияния сейсмических явлений предполагается применение гибких выкидных линий.

Соединение скважин с оборудованием верхнего строения осуществляется через четыре многофункциональных манифольда с коллекторами, предназначенные для добычи, замеров, продувки и дренажа. Один манифольд для газлифта обеспечивает газом для газлифта 26 добывающих скважин. Пластовая вода распределяется через два водонагнетательных манифольда и поступает через промысловые трубопроводы в водонагнетательные.

### **Краткое описание технологического процесса рассматриваемой типовой МСП**

Конструкция МСП предусматривает добычу сырой нефти, углеводородных конденсатных жидкостей и газа. Состав технологического оборудования платформы

сведен к минимуму за счет транспортировки трехфазной продукции на береговой комплекс подготовки по промысловому трубопроводу для неразделенной продукции. После процесса подготовки продукции на береговом комплексе, пластовая вода возвращается на платформу для закачки в пласт. На типовой платформе предусмотрены добывающие скважины, водонагнетательные скважины и скважины для закачки бурового шлама. Многофазный флюид из добывающих скважин разделяется на жидкий и газовый потоки в двухфазном эксплуатационном сепараторе. Жидкость из сепаратора закачивается в трубопровод и направляется на береговой комплекс подготовки. Сепарированный газ компримируется, часть газа осушается и используется для газлифтных операций или сжигается как топливо, а оставшийся газ после рекомбинации с пластовым флюидом подается через трубопровод неразделенной продукции на береговой комплекс подготовки. Газ, предназначенный для газлифта, компримируется компрессором высокого давления до рабочего давления газлифта.

Поддержание пластового давления в месторождении осуществляется путем закачки подготовленной пластовой воды, которая по специальному подводному трубопроводу перекачивается от берегового комплекса подготовки к нагнетательным манифольдам платформы.

Укрупненная схема технологического процесса представлена на рисунке 3.5.

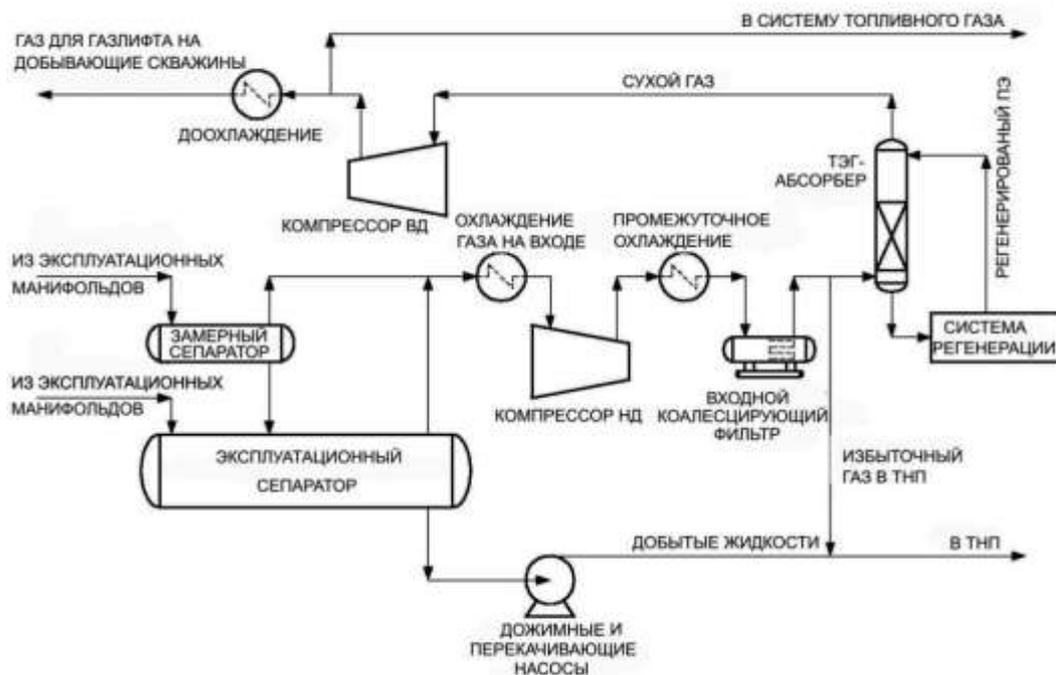


Рисунок 3.5 –Схема технологического процесса рассматриваемой типовой МСП

### **3.2.2 Некоторые особенности МСП и дополнительные предположения, принятые при оценке пожарного риска**

На рассматриваемой типовой МСП в значительном количестве обращаются различные пожаро- и взрывоопасные вещества и материалы. В первую очередь к ним относится добываемая продукция (нефть и попутный газ), кроме того горючие газы, обращающиеся или выделяющиеся при ведении вспомогательных технологических процессов, а также различные горючие жидкости.

Наибольшую пожаровзрывоопасность среди модулей ВС представляют технологический модуль, содержащий основное оборудование (многофункциональные манифольды, замерную систему, сепараторы различного назначения, систему компримирования газа и др.), а также буровой модуль, характеризующийся опасностью выброса нефти и/или газа в помещение модуля и возможным воспламенением углеводородов.

Учитывая актуальность для России освоения арктического шельфа, в работе предполагалось, что на рассматриваемой типовой платформе для функционирования в неблагоприятных климатических условиях, большая часть пожароопасного технологического оборудования размещается внутри помещений или закрытых модулей. Поэтому при оценке риска особое значение приобретает рассмотрение особенностей возникновения и развития аварий с пожарами и взрывами в помещениях.

Исходя из анализа имевших место в мире аварий с пожарами и взрывами на морских нефтегазодобывающих платформах, можно сделать вывод о том, что пожарная опасность платформы существенным образом определяется возможностью эскалации аварии с пожарами и взрывами, которая может способствовать распространению пожара по платформе, а также блокировать пути эвакуации. Следует отметить, что для платформы при рассмотрении возможных путей эскалации аварий необходимо учитывать наличие защитных мероприятий, так как неучет таких мероприятий, как, например, наличие противопожарных преград или систем аварийного отключения приведет к тому, что при оценке риска любая авария с пожаром и/или взрывом будет сопровождаться гибелью всего персонала.

В связи с этим при оценке пожарного риска для МСП рассматривались следующие особенности эскалации аварийных ситуаций с пожарами и взрывами:

- воздействие поражающих факторов аварии на соседнее технологическое оборудование с последующим его повреждением, поступлением в окружающее пространство дополнительных горючих веществ и увеличением масштабов аварии;
- воздействие поражающих факторов аварии на конструкции платформы с последующим их повреждением, распространением аварии в соседние помещения (открытые площадки). При этом может происходить как повреждение технологического оборудования, так и дальнейшее повреждение конструкций платформы. В случае дальнейшего развития аварии возможны структурные повреждения конструкций платформы до ее покидания персоналом;
- воздействие поражающих факторов аварии на элементы систем противоаварийной и противопожарной защиты. При этом отказ этих систем может способствовать развитию аварии по указанным выше путям.

Для учета возможной эскалации пожара при определении величин пожарного риска для МСП согласно [187] проведено следующее:

- для всех участков МСП определен перечень пожароопасных ситуаций и пожаров и возможные первичные сценарии их возникновения и развития. Под первичным сценарием понимается последовательность события с момента возникновения пожароопасной ситуации до ее локализации (ликвидации) в пределах участка возникновения или выхода за его пределы;
- определены частоты реализации первичных сценариев развития пожароопасных ситуаций и пожаров (первичные сценарии) путем умножения частоты реализации инициирующей пожароопасную ситуацию или пожар события на условные вероятности реализации промежуточных и конечных для первичного сценария событий;
- для первичных сценариев, при которых возможна эскалация, определены условные вероятности и время перехода пожара на соседние участки. При этом проанализированы все последующие стадии эскалации, рассмотрена возможность дальнейшей эскалации;
- при определении условной вероятности и времени перехода пожара на соседние участки учитывалась условная вероятность эффективного срабатывания

имеющихся мероприятий по ограничению распространения пожара, направленных на предотвращение эскалации;

– определены условные вероятности поражения людей при эскалации для промежуточных и конечных событий.

При проведении расчетов сценариев аварийных ситуаций с возможной эскалацией, одним из наиболее важных аспектов является определение условной вероятности перехода и времени перехода пожара на соседние участки, которое в настоящей работе осуществлялось с использованием следующих положений.

Время перехода пожара на соседние участки при эскалации пожара, возникшего на наружной установке, при невозможности его определения принято равным нулю.

При определении условной вероятности перехода пожара на соседние участки были учтены следующие сопутствующие факторы инициирующего заданную стадию эскалации пожара, воздействие которых обуславливает угрозу распространения пожара:

- непосредственное воздействие открытого пламени, в том числе расширяющихся продуктов сгорания при реализации пожара-вспышки;
- тепловое излучение при факельном горении, пожарах проливов горючих веществ на поверхность, пожарах твердых горючих веществ и огненных шарах;
- избыточное давление и импульс волны давления при сгорании ГПВС;
- избыточное давление и импульс волны давления при разрыве сосуда (резервуара) в результате воздействия на него очага пожара;
- осколки, образующиеся при взрывном разрушении элементов технологического оборудования;
- распространение пожара на соседние участки по коммуникационным линиям (кабельные каналы, трубопроводы и т.д.).

Условная вероятность перехода пожара на соседние участки РЭСК рассчитывалась по формуле:

$$P_{эск} = P_{кр} \cdot (1 - P_{эф}), \quad (3.1)$$

где  $P_{кр}$  – условная вероятность достижения опасными факторами инициирующего заданную стадию эскалации пожара критических значений, при которых происходит повреждение или разрушение стен (переборок) модулей МСП, технологического

оборудования наружных установок, располагаемых на соседних с местом возникновения указанного пожара участках, и/или воспламенение горючих веществ и материалов, обращающихся на соседних участках;  $P_{ЭФ}$  – вероятность эффективной работы мероприятий по обеспечению пожарной безопасности, направленных на ограничение распространения пожара. При отсутствии данных условную вероятность эффективного срабатывания мероприятий по обеспечению пожарной безопасности принималась равной нулю.

– Условная вероятность  $P_{KP}$  для случая непосредственного воздействия открытого пламени на горючие вещества и материалы, обращающиеся на соседних участках, а также на располагаемые на соседних участках модули, наружные установки и оборудование принималась равной 1.

– Условная вероятность  $P_{KP}$  для случая распространения пожара на соседние участки по коммуникационным линиям также принималась равной 1 при отсутствии огнепреграждающих устройств.

– Условная вероятность  $P_{KP}$  для случая воздействия теплового излучения, инициирующего заданную стадию эскалации пожара, на технологическое оборудование, конструкции и горючие вещества и материалы, располагаемые на соседних участках, определена соотношением:

$$P_{kp} = \begin{cases} 1, & \text{если } q \geq q_{kp}; \\ 0, & \text{если } q < q_{kp}. \end{cases} \quad (3.2)$$

где  $q$  – интенсивность теплового излучения на соседнем участке, кВт/м<sup>2</sup>;  $q_{kp}$  – критическая интенсивность теплового излучения для рассматриваемого вида оборудования или материала, кВт/м<sup>2</sup>.

Для случая воздействия пожара на горючие вещества и материалы, обращающиеся на соседних участках  $q_{kp}$  – это критическая интенсивность теплового излучения, при которой возможно воспламенение указанных горючих веществ и материалов. Значения  $q_{kp}$  для этого случая принимались на основе данных, приведенных в приложении 4 к методике [66] и нормативных документах по пожарной безопасности.

Для случая воздействия инициирующего пожара на располагаемое на соседних участках технологическое оборудование и металлические конструкции  $q_{kp}$  – это кри-

тическая интенсивность теплового излучения, при которой наступает потеря прочности металла. В этом случае  $q_{KP}$  определяется на основании результатов испытаний соответствующего оборудования и конструкций. При отсутствии данных в расчетах принято  $q_{KP}$  для технологического оборудования и металлических конструкций равной  $15 \text{ кВт/м}^2$  [187].

Вероятность  $P_{KP}$  для случая воздействия волны избыточного давления на технологическое оборудование, располагаемое на соседних участках, определена соотношением:

$$P_{кр} = \begin{cases} 1, & \text{если } \Delta P \geq \Delta P_{кр}; \\ 0, & \text{если } \Delta P < \Delta P_{кр}. \end{cases} \quad (3.3)$$

где  $\Delta P$  – избыточное давление волны давления, кПа;  $\Delta P_{KP}$  – критическое избыточное давление волны давления, кПа, при котором происходит разрушение технологического оборудования.

Величина  $\Delta P_{KP}$  определялась, исходя из технологических, планировочных и конструктивных решений оборудования, данных об авариях со взрывами на аналогичных производствах. При отсутствии данных принимали  $\Delta P_{KP}$  равным 10 кПа согласно [187].

Вероятность  $P_{KP}$  для случая воздействия волны избыточного давления на модули и сооружения, располагаемые на соседних участках, определяется с помощью пробит-функции по методике [66].

Как было отмечено ранее, для МСП при рассмотрении возможных путей эскалации аварий необходимо учитывать наличие защитных мероприятий, так как если не учитывать такие мероприятия (например, наличие противопожарных преград или систем аварийного отключения) это приведет к тому, что при оценке риска практически любая авария с пожаром и/или взрывом с большой вероятностью будет сопровождаться гибелью всего персонала.

В настоящей работе принимается, что на типовой платформе имеются защитные мероприятия, ниже перечислены некоторые из них.

На типовой МСП используются противопожарные преграды с различными пределами огнестойкости. При этом некоторые противопожарные преграды рассчиты-

ваются на воздействие углеводородного пожара. Однако не все противопожарные преграды рассчитаны на длительное воздействие факельного горения, так как характер воздействия горячей струи жидкости или газа существенным образом отличается от испытания по стандартному пожару.

При истечении горючего вещества из оборудования под давлением происходит снижение давления в нем, расхода при истечении и соответственно длины пламени при факельном горении. Кроме того, снижение давления в оборудовании обеспечивается при задействовании систем аварийного отключения и сброса давления. В некоторой степени снижение давления в результате указанных причин может компенсироваться ростом температуры в оборудовании вследствие теплового воздействия пожара. Принимается, что системой сброса давления обеспечивается снижение давления в оборудовании в 2 раза за 15 минут или до 0,7 МПа. При успешном срабатывании системы аварийного отключения обеспечивается перекрытие аварийного участка технологического оборудования и снижение давления.

Некоторые помещения типовой платформы отделяются от остальных помещений взрывоустойчивыми стенами и оснащаются наружными легкобрасываемыми конструкциями. Таким образом, предусматриваются мероприятия по ограничению эскалации пожара при взрыве газопаровоздушной смеси в помещениях.

Значительная часть помещений типовой платформы оснащается автоматическими установками пожаротушения, рассчитанными на локализацию и ликвидацию пожара в защищаемом помещении.

Следует отметить, что детальное рассмотрение указанных выше процессов для всего многообразия пожароопасных ситуаций и пожаров на платформе с учетом неопределенности принятых решений по обеспечению безопасности на этапе расчетов типового объекта представляет собой задачу, решение которой весьма затруднительно. В связи с чем, в настоящей работе для оценки пожарного риска учет эскалации осуществлялся с использованием изложенных ниже консервативных предположений и допущений, позволяющих при анализе путей развития аварий учесть как вероятностный характер процессов, протекающих при аварии, так и некоторые из предусмотренных на МСП защитных мероприятий.

При оценке влияния эскалации на значения пожарного риска в работе приняты следующие консервативные допущения:

- при пожарах в помещениях жилого модуля, электропомещениях эскалация пожара маловероятна и может не приниматься в расчет при оценке пожарного риска. Это предположение подтверждается имеющимся опытом аварий с пожарами и взрывами на платформах;
- повреждение находящихся в помещении элементов систем противоаварийной или противопожарной защиты в результате пожара не происходит до их срабатывания;
- в случае неконтролируемого выброса из скважины (т.е. при отказе скважинных клапанов-отсекателей для эксплуатационной скважины или противовыбросового оборудования для бурящейся скважины) успешное срабатывание систем противопожарной защиты не рассматривается;
- при взрыве газопаровоздушной смеси в помещении происходит разрушение находящегося в помещении технологического оборудования и элементов систем противоаварийной и противопожарной защиты;
- при наличии наружных легкобрасываемых конструкций повреждение внутренних взрывоустойчивых противопожарных преград в случае сгорания газопаровоздушной смеси в помещении не происходит.

К защитным также относятся мероприятия по обеспечению безопасной эвакуации персонала при пожаре.

На рисунке 3.6 представлено типичное дерево событий для сценариев возникновения и развития пожароопасных ситуаций и пожаров, связанных с разгерметизацией технологического оборудования и поступлением в помещение горючих газов (паров) и/или легковоспламеняющихся жидкостей. На рисунке 3.7 – типичное дерево событий для сценариев возникновения и развития пожароопасных ситуаций и пожаров, связанных с утечкой и воспламенением горючих жидкостей или горением твердых горючих веществ и материалов.

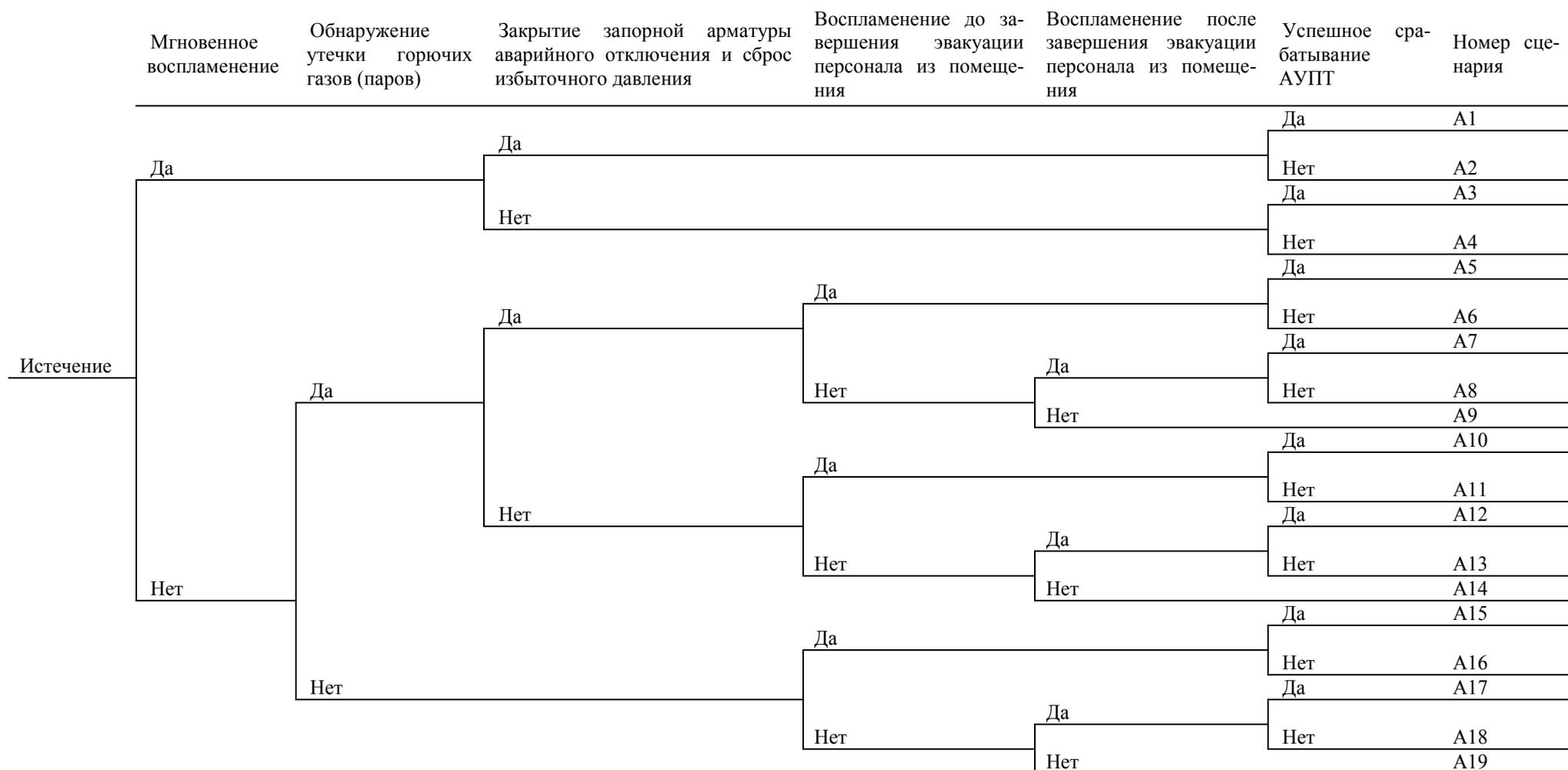


Рисунок 3.6 – Типичное дерево событий для сценариев возникновения и развития пожароопасных ситуаций и пожаров, связанных с разгерметизацией технологического оборудования и поступлением в помещение ГГ и/или ЛВЖ

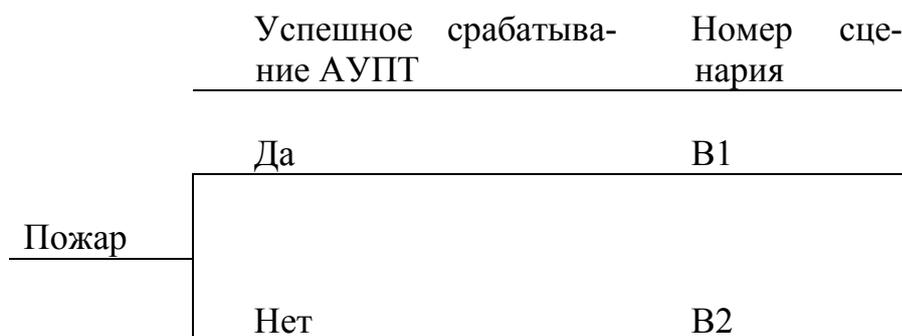


Рисунок 3.7 – Типичное дерево событий для сценариев возникновения и развития пожароопасных ситуаций и пожаров, связанных с утечкой и воспламенением горючих жидкостей или горением твердых горючих веществ и материалов

Характеристика сценариев развития пожароопасных ситуаций и пожаров, представленных на рисунках 3.6 и 3.7, с точки зрения возможности поражения находящегося в помещении очага пожара персонала опасными факторами пожара (взрыва), приведена в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Характеристика сценариев развития пожароопасных ситуаций и пожаров с точки зрения возможности поражения находящегося в помещении персонала

Номер сценария	Характеристика сценария
A1, A2, A3 и A4	Возможно поражение персонала опасными факторами в результате реализации пожара пролива и/или факельного горения
A5, A6, A10, A11, A15, A16	Возможно поражение персонала опасными факторами в результате сгорания (взрыва) газопаровоздушной смеси в помещении
A7, A8, A12, A13, A17, A18	Происходит сгорание (взрыв) газопаровоздушной смеси. Однако персонал с определенной вероятностью успешно эвакуируется из помещения
A9, A14, A19	Сценарии не сопровождаются реализацией опасных факторов
B1, B2	Возможно поражение персонала опасными факторами пожара

В таблице 3.4 рассмотрены отображенные на рисунках 3.6 и 3.7 сценарии развития пожара, с точки зрения возможности эскалации с учетом приведенных выше предположений.

Таблица 3.4 – Характеристика сценариев развития пожароопасных ситуаций и пожаров с точки зрения возможности эскалации

Номер сценария	Характеристика сценария
A1, A5, A7,	Успешное срабатывание систем противопожарной защиты. Эскалация не происходит
A3, A10, A12, A15, A17	Успешное срабатывание систем противопожарной защиты. Эскалация не происходит (за исключением аварий, связанных с неконтролируемым выбросом из скважины)
A2, A6, A8	Эскалация возможна при значительном количестве горючих веществ в оборудовании
A4, A11, A13	Рассматривается эскалация пожара
A16, A18	Рассматривается эскалация пожара (при неуспешном срабатывании системы обнаружения пожара и АУП)
A9, A14, A19	Сценарии не сопровождаются реализацией опасных факторов. Эскалация не происходит
B1, B2	Эскалация не происходит

В настоящей работе для сценариев A4, A11, A13, A16, A18 и A2, A6, A8 были проведены расчеты пожарного риска с учетом эскалации аварийных ситуаций.

В соответствии с описанной методологией для оценки последствий аварий с пожарами и взрывами проводилось сопоставление величин опасных факторов пожара (взрыва) с критериями поражения людей указанными опасными факторами. При расчетах использованы критерии регламентированные [66].

При этом принималось, что в помещении, в котором произошло сгорание ГПВС, а также в смежных помещениях происходит гибель всех находящихся в них людей (не эвакуировавшиеся до наступления момента отказа противопожарной преграды), повреждается технологическое оборудование, системы противоаварийной и противопожарной защиты. Принимается также, что такое развитие аварии сопровождается возникновением пожара в смежных помещениях. В случае, если в смежных помещениях располагаются пути эвакуации, при расчетах принималось, что дальнейшая эвакуация через них невозможна.

При этом важным вопросом при оценке риска являлось определение условной вероятности воспламенения с задержкой. В [66] эти данные приводятся без указания интервала времени, по истечении которого происходит воспламенение. Для определения этого может быть использован следующий подход [44].

Предполагается, что вероятность мгновенного воспламенения утечки составляет 10% от общей условной вероятности воспламенения. При этом принимается, что 95% утечек, не воспламенившихся мгновенно, воспламеняются в течение 1 часа.

Вероятность воспламенения  $P_{ign}(t)$  в течение интервала времени  $t$  по аналогии с [14] определяется по формуле:

$$P_{ign}(t) = P_{ign} \cdot \left\{ 0,1 + 0,9 \cdot \left( 1 - \exp\left(-\frac{t}{20}\right) \right) \right\}, \quad (3.4)$$

где  $P_{ign}$  – общая вероятность воспламенения;  $t$  – время от начала утечки до появления источника воспламенения, мин.

Таким образом, вероятность того, что воспламенение произошло не мгновенно, а с задержкой времени  $t$ , составляет:

$$P_{ign}(0 \div t) = P_{ign} \cdot 0,9 \cdot \left( 1 - \exp\left(-\frac{t}{20}\right) \right) \quad (3.5)$$

Из формулы (3.2.5) следует, что вероятность воспламенения, например, с задержкой 2 мин составляет  $0,086 \cdot P_{ign}$ , с задержкой 3 мин  $0,13 \cdot P_{ign}$ , а с задержкой 5 мин  $0,2 \cdot P_{ign}$ .

### 3.2.3 Результаты оценки потенциального пожарного риска для различных участков платформы и индивидуального пожарного риска для персонала

Как было описано выше, при оценке пожарного риска для работающего на платформе персонала платформа была разделена на участки. При этом персонал платформы был разделен на следующие категории:

- операторы;
- технический персонал;
- персонал буровой;
- административный персонал.

Для каждой из указанных категорий проводилась оценка индивидуального пожарного риска в зависимости от вероятности присутствия той или иной категории персонала на том или ином участке платформы.

В таблице 3.2.3 представлены результаты расчетов вероятности эвакуации персонала из различных участков типовой МСП при возникновении пожара на этих участках. Данные таблицы 3.5 использовались для определения величин потенциального пожарного риска для различных участков МСП.

Таблица 3.5 – Значения вероятности эвакуации персонала из некоторых участков типовой МСП, в случае возникновения пожара на этих участках

№ п/п	Наименование участка МСП	Вид пожара	Расчетное время эвакуации, мин	Необходимое время эвакуации, мин	Вероятность эвакуации
1	Зона вспомогательного оборудования (состоит из трех участков)	Пожар пролива	0,43	1,85	0,999
			0,38	1,85	
			0,40	0,43	
		Пожар твердой нагрузки	0,43	1,1	
			0,38	1,1	
			0,40	0,53	
2	Участок размещения основного дизель-генератора	Пожар пролива	0,18	-	0
3	Помещение эксплуатационного склада	Пожар твердой нагрузки	0,39	0,43	0,999
4	Помещение насосов перекачки пластиковой продукции	Пожар пролива	0,25	-	0
		Взрыв ГПВС			
5	Помещение устьевого оборудования	Пожар пролива + факельное горение	0,29	0,015	0
		Взрыв облака ГПВС		-	
6	Помещение эксплуатационных манифольдов	Пожар пролива + факельное горение	0,20	-	0
		Взрыв облака ГПВС			
7	Помещение склада бурового оборудования	Пожар твердых горючих и трудногорючих материалов	0,26	0,35	0,999
8	Помещение компрессоров	Пролив ГСМ (масел)	0,19	0,23	0,999
		Пролив углеводородов		0,07	0
		Факельное горение		-	0

№ п/п	Наименование участка МСП	Вид пожара	Расчетное время эвакуации, мин	Необходимое время эвакуации, мин	Вероятность эвакуации
		Взрыв облака ГПВС		-	0
9	Главная электрощитовая	Пожар твердых горючих и трудногорючих материалов	0,26	0,47	0,999
10	Помещение эксплуатационного сепаратора	Пожар пролива + факельное горение	0,24	-	0
		Взрыв облака ГПВС			
11	Зона блока ПВП и совмещенных операций	Пожар пролива + факельное горение	0,30	-	0
		Взрыв облака ГПВС			
Зона жилого модуля					
12	2-х местная каюта	Пожар изоляции электрических кабелей и облицовочных материалов	0,06	0,10	0,999
13	Одноместная каюта	Пожар изоляции электрических кабелей и облицовочных материалов	0,05	0,09	0,999
14	Конференц-зал (на 32 человека)	Пожар твердой нагрузки (мебель - ДСП)	0,26	0,28	0,999

Некоторые результаты оценки потенциального пожарного риска для ряда основных участков типовой платформы представлены в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Значения потенциального пожарного риска и вероятности присутствия персонала для некоторых участков платформы

№ п/п	Наименование участка	Потенциальный пожарный риск, год <sup>-1</sup>	Вероятность присутствия персонала (в зависимости от категории персонала)			
			Операторы	Технический персонал	Персонал буровой	Административный персонал
1	Зона вспомогательного оборудования	$1,43 \cdot 10^{-4}$	3%	1,0%	2%	0,19%
2	Участок размещения основного дизель-генератора	$1,0 \cdot 10^{-5}$	2,5%	1,0%	0	0,19%

№ п/п	Наименование участка	Потенциальный пожарный риск, год <sup>-1</sup>	Вероятность присутствия персонала (в зависимости от категории персонала)			
			Операторы	Технический персонал	Персонал буровой	Административный персонал
3	Помещение эксплуатационного склада	$3,6 \cdot 10^{-5}$	0	0,9%	0	0,19%
4	Помещение насосов перекачки пластиковой продукции	$4,1 \cdot 10^{-5}$	3%	1,0%	0	0,19%
5	Помещение устьевого оборудования	$1,6 \cdot 10^{-4}$	2,5%	1,0%	0	0,19%
6	Помещение эксплуатационных манифольдов	$3,1 \cdot 10^{-5}$	2,5%	1,0%	0	0,19%
7	Помещение склада бурового оборудования	$4,6 \cdot 10^{-6}$	0	0,9%	2%	0,19%
9	Помещение компрессоров	$9,0 \cdot 10^{-4}$	3%	1,0%	0	0,21%
10	Главная электрощитовая	$1,2 \cdot 10^{-5}$	2,5%	1,0%	0	0,19%
11	Помещение электрооборудования	$2,7 \cdot 10^{-6}$	0	1,0%	0	0,19%
12	Помещение буровых насосов и гидравлического аккумулятора противовибросовых превенторов	$1,9 \cdot 10^{-6}$	0	1,0%	2%	0,19%
13	Помещение эксплуатационного сепаратора	$1,6 \cdot 10^{-5}$	0	1,0%	0	0,21%
14	Главная аккумуляторная	$2,9 \cdot 10^{-6}$	2,5%	1,0%	0	0,19%
15	Зона блока ПВП и совмещенных операций	$6,6 \cdot 10^{-5}$	0	1,0%	2,5%	0,19%
16	Пункт управления	$2,0 \cdot 10^{-6}$	2,5%	0,9%	2%	0,19%
17	Участок размещения вибростит и вакуумного газоотделителя	$1,5 \cdot 10^{-4}$	0	1,0%	4,5%	0,19%
18	Помещение газотурбинных генераторов	$1,2 \cdot 10^{-5}$	3%	1,0%	0	0,19%
19	Электрическая и инструментальная мастерская	$2,0 \cdot 10^{-6}$	0	1,0%	0	0,2%
20	Каюты	$7,8 \cdot 10^{-7}$	36%	36%	36%	36%
21	Бытовые помещения (столовая, спортзалы, видеосалоны и др.)	$1,3 \cdot 10^{-5}$	14%	14%	14%	14%
22	Помещения административного персонала	$6,9 \cdot 10^{-6}$	0	0	0	40%

Кроме представленных в таблице 3.2.4, можно выделить еще одну категорию работников – обслуживающий персонал жилого модуля (повара, медицинские работники, уборщики и др.). Указанная категория персонала характеризуется 100%-

ной долей времени присутствия в жилом модуле (100% от времени, проводимого персоналом на платформе).

В качестве аварийных ситуаций, связанных с эскалацией пожара в настоящей работе рассматривались выбросы из скважин, связанные с истечением по полному сечению. В случае реализации таких выбросов возникающий при воспламенении истекающих продуктов пожар может привести к большому числу человеческих жертв и гибели платформы. Частота возникновения указанных пожаров определялась, исходя из следующих предпосылок. Принималось, что приводящий к гибели платформы пожар реализуется при одновременном выполнении следующих условий: реализация выброса, связанного с истечением из скважины по полному сечению, воспламенение, отказ систем перекрытия скважин. Для данного сценария было определено значение потенциального пожарного риска, которое составило  $P_{фон} = 1,6 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$ . Эта величина при определении итогового значения потенциального пожарного риска в помещениях МСП принималась в качестве фонового значения, определяющего вклад пожаров, связанных с эскалацией, приводящей к гибели платформы.

В таблице 3.7 приведены результаты оценки значений индивидуального риска для различных категорий персонала платформы с учетом вероятности пребывания работника на определенных участках платформы.

Таблица 3.7 – Значения индивидуального пожарного риска для различных категорий персонала платформы

Категория персонала	Индивидуальный пожарный риск, $\text{год}^{-1}$
Операторы	$4,5 \cdot 10^{-5}$
Технический персонал	$3,1 \cdot 10^{-5}$
Буровой персонал	$4,0 \cdot 10^{-5}$
Административный персонал	$8,4 \cdot 10^{-6}$
Обслуживающий персонал жилого модуля	$6,5 \cdot 10^{-6}$

Полученные значения индивидуального риска для всех категорий персонала платформы не превышают предельно допустимое нормативное значение индивидуального риска для персонала производственного объекта, регламентированное Федеральным законом [20].

Наиболее опасным с точки зрения величины пожарного риска на МСП являются буровой модуль (зона размещения устьевого оборудования) и технологический модуль (зона размещения компрессоров). Для различных групп персонала МСП можно сделать вывод о том, что наибольшей опасности подвергаются операторы, буровой и технический персонал. При этом наименьшей опасности на платформе подвержен административный персонал, а также персонал жилого модуля, что связано с наименьшей вероятностью присутствия данных категорий персонала во взрывопожароопасных помещениях бурового и технологического модулей МСП.

По результатам проведенных исследований можно сделать вывод о том, что при определении расчетных величин пожарного риска для МСП следует учитывать особенности, к которым относятся:

- сложные архитектурно-строительные и компоновочные характеристики платформы, высокая плотность размещения технологического оборудования и др.;
- многовариантный характер развития аварийных ситуаций с пожарами и взрывами, влияние аварийных ситуаций, связанных с эскалацией пожара;
- влияние различных защитных мероприятий (противопожарных преград, систем противопожарной защиты и др.) на распространение опасных факторов пожара по платформе;
- высокая концентрация персонала на платформе, его вынужденное расположение в ряде случаев вблизи пожаровзрывоопасных участков платформы.

Таким образом, в настоящей работе получены новые количественные данные по оценке пожарного риска для МСП. Полученные данные позволяют выявить на рассматриваемой типовой МСП наиболее опасные участки, на которых возможно возникновение ситуаций, вносящих наибольший вклад в суммарный риск. Определение наиболее пожароопасных участков на МСП позволяет распределить средства защиты и принять соответствующие меры, позволяющие снизить риск до приемлемого уровня.

Кроме того, для учета влияния аварийных ситуаций, связанных с эскалацией пожара предлагается значение потенциального пожарного риска для сценариев возникновения данных аварийных ситуаций рассматривать в качестве фонового значения пожарного риска для МСП. Такой подход позволяет использовать дополнительный критерий пожарного риска, основанный на частоте потерь основных функций

обеспечения безопасности МСП. При расчетах пожарного риска по каждой основной функции обеспечения безопасности МСП целесообразно проводить сравнение суммарной частоты потери отказа с установленным значением  $10^{-4}$  год<sup>-1</sup> по всем сценариям отдельного вида аварии. Этот критерий может быть эффективно использован при проектировании МСП для принятия решений в отношении технических мероприятий по обеспечению безопасности.

Таким образом, с помощью разработки новых или доработки существующих мероприятий по обеспечению пожарной безопасности может быть достигнуто снижение уровня потенциального пожарного риска по основным функциям обеспечения безопасности МСП и индивидуального пожарного риска для персонала.

Рассмотрению некоторых методов и способов обеспечения пожарной безопасности МСП посвящена глава 3.3 настоящей работы.

### **3.3 Особенности разработки мероприятий по обеспечению пожарной безопасности морской стационарной нефтегазодобывающей платформы**

#### **3.3.1 Методология разработки и применения барьеров пожарной безопасности**

Проведенные исследования, включая анализ объемно-планировочных, конструктивных и технологических особенностей морских стационарных нефтегазодобывающих платформ, анализ произошедших аварий с пожарами и взрывами на подобных объектах, выявление особенностей наиболее типичных сценариев протекания аварий, показали, что обеспечение безопасности персонала и оборудования указанных объектов может быть достигнуто путем эффективного управления пожарным риском. Ниже рассмотрим некоторые способы снижения уровня пожарного риска для МСП.

Снижение уровня пожарного риска осуществляется за счет проведения системного анализа причин и условий развития аварий на платформах, прогнозирования их последствий и разработки так называемых «барьеров безопасности».

Под барьерами безопасности в данном контексте понимаются организационные и инженерно-технические решения, с помощью которых возможно предотвращение возникновения аварийной ситуации, ограничение распространения опасных факторов пожара и взрыва, и тем самым снижение вероятности развития аварийной ситуа-

ции по эскалационному сценарию, а также снижение тяжести последствий аварийной ситуации.

Согласно [190] анализ и оценка риска могут быть выполнены с различной степенью глубины и детализации с использованием одного или нескольких методов логического анализа разного уровня сложности.

Среди множества различных методов анализа и оценки риска для сложных технических систем могут быть выбраны следующие методы:

- анализ дерева неисправностей;
- анализ дерева событий;
- анализ диаграмм «галстук-бабочка».

Каждый из этих методов реализуется путем построения графической схемы. На выбор метода влияют различные факторы, такие, как доступность ресурсов, характер и степень неопределенности данных и информации, сложность метода и др. Разберем подробнее третий метод.

Метод анализа диаграммы «галстук-бабочка» представляет собой схематический способ описания и анализа пути развития опасного события от причин до последствий [190]. Данный метод сочетает исследование причин события с помощью дерева неисправностей и анализ последствий с помощью дерева событий. На рисунке 3.8 представлен пример диаграммы «галстук-бабочка» в общем виде.

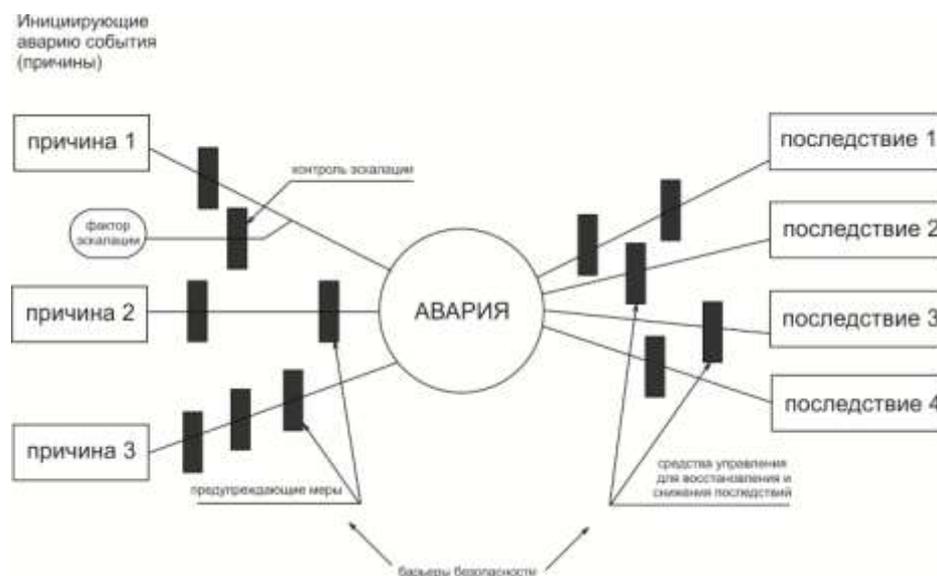


Рисунок 3.8 – Пример графической схемы возникновения и развития аварии с применением диаграммы «галстук-бабочка»

Метод анализа «галстук-бабочка» используют для исследования риска на основе демонстрации диапазона возможных причин и последствий. Метод следует применять в ситуации, когда сложно провести полный анализ дерева неисправностей или когда исследование в большей мере направлено на создание барьеров безопасности или средств управления риском для каждого пути отказа. Метод может быть полезен в ситуации, когда существуют точно установленные независимые пути, приводящие к отказу.

Выходными данными метода являются простые диаграммы, показывающие основные пути опасных событий и установленные барьеры, направленные на предотвращение или смягчение нежелательных последствий и/или предотвращение развития аварии по наиболее неблагоприятным сценариям.

Преимуществами метода анализа «галстук-бабочка» являются [190]:

- метод обеспечивает наглядное, простое и ясное графическое представление проблемы;
- метод ориентирован на средства управления риском, направленные на предупреждение и/или уменьшение последствий опасных событий, и оценку их эффективности.

Недостатками метода являются:

- метод не позволяет отображать совокупности причин, возникающих одновременно и вызывающих последствия (случай, когда в дереве неисправностей, отражающем левую сторону диаграммы, находится логический элемент «И»);
- метод может представить сложные ситуации в чрезмерно упрощенном виде, особенно при применении количественной оценки.

На основе вышеизложенного можно заключить, что, несмотря на имеющиеся недостатки, для иллюстрации идеологии барьеров безопасности при их разработке может использоваться анализ диаграммы «галстук-бабочка».

Следует отметить, что метод анализа диаграмм «галстук-бабочка» более предпочтителен при проведении количественной оценки риска для проверки соответствия такому критерию предельно допустимого риска как частота потери основной функции обеспечения безопасности [188].

Для проведения подробного детального анализа риска с учетом многовариантности и различных сочетаний причин возникновения конечного события и его по-

следствий, а также для разработки средств управления – барьеров безопасности, целесообразно использовать совокупность представленных методов.

В процессе управления риском при разработке барьеров безопасности, следует учитывать их особенности и характеристики. По своему назначению барьеры безопасности можно разделить на:

- барьеры, направленные на предотвращение возникновения опасного события;
- барьеры, направленные на предотвращение проявления нежелательных последствий возникшего опасного события или снижения их тяжести.

В зависимости от непосредственного участия человека барьеры можно разделить на:

- организационные – мероприятия, для реализации которых требуется участие персонала объекта;
- технические – мероприятия, которые могут предотвратить нежелательное событие или снизить тяжесть его последствий без непосредственного участия персонала.

К организационным барьерам безопасности относятся: подготовка различных планов и инструкций, действия персонала платформы согласно разработанным инструкциям, мероприятия по обучению, а также оповещению при возникновении аварийной ситуации. Также к этому типу барьеров безопасности следует отнести первичные средства пожаротушения и все виды технического обслуживания различных систем платформы.

К техническим барьерам безопасности на платформе относится весь перечень мероприятий и систем, предусмотренных для обеспечения безопасности персонала и оборудования платформы и, как отмечено ранее, функционирующих без непосредственного вмешательства человека (например, дренажные системы, системы контроля за превышением давления в технологическом оборудовании, системы обнаружения пожара и контроля загазованности, системы пожаротушения и др.).

Как было отмечено выше, среди многообразия различных барьеров безопасности можно выделить:

- барьеры, снижающие частоту возникновения аварийных ситуаций;
- барьеры, ограничивающие последствия аварии и снижающие условные вероятности ее развития по наиболее неблагоприятным сценариям.

Следует отдельно выделить барьеры безопасности, предназначенные для снижения условной вероятности поражения людей опасными факторами пожаров и взрывов.

К основным барьерам для МСП, предназначенным для ограничения последствий аварии и снижения вероятности ее развития по наиболее неблагоприятным сценариям, можно отнести, например, следующие:

- ограничение количественных показателей возможных утечек горючих веществ (например, разделение технологической системы на отдельные секции, содержащие меньшие объемы горючих веществ);
- снижение интенсивности испарения проливов горючих жидкостей;
- снижение вероятности образования локального взрывоопасного объема в помещениях и на открытой площадке (например, система сброса давления);
- предотвращение распространения газопаровоздушных облаков в открытом пространстве (например, система контроля загазованности, применение водяных завес);
- снижение вероятности эскалации аварии (например, системы пассивной противопожарной защиты, системы активной противопожарной защиты).

К основным барьерам, предназначенным для снижения условной вероятности поражения людей на МСП при реализации аварий с пожарами и взрывами, можно отнести, например, следующие:

- ограничение количества людей, которые могут попасть в зону поражения (разработка штатных расписаний и различных инструкций, организация зон разных уровней доступа и др.);
- защита людей от опасных факторов пожара и взрыва (обеспечение своевременной и безопасной эвакуации персонала, организация временного убежища и покидания платформы персоналом в критических ситуациях).

При определении достаточной надежности барьера одним из наиболее важных факторов является их целостность. По аналогии с моделью накопления ошибок, предложенной Джеймсом Ризоном [191] и получившей более известное название «модель швейцарского сыра» (см. рисунок 3.9), наиболее эффективное снижение пожарного риска достигается при максимальной целостности барьеров безопасности (отсутствии «дырок в ломтиках сыра») [192].

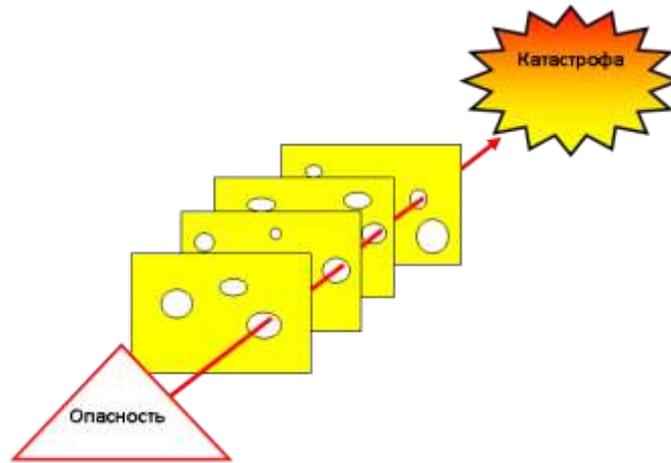


Рисунок 3.9 – Модель накопления ошибок Дж. Ризона  
(модель «швейцарского сыра»)

Целостность барьеров описывается комплексом технических, эксплуатационных и организационных условий. Если целостность одного барьера нарушена, в результате чего барьер не может препятствовать развитию аварии, в таком случае систему барьеров следует проектировать по принципу эшелонирования, выстраивая на пути развития аварийной ситуации (на пути распространения опасных факторов пожара и др.) несколько барьеров. С увеличением числа применяемых барьеров вероятность развития аварийной ситуации по неблагоприятному сценарию снижается, и тем самым снижается общий уровень пожарного риска.

Как правило, эшелонирование барьеров применяется в технически сложных системах, и степень их независимости друг от друга является определяющим фактором при принятии решения о том, должны ли эти различные барьеры рассматриваться по отдельности. Оценка независимости барьеров является качественной и отвечает на такие вопросы, как: существуют ли потенциальные общие причины, в силу которых оба или все барьеры будут выведены из строя (например, может ли это быть прекращение электроснабжения)? Является ли одна система барьеров логически зависимой от другой такой системы, т.е. повлияет ли выход первой системы из строя на функционирование второй системы?

В результате использования логических методов при оценке риска, проведенной при проектировании платформы, можно выявить опасные ситуации, которые вносят наибольший вклад в суммарный риск. Это позволяет распределить средства защиты

и принять соответствующие меры (например, обеспечить опасный участок или элемент адекватной защитой – одним или несколькими барьерами безопасности, позволяющими снизить риск до приемлемого уровня).

### **3.3.2 Примеры применения барьеров безопасности при разработке мероприятий по обеспечению пожарной безопасности**

В настоящем разделе приведены некоторые примеры применения методологии барьеров безопасности при разработке мероприятий по обеспечению пожарной безопасности МСП.

#### **3.3.2.1 Технические барьеры безопасности**

На практике применение всех возможных технических барьеров безопасности невозможно и, несмотря на рекомендуемый принцип эшелонирования барьеров, при проектировании приходится делать выбор между использованием тех или иных систем.

Рассмотрим пример выбора технических барьеров безопасности для обеспечения пожаровзрывобезопасности закрытых помещений (модулей) МСП. Одним из наиболее опасных сценариев является сценарий аварии, связанный с утечками пожаровзрывоопасных веществ и накоплением паров и газов в закрытых помещениях (модулях) платформы, что может привести к взрыву газопаровоздушной смеси (ГПВС) с последующими катастрофическими последствиями. На рисунке 3.10 представлен фрагмент диаграммы «галстук-бабочка», построенной для указанного сценария, где 1 – барьер безопасности - система предупредительной газовой флегматизации объема закрытого модуля; 2 – барьер безопасности - система взрывоподавления в закрытом модуле; 3 – барьер безопасности - легкобрасываемые конструкции в наружных ограждающих конструкциях модуля

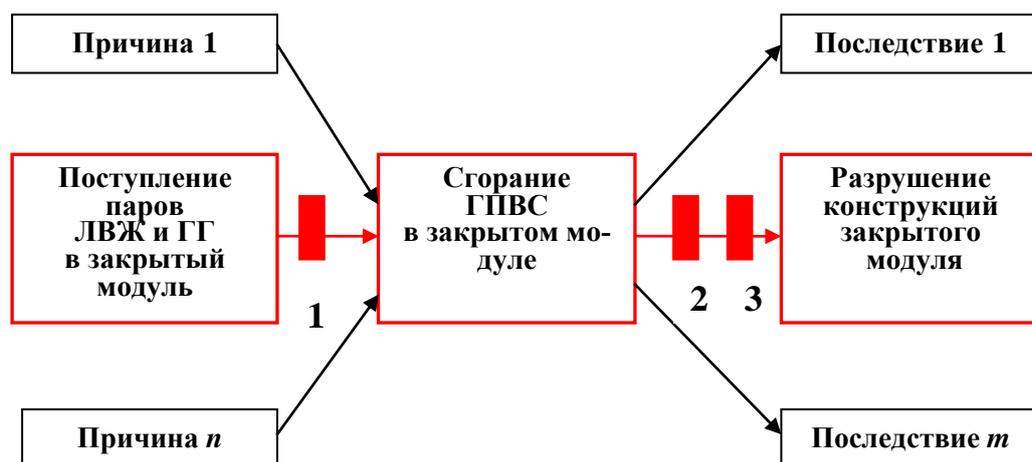


Рисунок 3.10 – Фрагмент диаграммы «галстук-бабочка», описывающий аварийную ситуацию со сгоранием накопленных паров ЛВЖ, ГЖ и ГГ в закрытом модуле МСП

Для предотвращения возникновения опасного события, показанного в центре диаграммы – «сгорание облака ГПВС в закрытом модуле», а также для снижения тяжести последствий наступления этого опасного события необходимо предусмотреть защитные мероприятия – барьеры безопасности на пути развития аварийной ситуации, на которых сфокусировано основное внимание метода диаграмм «галстук-бабочка» [190].

В настоящей работе рассматривается вариант применения трех различных барьеров безопасности для обеспечения пожаровзрывобезопасности закрытых модулей МСП.

Существует два основных направления обеспечения пожаровзрывобезопасности помещений (модулей), в которых возможно сгорание (взрыв) горючих газопаропылевоздушных смесей [193]:

– мероприятия, направленные на предотвращение образования облака ГПВС взрывоопасной концентрации и ее воспламенения;

– мероприятия, обеспечивающие не превышение давлением взрыва допустимых значений и устойчивость строительных конструкций помещения (модуля) при сгорании облака ГПВС.

Одним из эффективных мероприятий, снижающих взрывные нагрузки до безопасного уровня, является устройство в наружном ограждении пожаровзрывоопасного по-

мещения сбросных проемов, оборудованных специальными легкобрасываемыми конструкциями (ЛСК). Задача этих конструкций состоит в том, чтобы превратить замкнутое пространство помещения (модуля) в полузамкнутое и не дать давлению взрыва в помещении превысить допустимый уровень.

Нормативные документы в области пожарной и промышленной безопасности [126, 194] предписывают оборудование легкобрасываемыми конструкциями помещений категорий А и Б по пожарной и взрывопожарной опасности. ЛСК, располагаемые в наружном ограждении модуля, вскрываются при сравнительно небольшом избыточном давлении и тем самым обеспечивают возможность интенсивного истечения газа (продуктов горения и непрореагировавшей части горючей смеси) через образовавшиеся проемы из объема модуля в наружную атмосферу. Истечение газа в атмосферу приводит к снижению давления в модуле по сравнению с горением ГПВС в замкнутом объеме.

Для ряда модулей, расположенных внутри платформы, граничащих со всех сторон с другими помещениями различного функционального назначения, применение данного мероприятия технически невозможно. Также применение ЛСК затрудняется для МСП, эксплуатирующихся в арктических условиях, когда предъявляются определенные требования к теплоизолирующим свойствам материалов ограждающих конструкций платформы, что зачастую приводит к увеличению их массы, которая оказывает существенное влияние на закономерности вскрытия ЛСК. Авторы статьи [195] в своей работе указывают и другие причины сложности применения ЛСК на МСП в определенных ситуациях.

В описанных случаях для обеспечения пожаровзрывобезопасности закрытых технологических модулей необходимо применение альтернативных мероприятий. Как правило, взрывобезопасность обеспечивается пассивными методами, заключающимися в предупреждении образования облака ГПВС взрывоопасной концентрации, появления источников зажигания, а также в ослаблении разрушительных последствий взрыва, если он все же произошел [96]. Известны также активные методы обеспечения пожаровзрывобезопасности, которые активируются при получении сигналов от систем обнаружения.

Активным способом взрывозащиты является система взрывоподавления или локализации взрывов, принцип действия которой заключается в быстром введении в защищаемый объем взрывоподавляющего огнетушащего вещества, останавливающего дальнейший процесс развития взрыва [96]. Этот способ основан на том, что взрыв рассматриваемых горючих веществ (пары ЛВЖ и ГГ) развивается в дефлаграционном режиме и в начальный период развития взрыва существует некоторое время (около  $5 \cdot 10^{-2}$  с), во время которого еще не происходит резкого повышения давления. Необходимым условием взрывоподавления является подача огнетушащего вещества в определенном количестве в очаг горения за этот промежуток времени.

На диаграмме (рисунке 3.10) два вышеописанных барьера безопасности отмечены цифрами 2 и 3, и являются барьерами, направленными на снижение последствий наступления опасного события. В качестве барьера, направленного на предотвращение возникновения опасного события, в данном случае может быть использована система газовой флегматизации облака ГПВС. Метод флегматизации основан на разбавлении горючей газовой среды флегматизирующим веществом до состояния, когда эта среда не способна распространять пламя [196].

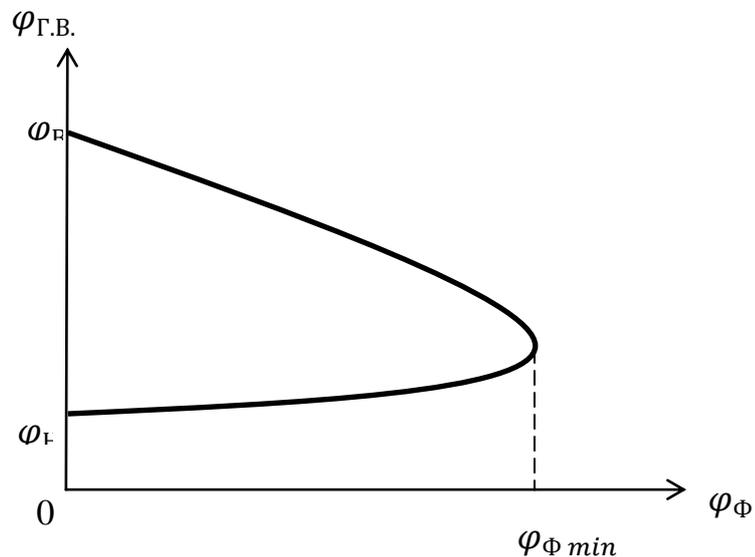


Рисунок 3.11 – «Полуостров флегматизации» – зависимость концентрации горючего вещества в ГПВС от концентрации флегматизатора в смеси:  $\varphi_{Н}, \varphi_{В}$  – нижний и верхний концентрационные пределы распространения пламени горючего вещества соответственно;  $\varphi_{Ф}$  – концентрация флегматизатора в смеси

Это состояние достигается при содержании разбавителя – флегматизатора в смеси, соответствующему «пику» на кривой (рисунок 3.11), который называют минимальной флегматизирующей концентрацией.

При образовании облака ГПВС в замкнутом объеме технологического модуля МСП срабатывает датчик дозрывоопасных концентраций (с установленным порогом срабатывания), который подает сигнал в систему на подачу флегматизирующего вещества. При увеличении концентрации флегматизатора в ГПВС диапазон взрываемости сужается и при достижении значения  $\varphi_{\phi}$  происходит флегматизация смеси, и горение становится невозможным. Минимальная флегматизирующая концентрация может быть определена экспериментальным путем, согласно требованиям стандартов [197, 198] или расчетными методами, например [199, 200]. В качестве флегматизирующего вещества используются: диоксид углерода, азот, инерген, хладоны различных марок и другие вещества, выбор которых производится в зависимости от эффективности, стоимостных характеристик, токсичности и других параметров.

Дополнительным преимуществом использования системы флегматизации для обеспечения пожаровзрывобезопасности закрытых технологических модулей МСП является возможность совмещения функций пожаротушения и флегматизации в установках, защищающих помещения закрытых модулей. В некоторых модулях МСП для обеспечения пожарной безопасности согласно требованиям нормативных документов, должна быть установлена автоматическая система газового пожаротушения (АУГП). Эту же систему можно использовать для взрывопредупредительной флегматизации внутреннего пространства модулей в случае образования в них облака ГПВС взрывоопасной концентрации. В таком случае реализуется следующий принцип действия системы (см. рисунок 3.12):

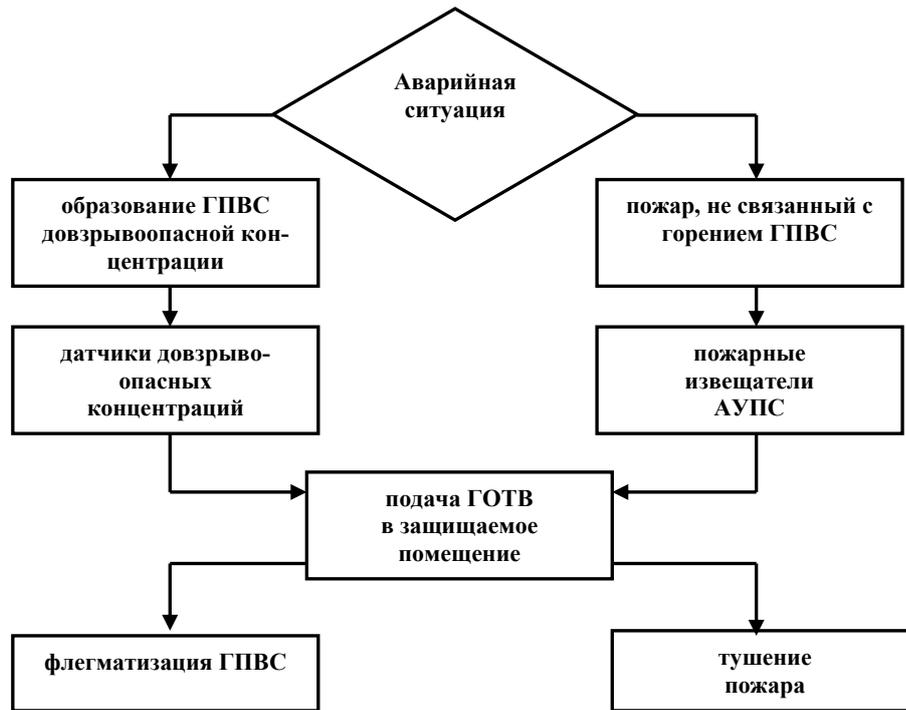


Рисунок 3.12 – Принцип действия объединенной системы АУГП/флегматизации

При образовании облака ГПВС внутри модуля и превышении концентрации взрывоопасных веществ выше установленного порогового значения срабатывает датчик довзрывоопасных концентраций, и в объем модуля подается флегматизатор – газообразное огнетушащее вещество (ГОТВ) с заданными расходными характеристиками.

При возникновении пожара, не связанного с горением облака ГПВС, срабатывают пожарные извещатели, и происходит запуск автоматической системы газового пожаротушения, которая подает ГОТВ в защищаемое пространство.

Таким образом, описанная система служит как для предотвращения пожара, так и для его тушения, с помощью подачи одного и того же вещества в защищаемый объем, но с разными параметрами, в первом случае обеспечивающими достижение минимальной флегматизирующей концентрации, во втором – нормативной огнетушащей концентрации, значение которой регламентируется Приложением Д документа [93]. Затраты на организацию АУГП с дополнительной функцией флегматизации существенно ниже, чем установка дополнительного высокочувствительного оборудования системы взрывоподавления. Это играет немаловажную роль при выборе барьера безопасности для защиты рассматриваемых модулей.

В настоящее время в России отсутствуют нормативные документы, регламентирующие требования к устройству систем флегматизации. Вследствие этого особый интерес представляет определение параметров системы флегматизации, функционирующей при использовании установок газового пожаротушения, обеспечивающих проходную способность для массы флегматизирующего вещества, необходимой для создания минимальной флегматизирующей и огнетушащей концентрации в защищаемых объемах.

### **Опытные данные по флегматизирующим концентрациям различных типов флегматизаторов**

Экспериментально минимальную флегматизирующую концентрацию определяют в соответствии с п. 2.1 ГОСТ 12.1.044-89 [197] на установке «Предел - 2». Испытания проводят по методу, изложенному в п. 4.10.2 указанного выше нормативного документа.

В вакуумированный реакционный сосуд последовательно подают по парциальным давлениям исследованное вещество и заданный флегматизатор, а затем подают воздух для выравнивания давления в реакционном сосуде и атмосфере. Изменяя содержание исследуемого вещества при неизменном содержании флегматизатора находят концентрационные пределы распространения пламени по смеси. Затем увеличивают на 2% содержание флегматизатора в смеси и снова находят пределы распространения пламени.

Проводя аналогичные испытания, находят такое содержание флегматизатора, при котором нижний и верхний пределы распространения пламени в исследуемой смеси сходятся на графике в координатах «содержание горючего компонента в воздухе – содержание флегматизатора» в одну точку  $\varphi_{\phi}$ . Испытания смеси, соответствующей по составу точке  $\varphi_{\phi}$  проводят не менее 3 раз. Концентрацию флегматизатора в точке  $\varphi_{\phi}$  принимают за минимальную флегматизирующую концентрацию для исследуемого вещества.

Типичный график флегматизации показан на рисунке 3.3.6, на котором помимо кривых флегматизации бутана диоксидом углерода и азотом приведено стехиометрическое соотношение компонентов горючей смеси [201]. Можно видеть, что линия стехио-

метрических составов пересекает кривые флегматизации в точках, в которых содержание флегматизатора существенно (примерно на 20-30 %) меньше, чем на «пике».

Вместе с тем, для диффузионных пламен характерно стехиометрическое соотношение компонентов горючей смеси. Следовательно, метод флегматизации обуславливает получение концентрации агента, существенно превышающую, огнетушащую концентрацию, отвечающую точке пересечения прямой стехиометрической концентрации и кривой флегматизации (рисунок 3.13).

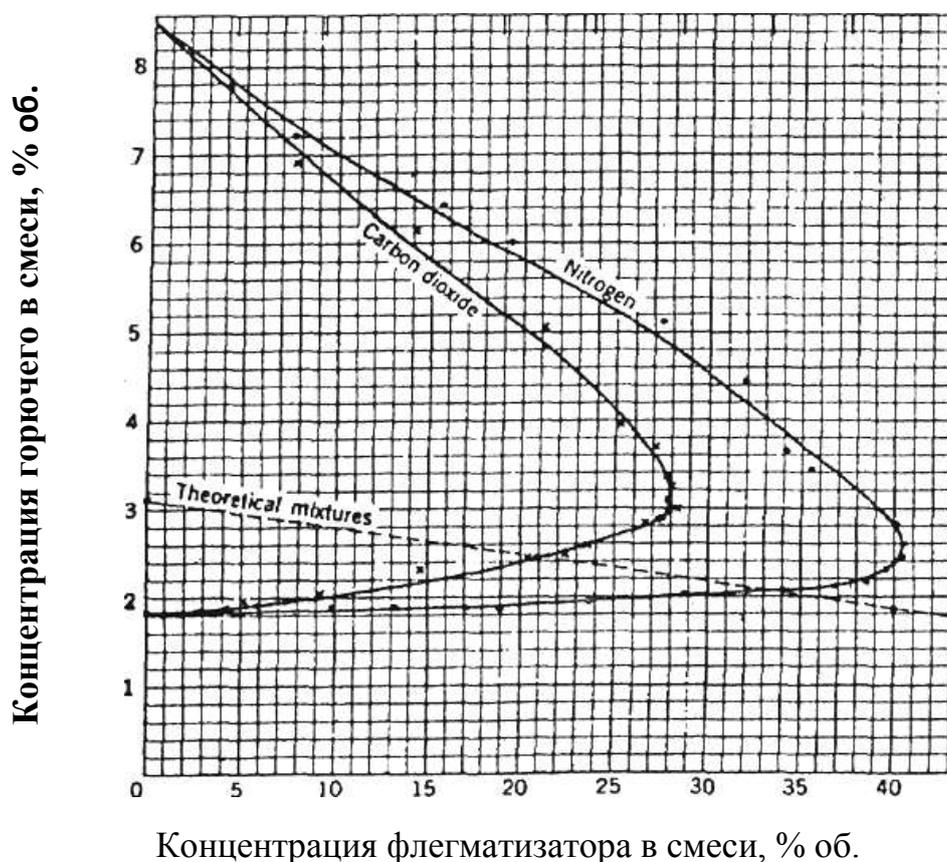


Рисунок 3 13 – Флегматизация смесей «C<sub>4</sub>H<sub>10</sub> – воздух» азотом и диоксидом углерода («Carbon dioxide» – диоксид углерода, «Nitrogen» – азот, «Theoretical mixture» – стехиометрическое соотношение компонентов, обозначено пунктиром) [201]

Следует также указать на то, что принятая в международном стандарте [71] методика определения флегматизирующей концентрации дает завышенные значения этого показателя. Согласно [71] флегматизирующие концентрации огнетушащих веществ определяются следующим образом. В сферической металлической бомбе объемом 7,9 л (радиус

≈ 12,3 см) поджигается исследуемая смесь горючего, воздуха и флегматизатора. За критерий достижения флегматизирующей концентрации принимается развивающееся при поджигании смеси избыточное давление, равное 0,007 кПа. Если же исходить из принципа, что о флегматизирующей концентрации надо судить по способности на приделе распространять пламя по всему объему, то критерием предельной концентрации флегматизатора в этом сосуде должно быть избыточное давление не менее 300 кПа. Расчетные оценки показывают, что для достижения избыточного давления 0,007 кПа достаточно, чтобы пламя от источника зажигания распространилось не более, чем на 0,8 см. Такому повышению давления соответствует повышение температуры всего на 15 °С.

Эти результаты подтверждают нецелесообразность пользования рассматриваемой методикой. Более объективные результаты могут быть получены методом определения пределов распространения пламени [96]. Тем не менее, для полноты анализа ниже будут приведены опытные данные по флегматизирующим концентрациям различных горючих веществ, опубликованные в отечественных и зарубежных источниках.

В работе [202] приведены следующие значения минимальных огнетушащих и флегматизирующих концентраций для метановоздушных и пропановоздушных смесей (таблица 3.8).

Таблица 3.8 – Опытные данные по минимальным флегматизирующим и минимальным огнетушащим концентрациям

Огнетушащее вещество	Химическая формула	Минимальная огнетушащая концентрация, % об.	Минимальная флегматизирующая концентрация, % об.
Метановоздушные смеси			
Хладон 23	CF <sub>3</sub> H	12,2	29,8
Хладон 227ea	C <sub>3</sub> F <sub>7</sub> H	6,0	12,0
Хладон 318Ц	C <sub>4</sub> F <sub>8</sub>	6,7	12,1
Инерген	52% N <sub>2</sub> + 40% Ar + 8% CO <sub>2</sub>	32,4	43,8
Пропановоздушные смеси			
Инерген по ISO 14520 [17]	52% N <sub>2</sub> + 40% Ar + 8% CO <sub>2</sub>	-	49
Диоксид углерода	CO <sub>2</sub>	20,5	25
Аргон	Ar	-	55,8

В нормативном документе [203] представлены следующие данные, (см. таблицу 3.9).

Таблица 3.9 – Данные по минимальным флегматизирующим и минимальным огне-тушащим концентрациям

Огнетушащее вещество	Химическая формула	Минимальная огне-тушащая концентрация % об.	Минимальная флегматизирующая концентрация % об.
Метановоздушные смеси			
Хладон 227ea	$C_3F_7H$	6,0	8
Хладон 23	$CF_3H$	12,2	20,2
Хладон 125	$C_2F_5H$	6,7	14,7
Инерген	52% $N_2$ + 40% Ar + 8% $CO_2$	32,4	43-49
Пропановоздушные смеси			
Инерген	52% $N_2$ + 40% Ar + 8% $CO_2$	-	49
Хладон 227ea	$C_3F_7H$	6,0	11,6 – 11,7
Хладон 13B1	$CF_3Br$	5,0	6,2 – 7,7
Хладон 23	$CF_3H$	-	20,2 – 20,4
Хладон 125	$C_2F_5H$	10,7	15,7

В работе [204] приведены значения минимальных флегматизирующих концентраций для метановоздушных и пропановоздушных смесей, показанные в таблице 3.10.

Таблица 3.10 – Минимальные флегматизирующие концентрации для метановоздушных и пропановоздушных смесей

№ п/п	Огнетушащее вещество	Флегматизирующая конц., $CH_4$ +возд.%	Флегматизирующая конц., $C_3H_8$ + возд.%
1	Азот	37	43-44
2	Двуокись углерода	24	30

В работе [205] приведены данные по флегматизирующим концентрациям для метановоздушных смесей, (см. таблицу 3.11).

Таблица 3.11 – Флегматизирующие концентрации для метановоздушных смесей

№ п/п	Огнетушащее вещество	Флегматизирующая конц., $CH_4$ +возд.%
1	Аргон	51
2	Гелий	41
3	Азот	36-37
4	Двуокись углерода	26-27
5	Водяной пар, при 100°C	43

В справочнике [176] приведены следующие данные по флегматизирующим концентрациям различных (в основном инертных) флегматизаторов, (см. таблицу 3.12).

Таблица 3.12 – Минимальные флегматизирующие концентрации для метановоздушных и пропановоздушных смесей

№ п/п	Огнетушащее вещество	Флегматизирующая конц., СН <sub>4</sub> +возд. %	Флегматизирующая Конц., С <sub>3</sub> Н <sub>8</sub> + возд. %
1	Азот	37	45
2	Двуокись углерода	24	32
3	Водяной пар	29	-
4	Аргон	51	-
5	Гелий	39	-
6	Четыреххлористый углерод	13	-
7	Хладон 114В2	-	3,2

Результаты исследований по флегматизирующей эффективности других типов флегматизаторов приводятся в целом ряде более поздних работ [206-228].

### Флегматизирующие концентрации сложных горючих смесей

Для вычисления нижнего и верхнего концентрационных пределов распространения пламени смеси нескольких паров или газов обычно используют формулу Ле-Шателье, выражающую правило смешения. В основу формулы положено предположение, что несколько смесей, находящихся на НКПР, при смешении образуют смесь, также находящуюся на нижнем пределе распространения пламени. Формула Ле-Шателье справедлива для подавляющего большинства смесей веществ, не вступающих в химическую реакцию.

Используя те же предположения, формулу Ле-Шателье можно использовать для ориентировочных расчетов флегматизирующих концентраций сложных горючих смесей:

$$\varphi_{\phi} = 100 / (\varphi_1 / \varphi_{1\phi} + \varphi_2 / \varphi_{2\phi} + \dots + \varphi_n / \varphi_{n\phi}) \quad (3.6)$$

где  $\varphi_{\phi}$  – флегматизирующая концентрация сложной горючей смеси;  $\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n$  – концентрации горючих компонентов в смеси;  $\varphi_{1\phi}, \varphi_{2\phi}, \varphi_{n\phi}$  – флегматизирующие концентрации каждого компонента в сложной смеси.

При этом:  $\varphi_1 + \varphi_2 + \dots + \varphi_n = 100\%$ .

Более точный расчет флегматизирующей концентрации сложной горючей смеси может быть произведен в соответствии с работой [229, 200].

### **Выбор и обоснование вида флегматизатора и газового огнетушащего вещества при использовании в установках газового пожаротушения и флегматизации во взрывоопасных и пожароопасных помещениях МСП**

При определении параметров системы флегматизации наиболее важным является выбор и обоснование вида применяемого флегматизирующего вещества. Как это уже отмечалось ранее, в рассматриваемой системе в качестве флегматизирующего вещества применяется газовое огнетушащее вещество (ГОВ), используемое в системе автоматического газового пожаротушения для защиты от пожара некоторых замкнутых помещений (модулей) платформы. В качестве огнетушащих веществ для тушения используются газы, перечень которых определен в своде правил [93], а именно хладон 23, хладон 227еа, хладон 125, хладон 218, хладон 318Ц, азот, аргон, инерген, двуокись углерода, шестифтористая сера.

В таблице 3.13 приведены некоторые значения стоимостных и токсикологических параметров нескольких наиболее распространенных флегматизирующих веществ. В проведенных сравнительных расчетах предполагалось, что стоимость одного 50 л. баллона с флегматизатором и запорно-пусковым устройством составляет 1500 у.е. (принято в качестве средней цены из представленных у производителей). Расчеты были проведены при тушении условного очага пожара н-гептана.

Таблица 3.13 – Стоимостные и токсикологические параметры некоторых флегматизирующих веществ

Основные данные по указанным огнетушащим веществам	Инерген IG-541 (52% азота, 40% аргона и 8% CO <sub>2</sub> )	Хладон 125	Хладон 318Ц	Хладон 227еа
Огнетушащая концентрация: %об.(объемн.) кг/м <sup>3</sup> (массов.)	36,5% 0,64	9,8% 0,56	7,8% 0,71	7,2% 0,57
Стоимость 1 кг ГОВ (у.е.)	6	~20	~26	~30
Количество ГОВ в стандартном баллоне (50л), кг	10,65	45	60	60

Основные данные по указанным огнетушащим веществам	Инерген IG-541 (52% азота, 40% аргона и 8% CO <sub>2</sub> )	Хладон 125	Хладон 318Ц	Хладон 227еа
Объем, защищаемый 1-м 50л баллон, м <sup>3</sup>	16,64	80,3	84,5	105
Удельная стоимость защиты 1м <sup>3</sup> из расчета только стоимости ГОВ, дол/м <sup>3</sup> (у.е.)	3,84	11,2	18,46	17,1
Удельная стоимость баллона с головкой в расчете на 1м <sup>3</sup> , (у.е.)	90,14	18,6	17,75	14,3
Удельная суммарная стоимость защиты 1м <sup>3</sup> (баллон + газ), (у.е.)	93,3	29,8	36,2	31,4
Токсичность: LC50, % об. NOAEL, % об. LOAEL, % об.  Общая характеристика при t~20 <sup>0</sup> С	нет данн. 43 (52*) 52 (62*)  не токс.	>70 7,5 10  сл.токс.	нет данн. нет данн. нет данн.  не токс.	>80 9 10,5  не токс.
Минимальная температура разложения с образованием высокотоксичных продуктов, <sup>0</sup> С	не разлагается	>900	550	нет данных
Загрязнение почвенных вод и влияние на эффекты потепления климата	отсутствует	низкое	высокое	низкое

Расчеты носят ориентировочный характер, однако по их результатам можно судить с известной степенью точности о тенденциях при оценке стоимости выбранных для анализа газовых средств пожаротушения.

Как показывают данные таблицы 3.3.6, наиболее дешевым среди выбранных газовых средств тушения является хладон 125 (C<sub>2</sub>F<sub>5</sub>H), стоимость защиты 1 м<sup>3</sup> помещения составляет 29,8 у.е. Необходимо отметить, что в эту стоимость не входит стоимость электротехнической аппаратуры и пожарных извещателей, а также стоимость монтажа и наладки оборудования.

Токсичность газовых огнетушащих веществ оценивается по параметрам:

– *NOAEL (No Observable Adverse Effect Level)* – концентрация вещества, при которой не наблюдается вредного или токсикологического воздействия на человека;

– *LOAEL (Lowest Observable Adverse Effect Level)* – минимальная концентрация вещества, при которой наблюдается вредное воздействие на человека;

– остаточная концентрация кислорода в помещении после выпуска ГОТВ.

Наименее токсичным огнетушащим веществом по параметрам *NOAEL* и *LOAEL* является хладон 227еа. На рисунке 3.14 представлены данные об остаточной концентрации кислорода в помещении при использовании различных ГОТВ [230].

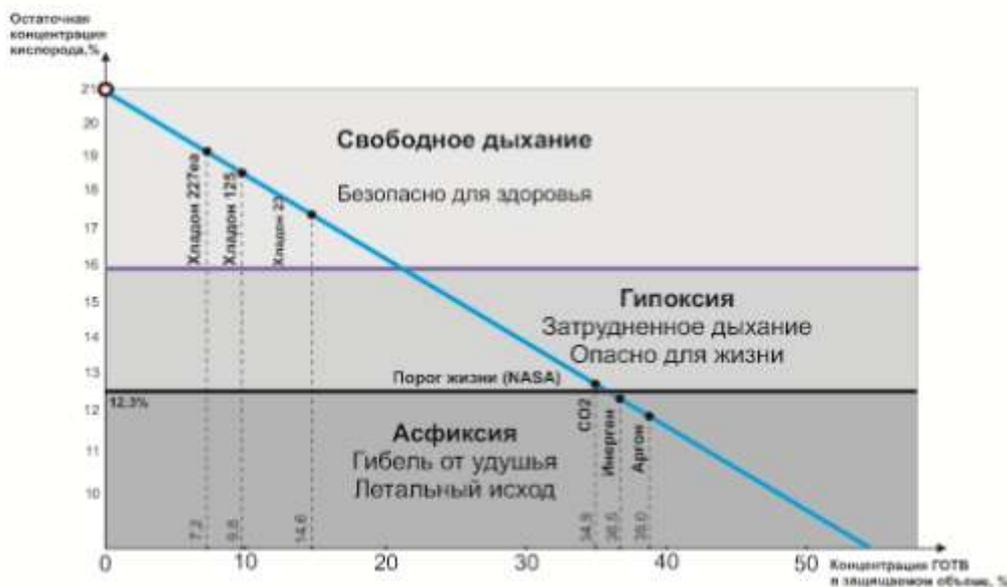


Рисунок 3.14 – Остаточная концентрация кислорода в помещении при пожаротушении различными ГОТВ

Таким образом, по данным рисунка 3.3.7 можно судить о том, что наиболее предпочтительным огнетушащим веществом также является хладон 227еа, который и будет принят в качестве ГОТВ/флегматизатора в рассматриваемой системе газового пожаротушения/флегматизации. При этом следует отметить, что выбор того или иного ГОТВ при условии, что оно удовлетворяет требованиям нормативных документов по пожарной безопасности, осуществляется для каждой конкретной МСП на этапе проектирования объекта и по усмотрению проектировщика или заказчика.

### **Обоснование времени подачи флегматизатора в защищаемый объем**

Одним из определяющих параметров процесса газового пожаротушения/флегматизации является время подачи ГОТВ. Его можно изменять путем подбора гидравлических характеристик подводящих трубопроводов и площади поперечного сечения выпускных насадков, что может быть использовано для процессов оптимизации режимов тушения/флегматизации в различных случаях.

Время подачи зависит от типа используемых ГОТВ, которые могут храниться в модулях установок газового пожаротушения как в сжатом ( $N_2$ ,  $Ar$ , Инерген), так и в сжиженном (хладоны,  $CO_2$ ) состоянии. При подаче сжиженных газов в помещение поступает сначала жидкая, а затем газовая фаза ГОТВ. По данным исследований [231, 232] время истечения жидкой фазы в 1,5 - 2 раза меньше времени истечения газовой фазы. При этом масса жидкой фазы составляет от 84 до 100% для разных веществ. Поэтому за время подачи сжиженных ГОТВ обычно принимают время истечения их жидкой фазы. Такой подход к определению времени подачи нашел отражение в отечественных и зарубежных нормативных документах [93, 203].

Кроме того, величина времени подачи обуславливается другими факторами, например, токсичностью выделяемых при горении продуктов, давлением, создаваемым в защищаемом помещении при подаче в него газового огнетушащего/флегматизирующего вещества, и т.д. В отечественном нормативном документе [93] отдельно декларируется время подачи для модульных и централизованных установок газового пожаротушения. В частности, для модульных установок на основе сжиженных газов оно составляет не более 10 с, а для централизованных установок – не более 15 с; для установок на основе сжатых газов и для модульных и для централизованных установок время подачи ограничивается временем 60 с.

Такие сравнительно малые времена подачи определяются в основном необходимостью тушения возникшего пожара как можно быстрее, так как свободное развитие пожара приводит к возрастанию температуры и количества токсичных продуктов в защищаемом помещении. При этом предполагается, что объемы помещений, защищаемых модульными или централизованными установками на основе сжиженных хладонов, не будут превышать значений 3-5 тысяч кубических метров. С другой стороны, в соответствии с [93] время подачи сжиженной углекислоты для модульных и централизованных установок не должно превышать 60 с. При таких значениях времен подачи существует возможность (и это реализуется на практике) защиты помещений размерами 15000 - 25000 м<sup>3</sup>.

Кроме того, количество сжиженного хладона, необходимого для флегматизации, например, помещения объемом 20000 м<sup>3</sup>, может составить величину более 26 тонн, и подача столь большого количества хладона за короткий промежуток времени

может привести к гидравлическому удару и разрушению трубопроводной сети установки.

Учитывая данные обстоятельства, целесообразно принимать, что время подачи хладона для осуществления флегматизации помещений МСП должно составлять значение не менее 60 с.

### **Газодинамические характеристики системы флегматизации. Изменение концентрации подаваемого флегматизирующего газового вещества в помещении.**

Для решения задачи массообмена в помещении при подаче флегматизирующего газового вещества в самом общем виде необходимо использовать дифференциальные уравнения переноса массы, энергии и движения в трехмерной и нестационарной постановке. К этому нужно добавить, что обычно помещения загромождены оборудованием, аппаратурой, элементами конструкций и другой пожарной нагрузкой. Решение такой задачи в настоящее время представляет существенную трудность ввиду отсутствия надежных данных о значениях различных физико-химических параметров, входящих в эти уравнения. Кроме того, большую сложность представляет процесс определения граничных условий на границе «газ-стенка» при контакте газовой смеси с оборудованием или конструкциями, расположенными внутри помещения. В этой связи более целесообразно в настоящее время использовать интегральные модели заполнения газовым составом объема помещения с широким привлечением экспериментальных данных. Многочисленные опытные данные показывают, что использование интегральных моделей с большой точностью соответствуют опытам, в частности, по изменениям среднеобъемных концентраций во времени при «турбулентной» подаче газового огнетушащего или флегматизирующего вещества.

Таким образом, полагаем справедливым в данном случае принять за основу модель «мгновенного» и равномерного перемешивания подаваемого огнетушащего/флегматизирующего вещества с атмосферой помещения. Практика показывает, что данная модель хорошо соответствует действительному распределению концентрации огнетушащего/флегматизирующего вещества по помещению при условии выполнения следующего условия: значение упрощенного выражения критерия Ричардсона –  $N$ , характеризующего отношение подъемных сил, развиваемых очагом горения, или

иного более легкого поступающего газа в помещение, к кинетическому напору огнетушащего/флегматизирующего газа, втекающего в помещение, должно быть менее 0,01 [232]. Критерий  $N$  при условии наличия в помещении очага горения или площади испарения можно представить в виде:

$$N = \frac{\sum F \cdot h \cdot \rho \cdot g}{\rho_i \cdot \sum F_i \cdot w^2} \quad (3.7)$$

или

$$N = \frac{\sum F \cdot W}{\rho_i \cdot \sum F_i \cdot w^2} \quad (3.7a)$$

где  $\sum F$  – суммарная площадь горящего материала или площадь испаряющейся жидкости,  $\text{м}^2$ ;  $W$  – удельная скорость испарения жидкости,  $\text{кг}/\text{м}^2 \cdot \text{с}$ ;  $\sum F_i$  – суммарная площадь выпускных отверстий трубопроводов,  $\text{м}^2$ ;  $h$  – высота пламени,  $\text{м}$ ;  $\rho$  – плотность нагретых газов, поступающих от материала,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $\rho_i$  – плотность огнетушащего (флегматизирующего) газа,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $w$  – скорость поступающего газа,  $\text{м}/\text{с}$ ;  $g$  – ускорение свободного падения,  $\text{м}/\text{с}^2$ .

Для практических оценок удобнее использовать несколько другой вид этого критерия, выраженный посредством параметра  $G_{\Phi}^0$ :

$$G_{\Phi}^0 = \frac{G_{\Phi}}{m \cdot \sum F} \quad (3.8)$$

или

$$G_{\Phi}^0 = \frac{G_{\Phi}}{G_{\text{г.г.}}} \quad (3.8a)$$

где  $m$  – скорость выгорания материала,  $\text{кг}/\text{м}^2 \cdot \text{с}$ ;  $G_{\Phi}$  – массовый расход огнетушащего газа,  $\text{кг}/\text{с}$ ;  $G_{\text{г.г.}}$  – массовый расход горючего газа,  $\text{кг}/\text{с}$ .

Произведя оценки для критерия  $N$  и  $G_{\Phi}^0$  с учетом тех же предельных значений, получим, что при значениях относительного расхода огнетушащего/флегматизирующего газа  $G_{\Phi}^0 \geq 20-100$  в защищаемом помещении будет преобладать турбулентный обмен количеством движения подаваемого газа с атмосферой помещения.

Необходимо отметить, что, исходя из значений массы газа, потребной для тушения/флегматизации в защищаемых помещениях, сравнительно малом времени подачи огнетушащего или флегматизирующего газа (10-60 с) и количестве сгоревшего

материала (или поступлении горючего газа) за период до срабатывания пожарной (довзрывной) сигнализации, можно полагать справедливым предположение о «турбулентной» подаче и, следовательно, достоверности выбранной модели тушения/флегматизации.

При этом, дифференциальное уравнение газового обмена в помещении в соответствии с работой [233] может быть записано в виде:

$$VdC = Jdt - (J + J_1) \cdot Cdt \quad (3.9)$$

где  $V$  – объем помещения,  $\text{м}^3$ ;  $C$  – текущее значение концентрации газа в помещении;  $t$  – время, с.;  $J$  – интенсивность подачи газа,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $J_1$  – объемный расход воздуха, попадающего или выходящего из помещения за счет работы принудительной вентиляции или аэрации под действием ветрового или теплового напоров, а также за счет разности плотностей газового состава и воздуха,  $\text{м}^3/\text{с}$ .

После разделения переменных и интегрирования в пределах  $t_1 = 0$ ,  $t_2 = t$  по времени и  $C_1 = C_0$ ,  $C_2 = C$  по концентрации получим:

$$C = C_0 e^{-\left[\frac{t(J+J_1)}{V}\right]} + \frac{J}{(J+J_1)} \cdot \left[1 - e^{-\left[\frac{t(J+J_1)}{V}\right]}\right] \quad (3.10)$$

Обычно, величина  $C_0 = 0$  и уравнение (3.3.5) можно представить в виде:

$$C = \frac{J}{(J+J_1)} \cdot \left[1 - e^{-\left[\frac{t(J+J_1)}{V}\right]}\right] \quad (3.11)$$

Разбавление атмосферы помещения после окончания подачи газа ( $J=0$ ) будет описываться уравнением:

$$C = C_k e^{-\left[\frac{tJ_1}{V}\right]} \quad (3.12)$$

где  $C_k$  – концентрация в конце подачи газового состава.

Так как уравнение (3.12) является трансцендентным и не имеет прямого математического решения, то целесообразно рассмотреть различные случаи, позволяющие упростить решение и в тоже время с большой точностью соответствующие реальному изменению параметров при вентиляции помещения. В частности, возможны следующие случаи:

–  $J \gg J_1$ , т.е. влиянием разбавления атмосферы помещения за счет  $J_1$  можно пренебречь;

– значение  $J$  сопоставимо с  $J_1$ , т. е. подача газа в помещение происходит при работающей вентиляции.

Необходимо отметить, что первое условие соответствует наиболее часто встречающемуся на практике случаю, т.к. при подаче газового состава в помещение система принудительной вентиляции обычно отключается (в соответствии с требованиями нормативных документов), а поступление воздуха в помещение за счет аэрации через имеющиеся проемы в течение времени подачи ГОТВ пренебрежимо мало. В этом случае уравнение (3.12) принимает вид:

$$C = 1 - e^{-\left(\frac{tJ}{V}\right)} \quad (3.13)$$

При необходимости поддержания огнетушащей/флегматизирующей концентрации в помещении в течение промежутка времени  $t_2$  влиянием изменения  $J_1$  пренебрегать нельзя. В этом случае необходимо подавать дополнительное количество газа с тем, чтобы компенсировать утечку газа из помещения через проемы или притока воздуха от работающей вентиляции. Интенсивность дополнительной подачи газа (подпитки) может быть определена по уравнению:

$$\dot{f} = \left[ \frac{C_0}{(1-C_0)} \right] \cdot J_1 \quad (3.14)$$

где  $C_0$  – концентрация газа, которую необходимо поддерживать в течение заданного времени,  $\dot{f}$  – интенсивность дополнительной подачи газа для компенсации разбавления атмосферы за счет утечек или работающей принудительной вентиляции.

Обеспечение пожаробезопасной (взрывобезопасной) концентрации в течение промежутка времени  $t_2$  может быть также осуществлено созданием начальной избыточной концентрации газа  $C_k$ , с тем, чтобы к концу этого промежутка времени содержание газового состава в помещении было не ниже огнетушащей/флегматизирующей концентрации  $C_{оф}$ .

Расчетная формула для определения начальной концентрации имеет вид:

$$C_k = C_0 \cdot e^{-\left(t_2 \cdot \frac{J_1}{V}\right)} \quad (3.15)$$

При использовании газовых составов тяжелее воздуха утечка газа из помещения в основном обуславливаются разностью плотностей газового состава и окружающего воздуха, размерами неплотностей и высотой их расположения. В работе [233] рассмотрена модель утечки газового состава тяжелее воздуха, предварительно равно-

мерно перемешанного с воздухом в помещении, через прямоугольный проем с определенными размерами по высоте и ширине. При этом объемный расход вытекающего состава определяется по формуле:

$$J_{CM} = b \cdot V \cdot \left[ \frac{\delta\rho \cdot C}{\rho_0 + \delta\rho \cdot C} \right]^{0.5} \quad (3.16)$$

Величина параметра  $b$  характеризует удельную негерметичность помещения и определяется по формуле:

$$b = 2.36 \cdot \frac{[\varphi \cdot F \cdot (2 \cdot g \cdot H)^{0.5}]}{V} \quad (3.17)$$

где:  $\rho_0$  – плотность наружного воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  $\varphi$  – коэффициент истечения отверстия;  $g$  – ускорение силы тяжести, м/с<sup>2</sup>;  $F$  – площадь проема, м<sup>2</sup>;  $\delta\rho$  – разность плотностей подаваемого в помещение газа и окружающего воздуха, кг/м<sup>3</sup>.

Соотношение между плотностями имеет вид:

$$\rho_{CM} = \rho_0 + (\rho_C - \rho_0) \cdot C = (\rho_0 + \delta\rho) \cdot C \quad (3.18)$$

На основании этих зависимостей при известных величинах  $b$  и  $C$  можно определять потери огнетушащего состава ( $J_{CM}$ ), которые необходимо учитывать при выборе нормативных параметров установки пожаротушения.

Необходимо отметить, что параметр  $b$  может быть рассчитан аналогичным образом и в случае наличия нескольких проемов [233].

#### Расчет параметров системы флегматизации

Временные параметры системы флегматизации во многом определяются временем отключения (перекрытия) трубопроводов, соединенных с технологическим оборудованием, содержащим горючие газы или жидкости, из которого возможен аварийный выход горючих азотистых жидкостей в защищаемые помещения МСП.

В частности, при категорировании помещений по взрывопожарной и пожарной опасности расчетное время отключения трубопроводов принимается согласно паспортным данным установок, если вероятность отказа технологической системы автоматики не превышает  $10^{-6}$  год<sup>-1</sup> или обеспечено резервирование ее элементов.

Расчетное время принимается 120 с, если вероятность отказа технологической системы автоматики превышает  $10^{-6}$  год<sup>-1</sup> и не обеспечено резервирование ее элементов.

Расчетное время отключения трубопроводов принимается 300с при ручном отключении.

Для апробации применения рассматриваемой системы предполагается следующее:

- расчетное время отключения трубопроводов составляет 120 с [39] (т.е. прекращение поступления горючего вещества в помещение происходит через промежуток времени, не превышающий 120 с);
- с определенным запасом надежности предполагаем, что в течение 120 с расход равномерно снижается с максимального значения до нуля и может быть аппроксимирован в виде:

$$G = \begin{cases} G_{\max}, & \text{при } 0 < t < 60 \text{ с} \\ 0, & \text{при } 60 < t < 120 \text{ с} \end{cases}$$

В этой связи, предельное значение объемного расхода горючего газа или пара испаряющейся горючей жидкости в соответствии с формулой (3.3) будет составлять:

$$J_{Г.Г.} = -\frac{V}{t_3} \cdot \ln(1 - C_{Г.Г.}) \quad (3.19)$$

где  $J_{Г.Г.}$  – объемный расход поступающего в помещение горючего газа или пара горючей жидкости, м<sup>3</sup>/с;  $V$  – объем помещения, м<sup>3</sup>;  $t_3$  – заданное время поступления газа или пара, с;  $C_{Г.Г.}$  – предельное значение концентрации горючего газа или пара горючей жидкости, равное нижнему концентрационному пределу распространения пламени газа или пара, об. доли.

Объемный расход флегматизирующего газа можно определить по формуле:

$$J_{\Phi} = -\frac{V}{t_{\Phi}} \cdot \ln(1 - C_{\Phi}) \quad (3.20)$$

где:  $J_{\Phi}$  – объемный расход флегматизатора м<sup>3</sup>/с;  $C_{\Phi}$  – флегматизирующая концентрация флегматизатора, об. доли;  $t_{\Phi}$  – время подачи флегматизатора, с.

Массовые расходы горючего газа или пара можно определить по формулам:

$$G_{Г.Г.} = J_{Г.Г.} \cdot \rho_{Г.Г.} \quad (3.21)$$

$$G_{\Phi} = J_{\Phi} \cdot \rho_{\Phi} \quad (3.22)$$

где  $\rho_{Г.Г.}$ ,  $\rho_{\Phi}$  – соответственно, плотности горючего газа (пара), флегматизатора, кг/м<sup>3</sup>.

Количество флегматизатора и горючего газа, вытекающих из отверстий, предусмотренных для сброса давления, можно определить по формулам (3.16-3.17).

### Оценка обеспечения условий флегматизации помещений МСП

Формула (3.19) позволяет определить предельные значения расходов поступающих в помещение горючих газов и паров, при которых горючая газопаровоздушная смесь может быть зафлегматизирована расчетным количеством флегматизатора, определяемым по формуле (3.20), при заданной величине времени флегматизации. Критерием обеспечения условий флегматизации газопаровоздушных смесей является непревышение расходных характеристик газа или пара горючей жидкости, поступающих в объем защищаемого помещения из разгерметизированного оборудования, предельных значений.

Ниже в качестве примера проведена оценка возможности обеспечения данного условия для ряда помещений типовой морской стационарной платформы. В качестве горючих веществ рассматриваются нефть и попутный газ, состоящий, в основном, из метана.

При выборе «расчетных» помещений руководствовались их размерами, а также наиболее высокими значениями параметров производящихся в них технологических операций (давление, температура и др.).

Оценка возможных расходов, выбрасываемых в помещения нефти или попутного газа (метана), проводилась из следующих соображений.

**Утечка нефти.** Нефть является сложной смесью нескольких тысяч химических соединений, большинство из которых – это комбинации атомов углерода и водорода. Каждое из этих соединений характеризуется собственной температурой кипения, что является важнейшим физическим свойством нефти, влияющим на ее пожаровзрывоопасность.

Площадь пролива нефти при разгерметизации технологического оборудования является одним из основных параметров, характеризующих уровень пожаровзрывоопасности, поскольку она определяет количество паров нефти, поступающих при испарении пролива в объем помещения.

При проливе жидкости на горизонтальную неограниченную поверхность площадь пролива обычно определяется по формуле:

$$F_{np} = f_p \cdot V_{жс} \quad (3.23)$$

где  $F_{np}$  – площадь пролива, м<sup>2</sup>;  $f_p$  – коэффициент разлития, м<sup>-1</sup>;  $V_{жс}$  – объем жидкости, поступающей в окружающее пространство при разгерметизации оборудования, м<sup>3</sup>.

При проливе нефти в помещение площадь пролива может достигать всей площади помещения.

Массовый расход паров нефти в помещение можно оценить по соотношению:

$$G_n = W \cdot F_{np} \quad (3.24)$$

где  $G_n$  – массовый расход паров нефти, кг/с;  $W$  – интенсивность испарения нефти, кг/(м<sup>2</sup>·с).

Интенсивность испарения  $W$  при отсутствии ветра над поверхностью пролива может быть определена по выражению [66]:

$$W = 10^{-6} \cdot \sqrt{M} \cdot P_n \quad (3.25)$$

где  $M$  – молярная масса жидкости, кг/кмоль;  $P_n$  – давление насыщенного пара при расчетной температуре жидкости, кПа.

Интенсивность испарения нефти одного из месторождений континентального шельфа России ( $M = 199$  кг/кмоль,  $P_n = 67$  кПа), оцененная по формуле (3.25), составляет  $W = 0,945 \cdot 10^{-3}$  кг/(м<sup>2</sup>·с).

В работе [234] по результатам полигонных экспериментов получена величина интенсивности испарения нефти равная  $1,0 \cdot 10^{-3}$  кг/(м<sup>2</sup>·с). Это значение  $W$  будет использовано в дальнейших расчетах.

#### Утечка газа

При оценке расходных характеристик газа, выбрасываемого из разгерметизированного оборудования в объем помещения, принято с определенным запасом надежности, что в течение времени 60 с после начала выброса давление в оборудовании не изменяется и скорость истечения газа равна критической.

Тогда формула для расчета массового расхода газа будет иметь вид [66]:

$$G_2 = \mu \cdot A \cdot \sqrt{P_v \cdot \rho_v \cdot \gamma \cdot \left(\frac{2}{\gamma+1}\right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma-1}}} \quad (3.26)$$

где  $G_2$  – массовый расход газа, кг/с;  $P_v$  – давление газа в оборудовании, Па;  $\rho_v$  – плотность газа в оборудовании при давлении  $P_v$ , кг/м<sup>3</sup>;  $A$  – площадь отверстия истечения, м<sup>2</sup>;  $\mu$  – коэффициент истечения (принимается равным 0,8);  $\gamma$  – показатель адиабаты газа.

Выражение для плотности  $\rho_v$  можно записать следующим образом:

$$\rho_v = \rho_o \cdot \frac{P_v}{P_o} \cdot \frac{T_o}{T_v} \quad (3.27)$$

где  $T_v$  – температура газа в оборудовании, К;  $T_o$  – температура равная 293 К;  $P_o$  – атмосферное давление  $10^5$  Па;  $\rho_o$  – плотность газа при давлении  $P_o$  и температуре  $T_o$ .

Подставляя (3.3.21) в (3.3.22) и принимая для метана  $\rho_o = 0,716$  кг/м<sup>3</sup>,  $\gamma = 1,2$ , можно получить следующую формулу для оценки массового расхода газа:

$$G_z = 2,377 \cdot 10^{-2} \cdot A \cdot P_v \sqrt{\frac{1}{T_v}} \quad (3.28)$$

Данная формула использована в дальнейших расчетах.

**Оценка расходных характеристик.** В настоящей работе рассматривались представленные ниже наиболее характерные помещения.

1. Помещение технологической зоны. Это помещение наибольшее из всех рассматриваемых помещений, в которых аварии связаны в основном с выбросом нефти. Объем помещения составляет 20905 м<sup>3</sup>.

Для данного помещения согласно формуле (3.3.14) предельная массовая скорость поступления паров нефти при испарении из пролива составит  $G_z^{пред} = 11,5$  кг/с.

По формуле (3.3.15) можно оценить расчетное количество флегматизатора. В качестве огнетушащего/флегматизирующего вещества принят хладон 227ea, флегматизирующая концентрация которого принята равной 15,5 % (об).

Тогда требуемый объемный расход флегматизатора для флегматизации предельного поступления паров нефти в помещение составит:

$$J_\phi = -\frac{20905}{60} \cdot \ln(1 - 0,155) = 58,65 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Массовый требуемый расход флегматизатора составит:

$$G_\phi = J_\phi \cdot \rho_\phi = 58,65 \cdot 7,28 = 427 \text{ кг/с}.$$

Площадь данного помещения составляет 2980 м<sup>2</sup>. Если гипотетически предположить, что при выбросе в аварийной ситуации нефть разольется по всей данной площади, то поступление паров в помещение будет происходить с расходом  $1,0 \cdot 10^3 \cdot 2980 = 2,98$  кг/с, что существенно меньше предельной скорости поступления паров для этого помещения. Это говорит о том, что система флегматизации паров нефти обеспечит флегматизацию защищаемого объема при времени подачи флегматизатора 60 с, заложенного в формулу (3.3.15).

Поскольку площадь помещения технологической зоны самая большая из всех защищаемых установкой флегматизации, то следует ожидать, что условие флегматизации паров нефти будет выполнено и для всех остальных помещений платформы.

2. Помещение технологической зоны. В данном помещении может быть выброс как нефти, так и газа.

Согласно формуле (3.3.14) предельный массовый расход поступающего газа (метана) для данного помещения составит  $G_r^{\text{пред}} = 10,95$  кг/с.

При определении возможного расхода газа в помещение при аварии рассмотрено истечение его из аминового контактора высокого давления. Эквивалентный диаметр отверстия истечения принят 10 мм как наиболее вероятный согласно [162, 163]. Максимальное давление, при котором находится попутный газ в аминовом контакторе высокого давления, составляет 795 кПа, температура 30 °С.

Согласно формуле (3.26), можно получить значение  $G_r^{(10)} = 0,0852$  кг/с, что гораздо меньше предельного расхода.

Можно оценить максимально допустимое значение эквивалентного диаметра истечения газа, при котором выполняется условие  $G_r \leq G_r^{\text{пред}}$ . Максимально допустимый эквивалентный диаметр отверстия истечения можно определить по соотношению:

$$d_{\text{мд}} = d_{(10)} \cdot \sqrt{\frac{G_r^{\text{пред}}}{G_r^{(10)}}} \quad (3.29)$$

Подставляя в выражение (3.3.22) полученные выше значения, можно получить  $d_{\text{мд}} = 113$  мм.

Таким образом, условие обеспечения флегматизации для данного помещения выполняется практически для всех принимаемых при оценках рисков эквивалентных диаметрах истечения попутного газа из аминового контактора высокого давления.

3. Помещение технологического оборудования. Данное помещение характеризуется небольшим объемом в сравнении с помещениями других зон платформы, а также высокими параметрами технологического процесса, так как в этом помещении установлены компрессоры системы компримирования и подготовки попутного газа.

Объем помещения равен  $2950 \text{ м}^3$ . По формуле (3.19) можно получить предельный расход попутного газа, выбрасываемого в помещение:  $G_{\Gamma}^{\text{пред}} = 1,6 \text{ кг/с}$ .

Для оценки возможного расхода газа в помещение при аварии рассмотрено его истечение из компрессора высокого давления из наиболее вероятного эквивалентного диаметра отверстия истечения равного  $10 \text{ мм}$ . Давление компремирования составляет  $2870 \text{ кПа}$ , температура газа  $160 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Подстановка этих исходных параметров в формулу (3.28) позволяет получить расход газа  $G_{\Gamma}^{(10)} = 0,257 \text{ кг/с}$ , что меньше предельного расхода для данного помещения. Оценка максимально допустимого эквивалентного диаметра истечения, при котором выполняется условие  $G_{\Gamma} \leq G_{\Gamma}^{\text{пред}}$  по формуле (3.3.24) дает  $d_{\text{мд}} = 25 \text{ мм}$ .

Таким образом, достижение условий флегматизации для данного помещения может быть выполнено при эквивалентных диаметрах истечения, не превышающих  $25 \text{ мм}$ . Поскольку данный диапазон диаметров утечек по статистическим данным с большой степенью вероятности охватывает утечки, происходящие при эксплуатации оборудования, то можно заключить, что даже при таких «жестких» для флегматизации условиях она с большой степенью вероятности может быть достигнута для рассмотренного помещения при подаче флегматизатора в течение  $60 \text{ с}$ .

Вместе с тем, при проектировании и эксплуатации платформы следует оказывать повышенное внимание обеспечению герметичности технологического оборудования, установленного в данном и подобным ему помещениям, с тем, чтобы уменьшить до минимума вероятность разгерметизации оборудования с более высокими значениями диаметров отверстий утечек.

4. Помещение технологического оборудования. Данное помещение имеет наименьшие размеры по сравнению с аналогичными помещениями, в которых осуществляется компремирование попутного газа.

Давление газа на входе охладителя на нагнетательной линии компрессора высокого давления составляет  $2750 \text{ кПа}$ , температура  $160 \text{ }^\circ\text{C}$ . Производя расчеты по вышеприведенным формулам, можно для данного помещения получить:

$$G_{\Gamma}^{\text{пред}} = 0,884 \text{ кг/с};$$

$$G_{\Gamma}^{(10)} = 0,257 \text{ кг/с};$$

$d_{\text{мд}}=18$  мм.

Из полученных результатов можно сделать вывод, что для данного помещения условие обеспечения флегматизации будет выполнено при эквивалентных диаметрах утечек газа, не превышающих 18 мм. Поскольку данный диаметр утечек попадает в диапазон наиболее вероятных отверстий при аварийных утечках газа из оборудования, то можно заключить, что на практике с большой степенью вероятности условие флегматизации будет выполнено. Вместе с тем, для данного помещения также необходимо предъявлять повышенные требования к обеспечению герметизации оборудования.

Рассмотренный пример организации системы АГПТ/флегматизации и определение параметров такой системы показывает, как с помощью флегматизации горючей ГПВС осуществляется предотвращения пожара, а сама система АГПТ/флегматизации является одним из барьеров безопасности, и может служить средством управления пожарным риском.

### 3.3.2.2 Организационные барьеры безопасности

Проектируя технические барьеры, не следует пренебрегать организационными барьерами, связанными, например, с обслуживанием той или иной системы безопасности на стадии эксплуатации объекта. Анализ причин возникновения аварийных ситуаций с пожарами и взрывами подтверждает, что правильно установленная система безопасности с верно заданными параметрами зачастую дает отказ не из-за ошибок проектирования, а из-за ненадлежащего технического обслуживания.

Для освоения Российского шельфа в настоящее время обсуждается применение платформ с наличием резервуаров для хранения подготовленной пластовой продукции (нефти или газового конденсата (ГК)).

Пожары в резервуарах в большинстве случаев начинаются со взрыва паровоздушной смеси в газовом пространстве резервуара и разрушения конструкции резервуара. Для предотвращения образования горючей смеси паров ГК с воздухом могут быть использованы различные способы, в том числе система флегматизации паровоздушного пространства в резервуаре. Пространство над поверхностью ГК заполняется флегматизирующим составом, образующим предохранительную «подушку» над поверхностью ГК, которая ограничивает доступ кислорода воздуха. Одной из причин образования го-

ручей газопаровоздушной смеси внутри резервуара, как это показано на диаграмме, может быть отказ указанной системы.

Барьерами безопасности на пути развития аварийной ситуации по данной ветви являются:

- проектирование системы флегматизации на высоком профессиональном уровне (правильность принятых технических решений);
- надежность поставщика системы (соблюдение стандартов изготовления, применяемых материалов, сертификаты и т.д.);
- соблюдение стандартов при монтаже системы и положительные результаты пуско-наладочных испытаний;
- своевременное и качественное техническое обслуживание системы;
- и др.

Одним из последствий образования ГПВС внутри резервуара является взрыв этой смеси внутри резервуара и последующее распространение аварии на соседнее оборудование и повреждение конструкций МСП. Барьерами безопасности на пути развития аварийной ситуации в этом случае являются:

- предупреждение воспламенения ГПВС с помощью различных способов;
- система подавления взрыва;
- ограниченный доступ персонала для проведения пожароопасных работ;
- проектирование резервуаров и конструкций МСП (правильность принятых технических решений);
- план действий при аварии.

Примером взаимосвязи технических и организационных барьеров безопасности может служить диаграмма «галстук-бабочка», построенная для одного из самых опасных событий на такой морской платформе – взрыва газопаровоздушной смеси внутри резервуара с газовым конденсатом (рисунок 3.15).



### **3.3.3 Особенности обеспечения процесса эвакуации на морских платформах.**

#### **Временные убежища.**

Настоящий раздел посвящен вопросам определения и выявления особенностей обеспечения эвакуации людей при пожаре на эксплуатирующихся платформах, анализу требований существующих зарубежных и отечественных нормативных документов, регламентирующих процесс эвакуации людей при пожаре, гармонизации этих требований, разработке комплекса универсальных минимально-необходимых требований к эвакуации людей при пожаре.

#### **Основные принципы обеспечения эвакуации людей при пожаре на морских стационарных платформах**

При возникновении аварийных ситуаций с пожаром и/или взрывом для обеспечения безопасности жизни и здоровья персонала (или в общем случае, любого человека, подверженного воздействию опасных факторов пожара и/или взрыва) следует предусматривать систему эвакуации и спасения персонала.

В зарубежной литературе [235-238] описывается идеология обеспечения безопасной эвакуации с помощью создания на платформе общей системы «*EER*» (*Escape, Evacuation, Rescue*), дословный перевод звучит как «Выход, Эвакуация и Спасение» соответственно. Рассматривая систему эвакуации и спасения людей на морских объектах нефтегазового комплекса (систему *EER*) документов [235-238] и российские подходы к обеспечению безопасной эвакуации [20, 181], следует отметить наличие существенных различий в терминологии между иностранными и отечественными нормативными документами.

В таблице 3.14 представлены примеры различий в терминологии иностранных и российских нормативных документов.

Таблица 3.14 – Терминология иностранных и российских нормативных документов в области обеспечения эвакуации с МСП

Термин и определение из иностранных нормативных документов и других источников		Соответствующий термин и определение российских нормативных документов	
Термин	Определение	Термин	Определение
Escape (пер. с англ. «Выход, спасение, побег, эвакуация и др.»)	<i>ISO 19906:2010:</i> Перемещение персонала в случае возникновения опасной ситуации из опасной зоны в другие места на платформе, где опасность отсутствует или существенно снижена.	Эвакуация	<i>ФЗ-123:</i> Процесс организованного самостоятельного движения людей непосредственно наружу или в безопасную зону из помещений, в которых имеется возможность воздействия на людей опасных факторов пожара.
	<i>Atlantic Canada Offshore Petroleum Industry Escape, Evacuation and Rescue, Guide:</i> Процесс перемещения из опасной зоны в зону безопасности. Обычно этот процесс связан с перемещением людей из мест, в которых они находятся в момент срабатывания сигнала системы оповещения, в место сбора, как правило, расположенное во временном убежище, и далее к местам размещения средств эвакуации.		
Evacuation (пер. с англ. «Эвакуация, вывод, освобождение и др.»)	<i>ISO 19906:2010:</i> Превентивное перемещение персонала с платформы (из пункта сбора или из временного убежища) в условиях чрезвычайной ситуации за ее пределы на безопасное расстояние (учетом возможности эскалации аварии)	«Покидание» или «эвакуация с МСП»	-
	<i>Atlantic Canada Offshore Petroleum Industry Escape, Evacuation and Rescue, Guide:</i> Отправление/отход персонала от установки в момент, когда нахождение персонала на установке перестает быть безопасным.		
Rescue (пер. с англ. «Спасение, освобождение и др.»)	<i>ISO 19906: 2010:</i> Мероприятия по перемещению людей, оказавшихся в море или на льду (непосредственно или в спасательном средстве), в такое место, где обеспечена их безопасность и где в случае необходимости им может быть оказана медицинская помощь.	Спасение (спасание)	СП 1.13130.2009: Спасение представляет собой вынужденное перемещение людей наружу при воздействии на них опасных факторов пожара или при возникновении непосредственной угрозы этого воздействия. Спасение осуществляется самостоятельно, с помощью пожарных подразделений или специально обученного персонала, в том числе с использованием спасательных средств, через эвакуационные и аварийные выходы.
	<i>Atlantic Canada Offshore Petroleum Industry Escape, Evacuation and Rescue, Guide:</i> Процесс перемещения эвакуированных людей в безопасное место после завершения процесса эвакуации, например из спасательной шлюпки на спасательное судно. Этот этап процесса EER является завершающим, когда персонал перемещен из опасной зоны в безопасную зону, где доступна медицинская помощь.		

Анализируя определения, которые приводятся к вышеупомянутым терминам в зарубежной литературе, можно сделать вывод о том, что помимо очевидных различий, для некоторых иностранных терминов в российской нормативной базе в принципе нет аналогий. При рассмотрении вопросов эвакуации и спасения персонала МСП представляется в дальнейшем использовать представленные ниже термины и определения.

Для иностранного термина *«escape»* целесообразно применять термин «эвакуация» и вместе с этим термином использовать термины «путь эвакуации», «эвакуационный выход», представленные в [20].

Для иностранного термина *«evacuation»* целесообразно ввести термин «покидание» – превентивное перемещение персонала с платформы (из пункта сбора, временного убежища или мест высадки) в условиях аварийной ситуации за ее пределы на безопасное расстояние (с учетом возможности эскалации аварии). Покидание представляет собой процесс организованного перемещения персонала с платформы на водную поверхность, лед или спасательное судно путем использования специально предназначенных для этой цели плавательных средств либо других технических устройств и/или на берег с помощью вертолета при возникновении на платформе чрезвычайной ситуации, в которой иным способом невозможно обеспечить безопасность нахождения персонала на платформе имеющимися силами и средствами.

По аналогии с термином «эвакуационный путь» целесообразно ввести термин «путь покидания» – направление движения и (или) перемещения людей, ведущее на водную поверхность, лед или спасательное судно с использованием специально предназначенных для этой цели плавательных средств либо других технических устройств и/или на берег с помощью вертолета, удовлетворяющее требованиям безопасного покидания людьми платформы при пожаре.

Для иностранного термина *«rescue»* целесообразно использовать термин «спасение» – совокупность организационно-технических мероприятий при чрезвычайных ситуациях, направленных на обеспечение жизни и здоровья людей на морской стационарной платформе и вокруг неё. В документе [239] описывается «спасение», как действия, проводимые с целью обеспечения сохранности жизни и здоровья людей, находящихся в здании, сооружении или на наружной установке при пожаре. Для

МСП следует дать определение к термину «спасение», которое подразумевает проведение определенных действий, как на самой платформе (например, при невозможности самостоятельной эвакуации человека из какой-либо зоны МСП), так и в море вблизи нее, после завершения процесса покидания. Таким образом, спасение – вынужденное принудительное перемещение людей из зоны, в которой они могут быть подвержены воздействию факторов опасности (опасных факторов пожара, опасных факторов нахождения в море или на льду (воздействие волн, низких температур воды или воздуха и др.)). Спасение осуществляется самостоятельно, с помощью пожарных подразделений или специально обученного персонала, в том числе с использованием спасательных средств, через эвакуационные и аварийные выходы.

Обеспечение безопасной, своевременной эвакуации при возникновении аварийной ситуации на МСП достигается, за счет организации и функционирования системы оповещения и управления эвакуацией (СОУЭ) людей при пожаре. После подачи сигнала СОУЭ персонал платформы должен приступить к эвакуации, для обеспечения которой на МСП должно быть предусмотрено необходимое количество эвакуационных выходов и путей эвакуации. К параметрам эвакуационных выходов и путей эвакуации предъявляются определенные требования, выполнение которых позволяет достичь необходимого уровня безопасности. На некоторых платформах выделяется главный эвакуационный путь – эвакуационный тоннель, на который предусмотрены пути и выходы из всех помещений платформы. Эвакуационный тоннель может располагаться по периметру, вдоль центральной оси верхнего строения МСП или другим способом в зависимости от конкретных особенностей каждого объекта. Во всех случаях эвакуационный тоннель приводит в безопасную зону.

Под безопасной зоной в данном контексте понимается зона, в которой люди защищены от воздействия опасных факторов пожара или в которой опасные факторы пожара отсутствуют, либо не превышают предельно допустимых значений [20]. В качестве безопасной зоны на МСП выделяются отдельные помещения или группа помещений, называемые временным убежищем (ВУ), к которому также предъявляется ряд требований, обеспечивающих безопасность персонала МСП в течение определенного промежутка времени.

Временное убежище чаще всего размещается в жилом модуле. В зависимости от особенностей конкретных проектов, на МСП может предусматриваться несколько ВУ (основное и промежуточные). Встречаются проекты многоблочных платформ, когда нефтедобывающая платформа (основного производства) и платформа жилого модуля с временным убежищем расположены отдельно друг от друга в море на безопасном расстоянии и соединены между собой переходным мостом. ВУ, как правило, оборудовано системами энергоснабжения, жизнеобеспечения, средствами контроля, управления и связи. После того, как персонал эвакуировался во ВУ, специально уполномоченным персоналом платформы в зависимости от обстановки на объекте и в соответствии с разработанными планами и инструкциями принимается решение о дальнейших действиях. В случае, когда нахождение персонала на установке перестает быть безопасным и/или аварийная ситуация выходит из-под контроля, принимается решение о покидании МСП.

Процесс покидания персоналом МСП состоит из двух этапов:

- I этап - перемещение персонала из ВУ к местам покидания - местам высадки в спасательные средства;
- II этап - непосредственное перемещение персонала за пределы МСП с помощью спасательных средств на безопасное расстояние, как правило, на берег.

### **Основные требования пожарной безопасности к путям эвакуации и временным убежищам для морских стационарных нефтегазодобывающих платформ**

В результате проведения анализа нормативных документов, в которых представлены требования к путям эвакуации и временным убежищам для морских стационарных платформ, в настоящей работе были разработаны основные требования по пожарной безопасности путей эвакуации и временных убежищ. Здесь следует отметить, что часть разработанных требований вошла в ГОСТ Р 55998-2014 «Нефтяная и газовая промышленность. Морские добычные установки. Эвакуационные пути и временные убежища. Основные требования», на стадии подготовки которого автором диссертационной работы были направлены предложения в адрес организации-разработчика указанного стандарта.

Ниже представлены основные требования по пожарной безопасности, которые следует предъявлять к путям эвакуации и временным убежищам.

Эвакуационные пути должны обеспечивать безопасную эвакуацию всех людей, находящихся на платформе, во временное убежище и к местам покидания платформы. Количество эвакуационных выходов с каждой палубы платформы определяется расчетом, но должно быть не менее двух.

Количество эвакуационных выходов с каждого этажа (уровня, яруса) бурового комплекса, технологической зоны и зоны жилого модуля также определяется расчетом (но не менее двух).

Для производственных помещений в случае, когда от наиболее удаленного рабочего места в помещении, не относящемся к категории А или Б, расстояние до выхода не превышает 25 м и в помещении находится не более 5 человек или пребывание людей носит кратковременный и нерегулярный характер (ремонт, замена оборудования), допускается устройство одного эвакуационного выхода.

Один эвакуационный выход допускается также через помещения категорий А и Б из помещений на том же этаже (ярусе), где размещено инженерное оборудование для обслуживания указанных помещений и исключено постоянное пребывание людей, если расстояние от наиболее удаленной точки помещения с инженерным оборудованием до эвакуационного выхода из помещений категорий А и Б не превышает 25 м.

В местах, предусмотренных для нахождения персонала, расстояния между оборудованием, а также от оборудования до стен и дверных проемов должно обеспечивать беспрепятственный выход персонала из помещений при возникновении аварии или пожара.

Длина тупиковых коридоров на платформе не должна превышать 5 м.

Допускается наличие одного выхода (двери) из помещений для проживания персонала платформы (кают), а также из помещений, где одновременно возможно пребывание не более 15 человек.

Ширина путей эвакуации в свету должна быть не менее 1,2 м, а высота – не менее 2,2 м. Ширина проемов эвакуационных выходов в свету должна быть не менее 0,8 м, а высота – не менее 2 м.

Ширина проходов к местам посадки в спасательные плавсредства должна быть не менее 1,5 м.

Ширину путей эвакуации из помещений, в которых предусмотрено постоянное присутствие не более 5 человек, допускается уменьшать до 1 м. Возможность сужения путей эвакуации должна быть обоснована расчетами пожарного риска.

Лестничные марши должны иметь ширину в свету не менее 1,2 м при лестничных площадках шириной не менее 1,5 м.

В зоне бурения допускается использование путей эвакуации со следующими параметрами. Ширина внутренних путей эвакуации через пол буровой не может быть менее 1,2 м и менее 1 м для площадок обслуживания. Ширина в свету эвакуационных лестничных проемов должна быть не менее 1,2 м при минимальной ширине площадок 1,5 м.

Высота прохода может быть снижена до 2 м для помещений, где не предусмотрено постоянное присутствие персонала в ходе буровых работ.

В жилом модуле двери жилых помещений необходимо выполнять открывающимися внутрь помещений, а в общественных – наружу или в обе стороны, если в помещении возможно одновременное пребывание 15 и более человек.

Двери помещений кладовых площадью не более 200 м<sup>2</sup> и санитарных узлов допускается проектировать открывающимися внутрь помещений.

При расположении дверных проемов в жилом модуле напротив друг друга открывание дверных полотен не должно допускать их взаимное перекрывание.

Эвакуационные пути необходимо располагать так, чтобы различные сооружения и конструкции платформы обеспечивали защиту эвакуирующихся людей от теплового воздействия пожара.

Пути эвакуации и места посадки в спасательные плавсредства, включая средства спуска на воду, а также соответствующая акватория морской поверхности (при подготовке и спуске на воду) должны быть обеспечены основным и аварийным освещением.

Аварийное освещение и люминесцентные знаки указания направления движения следует предусматривать по всему пути эвакуации. При этом указанные знаки необходимо размещать в местах, доступных для визуального наблюдения.

Участки путей эвакуации к спасательным средствам, не защищенные строительными конструкциями или оборудованием платформы от теплового воздействия пожара, должны быть защищены со стороны очага возможного пожара водяными завесами.

Для безопасного сбора персонала при возникновении в производственной зоне платформы пожароопасной аварийной ситуации или пожара на платформе должно быть предусмотрено временное убежище, в котором персонал может находиться в течение времени, необходимого для того, чтобы пожар был ликвидирован, или до окончания покидания персоналом платформы, но не менее двух часов.

Временное убежище следует оборудовать необходимыми системами жизнеобеспечения. Оно должно быть рассчитано на максимальное количество постоянно присутствующего и временного персонала на платформе.

Временное убежище следует обеспечить:

- средствами управления установками пожаротушения, системами обнаружения пожаров и газов, аварийным освещением и аварийной связью;
- системами контроля и управления основным технологическим оборудованием, радиорубкой и аппаратными средствами связи, автономными системами вентиляции и кондиционирования воздуха, а также аварийным энергоснабжением;
- шкафами для размещения спасательных костюмов и спасательных жилетов, средств индивидуальной защиты органов дыхания (необходимо пространство для переодевания персонала);
- безопасным доступом к спасательным плавсредствам и на вертолетную площадку.

### **3.4 Основные требования пожарной безопасности к морским стационарным нефтегазодобывающим платформам**

На основе проведенного анализа нормативных документов, различных иностранных и российских источников, принимая во внимание имеющийся опыт проектирования и эксплуатации на континентальном шельфе России и других стран, в том числе мировых лидеров морской нефтегазодобычи, были разработаны некоторые требования пожарной безопасности для морских стационарных нефтегазодобывающих платформ.

Разработанные требования являются общими требованиями, пожарной безопасности, которые целесообразно предъявлять к МСП, в том числе к генеральному плану зонированию и объемно-планировочным решениям, к основному технологическому и вспомогательному оборудованию, к системам противопожарной защиты, а также к организационно-техническим мероприятиям и эвакуации персонала в случае возникновения чрезвычайной ситуации.

Представленные ниже требования пожарной безопасности сгруппированы по своему назначению и видам систем на МСП, к которым они предъявляются.

### **Общие требования**

При обеспечении пожарной безопасности платформы в первую очередь необходимо выполнить требования, касающиеся безопасности людей при пожаре.

Пожарная безопасность МСП считается обеспеченной при условии соблюдения в полном объеме требований пожарной безопасности, установленных федеральными законами о технических регламентах, и пожарный риск не превышает значений, установленных действующим законодательством Российской Федерации.

### **Категорирование помещений и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности и классификация взрывоопасных и пожароопасных зон**

Категорирование помещений и наружных установок осуществляется в соответствии с требованиями Федерального закона [20].

Определение категорий всех помещений производственного и складского назначения и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности следует проводить в соответствии с СП [39].

Категории каждого помещения и каждой наружной установки платформы должны быть определены при разработке проектной документации и при необходимости уточнены на последующих стадиях проектов.

Классификация взрывоопасных и пожароопасных зон осуществляется в соответствии с Федеральным законом [179]. Размеры взрывоопасных зон следует определять согласно [143], а размеры пожароопасных зон – согласно [144]. Для каждой

взрывоопасной зоны дополнительно определяют категорию и группу обращающейся в ней взрывоопасной смеси.

Перечень помещений и открытых площадок с указанием классов взрывоопасных зон, категорий и групп взрывоопасных смесей, а также пожароопасных зон должен быть приведен в проектной документации.

### **Зонирование и объемно-планировочные решения платформы.**

#### **Ограничение распространения пожара**

При разработке объемно-планировочных решений платформы необходимо выполнять функциональное зонирование ее конструкции (объема) с учетом технологических связей и требований пожарной безопасности.

При проектировании следует предусмотреть размещение сооружений и оборудования на платформе, основываясь на следующих принципах:

- группирование элементов компоновки по функциональному назначению и размещение их в самостоятельных зонах;
- создание на платформе временного убежища, где персонал будет защищен от опасных факторов пожара и может находиться в течение времени, необходимого для ликвидации аварии или организации покидания или спасания с платформы, но не менее двух часов;
- обеспечение безопасной эвакуации во временное убежище и к местам посадки в спасательные средства, а также безопасного покидания платформы и спасения персонала в аварийных ситуациях;
- размещение скважин, основного технологического оборудования для бурения, эксплуатации и ремонта скважин, вспомогательного технологического оборудования и трубопроводов, резервуаров и складов с ЛВЖ и ГЖ и другими материалами таким образом, чтобы уменьшить риск возникновения пожароопасных ситуаций;
- обеспечение вентилируемости участков для добычи и подготовки продукции и, по возможности, отделения крупногабаритного оборудования или оборудования, работающего под высоким давлением, от смежного оборудования;
- размещение и применение эффективных систем (установок, средств) предупреждения и тушения пожаров.

Объекты одних зон платформы по отношению к объектам других зон должны быть размещены с учетом преобладающего направления ветров (по годовой розе ветров).

Сооружения и наружные установки с производственными процессами, выделяющими (в том числе в аварийных ситуациях) в атмосферу горючие газы и пары, не следует располагать с наветренной стороны для ветров преобладающего направления по отношению к жилому модулю платформы.

Пространство платформы рекомендуется разделять на следующие зоны:

- бурового и добывающего оборудования;
- технологического оборудования;
- инженерного оборудования;
- энергетического оборудования;
- размещения жилого модуля, операторной и временного убежища;
- вертолетной площадки;
- пути эвакуации и зоны для покидания платформы персоналом.

Для ограничения распространения пожара зоны необходимо отделять одну от другой противопожарными разрывами или противопожарными преградами, сокращающими до минимума степень использования активных систем противопожарной защиты. В случае необходимости следует использовать взрывоустойчивые преграды.

Жилой модуль должен размещаться на максимально возможном удалении от производственных и вне взрывоопасных зон. Если при имеющемся расстоянии распространение пожара на жилой модуль не может быть предотвращено, то следует предусмотреть противопожарные преграды, которые обеспечат защиту зоны размещения жилого модуля от распространения пожара из производственных зон в течение времени, необходимого для покидания платформы.

Кабели управления для основного оборудования, включая системы активной противопожарной защиты, следует прокладывать в тех зонах, где возможное воздействие пожара на эти кабели минимально.

Не допускается располагать хранилища ЛВЖ, ГЖ и ГГ, а также трубопроводы с ГЖ и ГГ непосредственно под помещениями жилого модуля, временного убежища и на путях покидания платформы.

Основное требование к огнестойкости конструктивных и технологических элементов платформы состоит в том, чтобы при возникновении аварии, связанной с пожаром, избежать увеличения масштабов аварии, обеспечить целостность временного убежища и возможность покидания платформы всем персоналом в установленное время.

Несущие элементы верхнего строения платформы, обеспечивающие при пожаре общую устойчивость и геометрическую неизменяемость жилого модуля, должны иметь предел огнестойкости не менее R 120. Требуемые пределы огнестойкости остальных конструкций определяются расчетом. При этом стена жилого модуля, обращенная в сторону буровых и технологических установок, должна иметь предел огнестойкости не ниже REI 120.

Предел огнестойкости несущих конструкций опорного блока платформы должен быть не ниже R 120.

Для повышения пределов огнестойкости строительных конструкций до требуемого уровня допускается использовать различные средства огнезащиты.

Средства огнезащиты выбирают в соответствии с климатическим районом размещения платформы, срок их эксплуатации необходимо подтвердить ускоренными климатическими испытаниями, в технической документации на них должны содержаться рекомендации по ремонту (восстановлению) огнезащитных покрытий в условиях эксплуатации платформы.

Выбор метода огнезащиты конструкций, конкретного огнезащитного материала или состава следует проводить с учетом конструктивных, эксплуатационных, технологических и технико-экономических факторов.

Класс пожарной опасности противопожарных стен, перекрытий, перегородок, конструкций тамбур-шлюзов, а также заполнений проемов в противопожарных преградах должен быть К0.

В противопожарных преградах допускается предусматривать проемы при условии их заполнения противопожарными дверями, окнами, воротами, люками, клапанами, при устройстве в них тамбур-шлюзов или если они защищены активными системами пожаротушения. Проемы в противопожарных преградах не должны занимать более 25 % их площади. Пределы огнестойкости противопожарных дверей и ворот должны быть не ниже требуемых пределов огнестойкости, установленных для этих

конструкций, необходимо предусмотреть также уплотнения в притворах и приспособления для самозакрывания.

Узлы пересечения ограждающих строительных конструкций кабелями, трубопроводами и другим технологическим оборудованием должны иметь предел огнестойкости не ниже требуемых пределов, установленных для этих конструкций.

Противопожарные стены и противопожарные перекрытия жилого модуля не допускается пересекать каналами, шахтами и трубопроводами для транспортировки горючих веществ и материалов.

Помещения категорий А и Б необходимо отделять друг от друга и от других помещений газонепроницаемыми перегородками.

Выходы из помещений категорий А и Б, ведущие в помещения других категорий и некатегорируемые помещения, следует оборудовать тамбур-шлюзами с подпором воздуха. Тамбур-шлюзы в указанных выходах вне жилого модуля допускается не предусматривать, если эти помещения, примыкающие к помещениям категорий А и Б, отвечают следующим условиям:

- все электрооборудование, размещенное в них, имеет взрывозащищенное исполнение;
- все двери из них являются самозакрывающимися и газонепроницаемыми;
- в них поддерживается избыточное давление по отношению к взрывоопасным помещениям;
- предусмотрены приборы постоянного автоматического контроля разности давлений, которые при срабатывании подают сигнал в операторную платформу.

При необходимости устройства проходов и отверстий из помещений с невзрывоопасными зонами во взрывоопасные, первые становятся также взрывоопасными и относятся к тому же классу, за исключением следующих случаев:

- помещение, непосредственно сообщающееся с помещением с зоной 0-го класса, относится к помещениям с зоной 1-го класса при следующих условиях:
  - доступ осуществляется через самозакрывающиеся газонепроницаемые двери, которые открываются в направлении пространства зоны 1-го класса;
  - система вентиляции обеспечивает в зоне 1-го класса избыточное давление по отношению к зоне 0-го класса;

– помещение, непосредственно сообщающееся с зоной 0-го класса, считается взрывобезопасным при следующих условиях:

– доступ осуществляется через двойные самозакрывающиеся газонепроницаемые двери, образующие воздушный тамбур-шлюз, в котором создается подпор воздуха механической приточной вентиляцией;

– помещение с прямым доступом во взрывоопасную зону 1-го класса считается взрывобезопасным при следующих условиях:

– доступ осуществляется через самозакрывающиеся газонепроницаемые двери, которые открываются в безопасную зону;

– система вентиляции обеспечивает избыточное давление по отношению к взрывоопасному пространству;

– предусмотрена сигнализация в операторную платформы, срабатывающая при прекращении действия вентиляции.

Электрощитовые и трансформаторные следует размещать в обособленных помещениях и отделять газонепроницаемыми противопожарными перегородками и перекрытиями от помещений, в которых находится технологическое оборудование с ГГ и ГЖ.

Помещения категорий А и Б платформы следует оборудовать легкобрасываемыми конструкциями. Площадь данных конструкций определяется в соответствии с [126].

В случае невозможности оборудования взрывоопасных помещений легкобрасываемыми конструкциями применяются другие способы обеспечения взрывобезопасности.

Для помещений жилого модуля в качестве декоративно-отделочных, облицовочных и теплоизоляционных материалов и покрытий полов, потолков и стен должны применяться материалы класса пожарной опасности не выше КМ1.

Вне жилого модуля на полах с негорючим основанием (сталь, бетон) допускается использование покрытий из материалов класса пожарной опасности не выше КМ2, толщиной не более 3 мм.

Для безопасного сбора персонала при возникновении в производственной зоне платформы пожароопасной аварийной ситуации или пожара на платформе должно быть предусмотрено временное убежище, в котором персонал может находиться в течение времени, необходимого для того, чтобы пожар был ликвидирован, или до окончания покидания персоналом платформы, но не менее двух часов.

Платформа должна быть оборудована вертолетной площадкой, обеспечивающей взлет и посадку вертолетов в условиях пожара. Вертолетную площадку размещают вдали от зоны бурения и технологической зоны с учетом преобладающей розы ветров и возможности влияния на обеспечение ее деятельности пожароопасных выбросов из систем технологического оборудования платформы. Вертолетную площадку необходимо защитить конструкциями от прямого воздействия пламени при пожаре в этих зонах.

Вертолетная площадка должна быть выполнена из негорючих материалов.

Предел огнестойкости несущих конструкций вертолетной площадки должен быть не менее R 120. Необходимо отделить вертолетную площадку от расположенных под ней помещений платформы противопожарными перекрытиями с пределом огнестойкости не ниже REI 120, при этом заполнения проемов в них и узлы пересечения их инженерными коммуникациями должны иметь предел огнестойкости не ниже EI 120.

Вертолетную площадку и места заправки вертолетов топливом необходимо оборудовать устройствами, предотвращающими распространение утечек топлива при аварии за их пределы. Дренажная система для сбора утечек вертолетного топлива должна быть независимой от других систем. Слив и сбор пролитого топлива следует производить в емкость некондиционного топлива.

### **Эвакуация персонала**

Эвакуационные пути должны обеспечивать безопасную эвакуацию всех людей, находящихся на платформе, во временное убежище и к местам покидания платформы.

Подробные требования к системе эвакуации и покидания МСП представлены в разделе 3.3.3 настоящей работы.

### **Технологическое оборудование**

Технологические процессы на платформе с участием ГГ и ЛВЖ должны осуществляться закрытым способом.

Технологические операции с использованием бурового раствора, содержащего ГГ и/или ЛВЖ, могут выполняться в открытых системах при условии, что помеще-

ние, где они осуществляются, отвечает всем требованиям, предъявляемым к помещениям категории А по взрывопожарной и пожарной опасности.

Сообщение внутреннего пространства технологических аппаратов, резервуаров и трубопроводов ГГ и ЛВЖ с окружающей атмосферой должно предусматриваться только через предназначенные для этих целей технологические линии и дыхательные устройства, оборудованные огнепреградителями.

Средства предотвращения распространения пламени (огнепреградители, гидравлические затворы и т. п.) следует устанавливать на дыхательных и стравливающих линиях аппаратов и резервуаров с ЛВЖ и ГЖ, а также на трубопроводах ЛВЖ и ГЖ, в которых возможно распространение пламени, в том числе работающих периодически или при незаполненном сечении трубопровода.

Средства защиты от распространения пламени можно не устанавливать при условии предотвращения образования горючих газопаровоздушных смесей во внутреннем объеме оборудования (например, при условии подачи в емкости для хранения и линии инертных газов в количествах, исключающих образование в них взрывоопасных смесей).

Конструкция огнепреградителей и гидравлических предохранительных затворов должна обеспечивать надежную локализацию пламени с учетом условий эксплуатации. Сухие огнепреградители должны отвечать требованиям ГОСТ Р 53323 [240]. Для огнепреградителей и гидравлических предохранительных затворов следует предусматривать меры, обеспечивающие надежность их работы в условиях эксплуатации.

Продувку основного и вспомогательного технологического оборудования, в котором возможно обращение ГГ, ЛВЖ и ГЖ перед вводом в эксплуатацию и выводом из эксплуатации, а также перед проведением ремонтных и регламентных работ следует осуществлять только инертным газом (например, азотом).

Обязка аппаратов и резервуаров запорной арматурой и трубопроводами должна предусматривать возможность подготовки их к регламентным и ремонтным работам.

Конструкция оборудования должна предотвращать повышение или понижение в нем давления выше допустимых значений, как при нормальной эксплуатации, так и при аварийных ситуациях.

Все емкостное технологическое оборудование (включая резервуары для химических реагентов), автоматическое опорожнение которого невозможно при возникновении аварии, следует оборудовать предохранительными устройствами, обеспечивающими сброс избыточного давления при воздействии на него возможного пожара.

Для технологических линий, предназначенных для сброса избыточного давления из технологического оборудования, следует предусмотреть меры безопасного сброса избыточного давления в случае пожара (например, путем использования теплоизоляции, водяного орошения и т. п.) на время, необходимое для их эффективного функционирования.

Резервуары для ЛВЖ и ГЖ следует оборудовать дыхательной, предохранительной и запорной арматурой, пробоотборными и замерными устройствами.

Трубопроводы и запорная арматура должны надежно закрепляться и иметь маркировку давления и опознавательную окраску в соответствии с требованиями нормативных документов.

Фланцевые соединения трубопроводов должны размещаться в местах, доступных для визуального наблюдения, обслуживания, разборки, ремонта и монтажа. Не допускается располагать фланцевые соединения трубопроводов с ГГ, ЛВЖ и ГЖ непосредственно над проходами для людей и рабочими площадками.

Технологические аппараты, резервуары дизельного топлива, бурового раствора, нефтесодержащих стоков, химических реагентов, других ЛВЖ и ГЖ необходимо оборудовать системами автоматического предотвращения их переполнения.

Максимальный допустимый уровень жидкости в указанных резервуарах определяется расчетом с учетом времени срабатывания исполнительных механизмов систем предотвращения переполнения и теплового расширения жидкости при хранении.

При этом следует предусматривать устройства дистанционного (автоматического) измерения уровня жидкости без необходимости открытия люков, разъединения штуцеров или патрубков, установленных на аппаратах и резервуарах. Допускается не предусматривать системы автоматического переполнения, если организация технологического процесса исключает возможность такого переполнения при заполнении оборудования.

Конструкция и/или способ размещения резервуаров и другого технологического оборудования с ЛВЖ и ГЖ должны предотвращать растекание проливов за пределы помещений (площадок) с установками и резервуарами при возникновении утечек. Указанные помещения (площадки) следует оборудовать дренажными системами, параметры которых обеспечивают пожаробезопасный аварийный слив всего содержимого наибольшего из резервуаров.

Способ размещения запорной арматуры, насосного оборудования, разъемных соединений и других источников возможных утечек горючих веществ должен обеспечивать сбор и пожаробезопасное удаление возможных утечек, например, путем использования сплошных полов, поддонов, дренажных систем и т. п.

Установка турбогенераторов и двигателей внутреннего сгорания в помещениях категорий А и Б не допускается. Воздухозаборные устройства двигателей следует располагать на расстоянии не менее 3 м от границ взрывоопасных зон.

У каждого двигателя должны предусматриваться устройства для их экстренной остановки. Для аварийных дизельгенераторов такие устройства допускается не предусматривать.

Газовыпускные трубопроводы двигателей следует оборудовать искрогасителями. Выброс отработанных газов должен осуществляться за пределами взрывоопасных зон.

Следует предусмотреть мероприятия по предотвращению попадания выхлопных и дымовых газов на площадку и под площадку буровой, в места расположения технологического оборудования и емкостей с ЛВЖ и ГЖ, трубопроводов для аварийного сброса газа в атмосферу, устьев выкидных воздухопроводов (шахт) вытяжной вентиляции из помещений категорий А и Б, а также других источников выделения горючих газов и паров в радиусе до 5 м.

Расположение трубопроводов жидкого и газообразного топлива в помещениях турбо- и дизельгенераторов, помещениях с установками для сжигания мусора следует предусматривать открытым, обеспечивающим к ним свободный доступ.

Прокладка трубопроводов с ЛВЖ и ГЖ над двигателями внутреннего сгорания и газовыпускными трубопроводами не допускается.

Для перекрытия линий подачи топлива на турбины турбогенераторов необходимо предусмотреть отсечные клапаны, устанавливаемые за пределами помещений (кожухов) с указанными турбинами.

На трубопроводах для подачи жидкого топлива в помещения дизельгенераторов и помещение с установками для сжигания мусора следует устанавливать запорную арматуру с дистанционным приводом и обратный клапан, закрывающийся при отключении насоса указанной линии, размещаемые вне указанных помещений.

На отводе топливного трубопровода к каждому турбо- и дизельгенератору или горелке должна устанавливаться ручная запорная арматура.

Подача топлива в помещения (кожухи) турбо- и дизельгенераторов должна автоматически прекращаться при срабатывании систем обнаружения пожара или газа в этих помещениях.

Теплоизоляцию технологического оборудования платформы, в котором обращаются ГГ, ЛВЖ и ГЖ, следует выполнять из негорючих материалов.

Все оборудование и трубопроводы, имеющие нагретые поверхности, необходимо защитить теплоизоляцией из негорючих материалов или устройствами, предотвращающими превышение температурой поверхности величины, составляющей 80 % от стандартной температуры самовоспламенения обращающихся или находящихся в помещении (наружной установке) веществ и материалов.

Нагревательные устройства оборудования с ГГ, ЛВЖ и ГЖ следует оборудовать средствами регулировки температуры, автоматическими устройствами отключения нагревательных элементов при достижении предельной температуры, сигнализацией о неисправностях и превышении допустимой температуры.

Буровое оборудование должно быть оснащено системами предварительного обнаружения выброса из пробуриваемой скважины. При этом следует предусматривать непрерывную передачу на пульт управления бурильщика всей необходимой для контроля и управления процессом бурения скважин информации.

Способ утилизации отходов, образующихся при эксплуатации платформы, должен исключать образование взрывоопасных смесей в помещениях, на наружных установках платформы, а также во внутреннем пространстве оборудования для переработки и хранения указанных отходов.

Для нагрева теплоносителя, используемого при ведении технологического процесса, в системах отопления, вентиляции и кондиционирования допускается использование тепла отходящих выхлопных газов газотурбинных генераторов и электронагревателей.

Объединение контуров теплоносителя (хладагента), использующегося для нагрева (охлаждения) ГГ, ЛВЖ и ГЖ в технологическом оборудовании (контуров технологического теплоносителя), и контуров теплоносителя (хладагента), использующегося в системах отопления, вентиляции и кондиционирования, не допускается.

Каждая скважина должна быть оборудована системами защиты, отключений (блокировок) и глушения, позволяющими обеспечить пожарную безопасность при эксплуатации и ремонте.

Противовыбросовое оборудование и соответствующие системы управления должны обеспечивать возможность герметизации разрабатываемой скважины или организованный отвод пластовой продукции на всех этапах бурения, а также при определенных в проекте сценариях развития аварии на платформе.

Для изоляции каждой отдельной скважины необходимо использовать дистанционно управляемый скважинный клапан-отсекатель (устанавливаемый под поверхностью клапан, управляемый с поверхности). Также следует предусмотреть автоматические средства для закрытия данного клапана при обнаружении пожара в зоне устьевого оборудования.

Кроме того, каждую скважину необходимо оборудовать дистанционно управляемыми поверхностными отсечными клапанами аварийного отключения (основным и боковым) на каждой отводной линии скважины. Дополнительно следует предусмотреть автоматические средства для закрытия указанных клапанов в случае аварийного останова при нарушении технологического процесса или обнаружении пожара или газа, а также в других определенных в проекте случаях.

Конструкция участка устьев скважин должна исключать проникновение поступающих из скважины жидкостей и газов на другие участки платформы при утечке в зоне устьевого оборудования.

На выкидных линиях скважин следует предусмотреть обратные клапаны, которые должны быть установлены на выкидных трубопроводах скважин перед коллек-

тором или манифольдом. На трубопроводах, идущих к эксплуатационным стоякам отгрузки пластовой продукции и подачи газа для обратной закачки (газлифта), следует установить клапаны-отсекатели.

Устья скважин или выкидные линии скважин должны быть оборудованы аварийной запорной арматурой.

Подводящие и отводящие трубопроводы технологических аппаратов, сосудов или резервуаров, в которых обращаются ГГ, ЛВЖ или ГЖ, следует оснащать аварийной запорной арматурой. Указанные технологические трубопроводы аппаратов, сосудов и резервуаров, работающих под давлением, необходимо оборудовать устройствами, автоматически предотвращающими выход ГГ, ЛВЖ или ГЖ при аварийных расходах жидкости и/или газа по указанным трубопроводам.

Управление аварийной запорной арматурой должно предусматриваться дистанционно из операторной платформы и автоматически по сигналу от систем аварийного отключения.

Для насосов и компрессоров (групп насосов и компрессоров), перемещающих горючие продукты, необходимо предусмотреть возможность их дистанционного отключения; кроме того, на линиях должны быть установлены запорные или отсекающие устройства с дистанционным управлением.

На всасывающих линиях компрессоров (отдельных ступеней компрессоров) следует предусмотреть сепарирующие устройства для защиты компрессоров от попадания жидкой фазы. Нагнетательные линии компрессоров оборудуются сепараторами в случае необходимости.

Сепараторы газа на всасывающих линиях компрессоров необходимо оборудовать датчиками – сигнализаторами уровня и устройствами для дренажа жидкости из них. Датчики – сигнализаторы уровня должны быть заблокированы с компрессорами для обеспечения останова компрессора при достижении максимального уровня жидкости в сепараторе.

Трубопроводы для транспортировки ГГ, ЛВЖ и ГЖ следует прокладывать таким образом, чтобы исключить возможность их механического повреждения при нормальных условиях эксплуатации. Прокладка указанных трубопроводов через жи-

лые помещения, административные, бытовые помещения, операторные, а также через воздуховоды и вентиляционные шахты не допускается.

Резервуары дизельного топлива не следует располагать в помещениях категорий А и Б.

Конструкция и способ размещения каждого резервуара для хранения дизельного топлива, других ЛВЖ и ГЖ должны предотвращать пролив всего содержимого резервуара, разлитие дизельного топлива в помещения платформы и на морскую поверхность при разгерметизации его стенок или технологических трубопроводов.

Конструкция швартовов и наливных шлангов для приема и отгрузки на платформу ЛВЖ и ГЖ с судов обслуживания должна предусматривать возможность аварийного (быстрого) отсоединения. Аварийное отсоединение судна от платформы не должно приводить к утечке ЛВЖ и ГЖ.

Все насосы, перекачивающие ЛВЖ, должны иметь герметичное исполнение или двойное торцевое уплотнение.

Систему приготовления, обработки химическими реагентами, утяжеления и регулирования свойств буровых растворов следует механизировать и при необходимости автоматизировать.

Стандартная температура самовоспламенения паров бурового раствора на углеводородной основе должна не менее чем на 50 °С превышать максимально ожидаемую температуру раствора на устье скважины.

Закачка химреагентов в скважины, трубопроводы и технологическое оборудование платформы с нефтью и газом допускается только через линии, оборудованные обратными клапанами.

Технологические трубопроводы, как правило, не должны иметь фланцевых или других разъемных соединений. Фланцевые соединения допускаются только в местах установки арматуры или подсоединения трубопроводов к аппаратам (технологическому оборудованию и приборам КИПиА), а также на тех участках, где по условиям технологии требуется периодическая разборка для проведения чистки и ремонта трубопроводов.

Трубопроводы для приема ЛВЖ и ГЖ с судов обслуживания должны иметь стационарные стояки (для подсоединения линий подачи продукта), установленные на краю платформы.

Емкости для хранения дизельного топлива и углеводородной основы для бурового раствора необходимо отделять от остальных участков платформы противопожарными преградами с пределом огнестойкости не ниже REI 120.

Размещение помещений с турбогенераторами и помещений с установками для сжигания твердых и жидких отходов (помещения мусоросжигателя) в жилом модуле платформы, в помещениях, примыкающих к производственным и складским помещениям категорий А, Б и В1, а также над или под указанными помещениями не допускается.

### **Система противоаварийной защиты**

На платформе необходимо предусмотреть систему противоаварийной защиты (СПЗ) технологических процессов, которая должна своевременно выявлять возникновение пожароопасных аварийных ситуаций и предотвращать их развитие. СПЗ должна автоматически приводить в действие системы оповещения, устройства аварийного останова технологического процесса и инициировать системы аварийного отключения, а также соответствующие инженерные системы аварийной и противопожарной защиты (аварийная вентиляция, установки пожаротушения и т. п.).

Платформу необходимо снабдить системой аварийного отключения, которая должна обеспечивать перевод технологического оборудования в безопасное состояние (например, закрытие скважин, отсечение технологических аппаратов, резервуаров, трубопроводов, сброс избыточного давления на факельную систему, опорожнение оборудования) при возникновении аварийной ситуации.

В целях надежности работы СПЗ (в том числе системы аварийного отключения, систем предотвращения переполнения резервуаров и аппаратов, систем обнаружения горючих газов и/или паров, систем контроля давления и т. д.) в необходимых случаях следует организовать дублирование, обеспечивающее выполнение функционального назначения систем. При этом необходимо предусмотреть средства автоматического

самоконтроля исправности указанных элементов, сигнализирующие персоналу платформы о неполадках.

Размещение резервных средств и систем должно обеспечивать их функционирование при различных проектных сценариях развития аварии на платформе.

СПЗ должна сохранять работоспособность в условиях возможного пожара на платформе в течение времени, необходимого для перевода технологического оборудования в безопасное состояние.

Если конструкция дистанционно и автоматически управляемой запорной арматуры обеспечивает автоматический перевод технологического оборудования в безопасное состояние при нарушении систем управления приводом указанной арматуры (падение давления в пневмо- и гидросистемах, отключение электропитания электроприводов и т. п.), ее дублирование допускается осуществлять ручной запорной арматурой.

В случае отключения электроэнергии или прекращения подачи сжатого воздуха для питания систем предусматривается перевод технологического оборудования платформы в безопасное состояние. Необходимо исключить возможность произвольных переключений в этих системах при восстановлении питания.

Системы обеспечения сжатым воздухом средств управления и противоаварийной защиты должны иметь буферные емкости, обеспечивающие питание воздухом систем контроля, управления и противоаварийной защиты при остановке компрессоров подачи сжатого воздуха в системы пневмоуправления в течение времени, достаточного для безаварийной остановки платформы, что необходимо подтвердить расчетом, но не менее 30 мин.

Указанные емкости следует оснащать контрольно-измерительными приборами в количестве, позволяющем постоянно контролировать давление воздуха в них. При снижении давления воздуха в сети ниже допустимого должна включаться световая и звуковая сигнализация, которую необходимо предусматривать независимо от сигнализации, характеризующей состояние технологического процесса.

Исполнительные механизмы систем противоаварийной защиты (в том числе запорная арматура) и/или системы пневматического и гидравлического управления ими должны предотвращать возможность распространения горючих жидкостей и газов по системам противоаварийной защиты.

СПЗ должна функционировать как в режиме предварительного оповещения, так и в режиме останова.

Предварительное оповещение должно осуществляться, когда параметры технологического процесса будут выходить за пределы, установленные для подачи предупреждения. Это рекомендуется для тех участков технологического процесса, где имеется время для вмешательства оператора, чтобы предотвратить развитие аварийной ситуации.

В случае, когда параметры технологического процесса будут выходить за безопасные пределы, следует предусмотреть включение функций останова в дополнение к функции оповещения.

Система аварийного останова автоматизированной системы безопасности платформы должна реализовывать группу функций аварийного останова, которые обеспечивают срабатывание технических элементов или останов технологического оборудования/единицы оборудования при различных видах аварийных ситуаций.

При выполнении любых функций автоматического останова все основное оборудование систем жизнеобеспечения должно продолжать функционировать. Все системы предотвращения аварий и противопожарной защиты должны находиться в состоянии готовности.

Системы предотвращения аварий не должны приводиться в действие в результате подачи спонтанных и кратковременных сигналов, например, при кратковременном нарушении нормального технологического процесса, в том числе в случае переключения на резервный или аварийный источник электропитания.

Инициирование уровней аварийного останова должно обеспечиваться автоматически (по сигналам систем противоаварийной и противопожарной защиты) или вручную:

- из операторной платформы;
- из кабины бурильщика.

Инициирование вручную каждого уровня аварийного останова осуществляется путем нажатия одного тумблера.

Дистанционное закрытие противовыбросового оборудования необходимо осуществлять:

- с пульта управления буровыми работами;
- с дистанционного пульта в кабине бурильщика.

Не допускается располагать помещения контрольно-измерительных приборов, автоматики и управления системами противоаварийной защиты под душевыми и санузлами, под помещениями с мокрыми технологическими процессами. В противном случае следует предусматривать мероприятия, предотвращающие попадание воды в эти помещения.

В помещения управления не допускается ввод импульсных и других трубопроводов с ГЖ и ГГ. Прокладка любых транзитных трубопроводов через указанные помещения не допускается.

### **Факельные системы**

Платформу необходимо оборудовать факельными системами, обеспечивающими сброс и последующее сжигание горючих газов и паров в следующих случаях:

- срабатывание устройств аварийного сброса, предохранительных клапанов, сброс в ручном режиме, а также сброс газов и/или паров из технологического оборудования в аварийных ситуациях с помощью автоматических систем и/или запорно-регулирующей арматуры с дистанционным управлением;

- постоянные, предусмотренные технологическим регламентом, сбросы;
- периодические сбросы газов и/или паров, включая сбросы в процессе испытаний скважины, пусконаладочных операций, наладки и останова технологического оборудования.

Если сброс горючих газов и/или паров на факельные системы практически не возможен, их выпуск в атмосферу должен осуществляться вне пределов помещений и сооружений платформы. Расположение источников выбросов горючих газов и/или паров следует определять расчетом, исходя из пожаро-взрывобезопасных условий их рассеивания в атмосфере в местах возможного нахождения людей и возникновения источников зажигания.

В оборудовании факельных систем необходимо обеспечить предотвращение образования взрывоопасных газопаровоздушных смесей.

Содержание кислорода в продувочных и сбрасываемых газах и парах, в том числе в газах сложного состава, не должно превышать 50 % минимального взрывоопасного содержания кислорода.

Не допускается осуществлять сброс в факельные системы веществ, взаимодействие которых может привести к взрыву.

В газах и парах, сбрасываемых на факел, не должно быть капельной жидкости и твердых частиц. Для этого факельные системы оснащаются сепараторами (скрубберами) и насосами для сбора и отвода конденсата.

В оборудовании факельных систем и подводящих трубопроводах необходимо исключить возможность кристаллизации продуктов сброса (в том числе образования ледяных и гидратных пробок).

Включение и выключение насосов для откачки конденсата из сепараторов факельных систем должно осуществляться автоматически. Количество указанных насосов должно обеспечивать 100%-е резервирование.

Врезку трубопроводов в факельные коллекторы следует производить сверху в целях исключения заполнения указанных трубопроводов жидкостью.

Не допускаются постоянные и периодические сбросы газов и паров в факельную систему, в которую направляются аварийные сбросы, если их совмещение может привести к повышению давления в системе до недопустимой величины.

Конструкция факельных систем должна гарантировать защиту технологического оборудования от давления противотоков при сбросе.

Факельные установки должны обеспечивать:

- стабильное горение в требуемых условиях эксплуатации (нормальными и аварийными) интервалах расходов газов и/или паров;
- предотвращение попадания воздуха через верхний срез факельного ствола;
- безопасную плотность теплового потока в местах возможного нахождения людей, технологического оборудования и горючих веществ и материалов.

Способ размещения и конструкция факельных установок должны исключать возможность образования взрывоопасных смесей в зоне размещения технологического оборудования и сооружений платформы при срыве пламени во время аварийного сброса.

Факельные установки необходимо оборудовать устройствами для непрерывного контроля за процессом горения и дистанционного повторного зажигания с выводом сигнала на пульт оператора.

### **Дренажные системы**

Платформу следует оборудовать открытой и закрытой дренажными системами.

Устройство дренажных систем платформы должно исключать возможность распространения по ним аварийных утечек горючих веществ с одного участка платформы на другой с поступлением в помещения и на открытые площадки на других участках платформы.

Не допускается сброс в одну дренажную систему различных стоков, смешивание которых может привести к реакциям, сопровождающимся выделением тепла, образованием горючих и вредных газов, а также выпадением твердых осадков.

Сети дренажных систем платформы следует выполнять из негорючих материалов.

Закрытая дренажная система должна обеспечивать пожаровзрывобезопасный сброс и удаление из технологического оборудования жидкостей, содержащих углеводороды при нормальном режиме работы, регламентных и ремонтных работах, а также при аварийных ситуациях.

Сбросы из оборудования, в котором расчетное давление ниже, чем в закрытой дренажной системе, следует объединять в коллекторы в соответствии с расчетными давлениями оборудования. Подсоединение отдельных коллекторов к общему коллектору должно производиться через обратные клапаны.

Открытая дренажная система должна обеспечивать пожаровзрывобезопасный сбор и удаление жидких отходов (стоков) при нормальном режиме работы, регламентных и ремонтных работах, а также при авариях с открытых и закрытых площадок и зон платформы. Стоки подразделяются на опасные и неопасные.

Опасными следует считать стоки, которые содержат или могут содержать (в аварийных ситуациях) ГГ, ЛВЖ и ГЖ.

К опасным также относятся стоки с буровой площадки, из помещений с насосами бурового раствора, бурового шлама, помещений и площадок с устьевым

оборудованием, технологических участков, участков энергетического оборудования и другие стоки, которые могут содержать ГГ, ЛВЖ и ГЖ.

Неопасными считаются стоки, не содержащие ГГ, ЛВЖ и ГЖ даже в аварийных ситуациях.

К неопасным относятся стоки из жилого модуля, с участка вспомогательного оборудования без наличия ГГ, ЛВЖ и ГЖ, открытых палуб, крыш сооружений и других аналогичных участков.

Открытые дренажные системы для опасных и неопасных стоков следует проектировать отдельными.

Все опасные стоки должны направляться в емкость опасных стоков открытой дренажной системы, а далее вывозиться на берег для переработки и утилизации или возвращаться в процесс. Количество насосов, откачивающих углеводороды из открытой дренажной системы, должно обеспечивать 100%-е резервирование.

Параметры открытой дренажной системы опасных стоков (пропускная способность и емкость) должны обеспечивать пожаровзрывобезопасный слив ЛВЖ и ГЖ при возможных авариях на платформе.

Резервуары для опасных и неопасных стоков открытых дренажных систем платформы следует оборудовать уровнемерами. Сигнализация о достижении предельно допустимого уровня жидкости в указанных резервуарах должна быть выведена в операторную платформу. При необходимости емкости дренажных систем выполняются с обогревом.

Во избежание распространения пламени по сети открытой дренажной системы все выпуски в открытую дренажную систему, а также подводящие трубопроводы резервуаров опасных стоков необходимо оборудовать гидравлическими затворами.

Высота столба жидкости в гидравлическом затворе должна быть не менее 0,25 м. При этом предусматриваются мероприятия по поддержанию указанной высоты столба жидкости. Гидравлические затворы необходимо защитить от замерзания. Их конструкция должна обеспечивать удобство очистки и ремонта.

Дренажные системы должны быть рассчитаны на прием атмосферных осадков с палуб и площадок платформы, а также расчетного количества воды от водяных и пенных систем противопожарной защиты.

## Электрооборудование

Электрооборудование, размещаемое во взрывоопасных зонах, должно иметь необходимый уровень взрывозащиты.

Распределительные устройства систем энергоснабжения, трансформаторные подстанции следует размещать в обособленных помещениях, отделенных газонепроницаемыми противопожарными преградами с пределом огнестойкости не менее EI 60 от остальных помещений и открытых площадок с оборудованием, в котором обращаются горючие газы и жидкости.

Не допускается прокладка трубопроводов с ГГ, ЛВЖ и ГЖ над помещениями с распределительными щитами.

Электроприемники систем противопожарной и противоаварийной защиты платформы должны быть отнесены к электроприемникам первой категории надежности электроснабжения по [144].

Электроприемники первой категории в нормальных режимах следует обеспечивать электроэнергией от двух независимых взаимно резервирующих источников питания. Перерыв их электроснабжения при нарушении электроснабжения от одного из источников питания может быть допущен лишь на время автоматического восстановления питания. При этом, если при перерыве в электроснабжении на время автоматического его восстановления возможен сбой или отказ в работе потребителей, необходимо принять меры по поддержанию электроснабжения в течение указанного интервала времени.

В качестве независимых взаимно резервирующих источников питания допускается использовать турбогенераторы, работающие на двух видах топлива (топливный газ и дизельное топливо).

Дополнительно на платформе должна быть предусмотрена система аварийного электроснабжения, способная обеспечить функционирование следующего оборудования:

- устройств, предназначенных для спасательных средств и эвакуации людей;
- приборов, бесперебойная работа которых необходима для безаварийного останова технологического процесса с целью предотвращения угрозы жизни людей, возникновения аварий (в том числе системы питания и управления противовыбросовым оборудованием);

- систем пожарной сигнализации, обнаружения утечек горючих газов (паров), оповещения и управления эвакуацией, аварийного освещения;
- систем противопожарного водоснабжения, пожаротушения и водяного орошения;
- резервных систем вентиляции и противодымной защиты (при наличии);
- систем обеспечения работы основных систем безопасности и контроля за временным убежищем и управления ими.

В качестве аварийных источников электроснабжения могут быть использованы дизельгенераторы и аккумуляторные батареи.

Пуск дизельгенераторов системы аварийного электроснабжения должен обеспечиваться без потребления электроэнергии извне. Суммарное время пуска и приема нагрузки генератором не должно превышать 45 секунд.

Дизельгенератор системы аварийного электроснабжения следует размещать в изолированном помещении, отделенном от жилого модуля противопожарными преградами с пределом огнестойкости не менее REI 120 или EI 120.

Все применяемые на платформе электрические кабели должны по показателю пожарной безопасности относиться к типу «не распространяющие горение» (исполнение – «НГ») согласно [241].

Оболочки кабелей следует выполнять из маслобензостойких материалов, устойчивых к воздействию нефтепродуктов и окружающей среды.

В местах прохождения кабельных каналов, коробов, кабелей и проводов через конструкции с нормируемым пределом огнестойкости необходимо предусмотреть кабельные проходки с пределом огнестойкости не ниже предела огнестойкости данных конструкций.

Кабели от трансформаторных подстанций резервных (аварийных) источников электроснабжения до вводно-распределительных устройств следует прокладывать в отдельных огнестойких каналах или обеспечить огнезащитой.

Не допускается совместная прокладка шлейфов и соединительных линий пожарной сигнализации, линий управления автоматическими установками пожаротушения и оповещения напряжением до 60 В с линиями напряжением 110 В и более в одном коробе, трубе, жгутах, замкнутом канале строительной конструкции или на одном лотке. Совместная прокладка указанных линий допускается в разных отсеках

коробов и лотков, имеющих сплошные продольные перегородки с пределом огнестойкости не менее E15 из негорючего материала.

Кабели управления и контроля технологических процессов должны быть проложены отдельно от силовых кабелей.

Конструкции для прокладки и крепления кабелей следует выполнять из негорючих материалов.

Кабели и провода систем противопожарной защиты, средств обеспечения деятельности пожарных подразделений платформы, систем обнаружения пожара (исключая шлейфы от пожарных извещателей в пределах контролируемых помещений), оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре, аварийного освещения на путях эвакуации, аварийной вентиляции и противодымной защиты, автоматического пожаротушения, внутреннего противопожарного водопровода должны сохранять работоспособность в условиях пожара в течение времени, необходимого для полной эвакуации людей, но не менее двух часов.

Платформу следует оборудовать системами аварийного освещения, включающего освещение безопасности и эвакуационное освещение.

Эвакуационное освещение предусматривается:

- в проходах, на лестницах и лестничных клетках, служащих для эвакуации и покидания платформы;
- по эвакуационным проходам производственных помещений;
- в помещениях с постоянным пребыванием людей;
- в производственных помещениях без естественного освещения.

Системы заземления оборудования платформы должны отвечать требованиям не ниже предъявляемых [144]. Все электрооборудование и электроустановки должны иметь системы защитного заземления как для особо сырых помещений согласно [144].

Для сооружений, помещений и наружных технологических установок платформы следует предусматривать молниезащиту и защиту от статического электричества, отвечающие требованиям не ниже предъявляемых Инструкцией [242] и стандартом [243] соответственно.

## Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха

Системы вентиляции платформы должны работать в непрерывном режиме и обеспечивать:

- поддержание дисбаланса давления для предотвращения поступления горючих газов и/или паров с прилегающих участков в помещения, где отсутствует возможность утечки и образования взрывоопасных газопаровоздушных смесей (далее по тексту – взрывобезопасные помещения), и тамбур-шлюзы;

- вентиляцию в помещениях категорий А и Б, иных помещениях с взрывоопасными зонами, кратность воздухообмена которой достаточна для предотвращения превышения предельно допустимых взрывобезопасных концентраций горючих газов и/или паров при проектных авариях с разгерметизацией технологического оборудования.

Системы вентиляции, используемые на участках, где отсутствует возможность утечки и образования взрывоопасных газопаровоздушных смесей, следует отделять от систем, используемых на опасных участках (с наличием оборудования с ГГ и ЛВЖ). В случае выравнивания давлений или отключения системы вентиляции должна включаться тревожная сигнализация.

Конструкция систем вентиляции должна исключать подачу воздуха из зон (помещений), в которых возможно поступление при аварийных ситуациях горючих газов и/или паров в другие зоны (помещения) платформы. При наличии воздуховодов между указанными зонами (помещениями) их необходимо оборудовать устройствами, прекращающими подачу воздуха по сигналам датчиков до взрывоопасных концентраций и пожарных извещателей.

Не допускается устанавливать в одной вентиляционной камере вытяжные вентиляторы, обслуживающие помещения категорий А и Б, и вентиляторы, обслуживающие помещения категорий В1–В4, Г и Д.

Дополнительно на воздуховодах систем вентиляции необходимо предусмотреть установку следующих устройств:

- противопожарных клапанов (на воздуховодах, обслуживающих помещения категорий А, Б, В1–В3, в местах пересечения воздуховодами противопожарной преграды или перекрытия);

– обратных клапанов (на отдельных воздуховодах для каждого помещения категорий А и Б в местах присоединения их к сборному воздуховоду или коллектору).

Противопожарные клапаны, устанавливаемые в отверстиях и воздуховодах, пересекающих преграды, следует предусматривать с пределом огнестойкости не менее, чем у пересекаемой преграды.

Противопожарные клапаны необходимо устанавливать в преграде, непосредственно у преграды с любой стороны или за ее пределами, обеспечивая на участке воздуховода от преграды до клапана предел огнестойкости, равный пределу огнестойкости преграды.

Противопожарные клапаны в системах отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха (ОВКВ) должны приводиться в действие автоматически по сигналам системы пожарной сигнализации платформы, вручную дистанционно из операторной платформы, а также вручную по месту расположения противопожарных клапанов.

Воздухозаборники систем необходимо размещать вне взрывоопасных зон на расстоянии не менее 5 м от каждого выпускного отверстия системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. Выпускные отверстия должны располагаться вне взрывоопасных зон.

Во всех вентиляционных воздухозаборниках следует устанавливать датчики взрывоопасных концентраций и дымовые пожарные извещатели, формирующие командные импульсы на отключение вентиляции, закрытие клапанов, включение предупредительной сигнализации, оповещения о возникновении неисправности и т. п.

Жилой модуль должен иметь самостоятельные системы вентиляции и кондиционирования воздуха.

Резервные вентиляционные установки предусматриваются:

- для систем, потеря работоспособности которых приводит к отключению обслуживаемого оборудования;
- систем, которые обеспечивают избыточное давление в тамбур-шлюзах и помещениях, примыкающих к помещениям категорий А и Б;
- помещений категорий А и Б.

Резервные вентиляционные установки должны иметь производительность не ниже основных установок для систем, обслуживающих помещения категорий А и Б.

В остальных случаях при наличии в составе основной вентиляционной установки нескольких рабочих агрегатов (вентиляторов) допускается предусматривать резервирование только одного агрегата (вентилятора) с максимальной производительностью.

Требуемая величина производительности вентиляции определяется расчетом для максимальной проектной аварии в каждом из помещений.

Вентиляция помещений с взрывоопасными зонами должна быть с искусственным побуждением и обеспечивать обмен воздуха всего пространства помещений с учетом расположения оборудования, из которого возможна утечка горючих газов и паров, а также участков, где возможно скопление паров и газов. При этом организованное удаление воздуха необходимо предусмотреть из верхней и/или нижней зоны с учетом высоты помещения, плотности горючих газов и паров, наличия устойчивых воздушно-тепловых потоков.

Системы вентиляции помещений с взрывоопасными зонами следует оборудовать приборами, контролирующими работу вентиляторов и давление в воздуховодах.

Все помещения категорий А и Б, а также другие помещения с взрывоопасными зонами, где есть возможность появления взрывоопасных газопаровоздушных смесей, должны иметь давление воздуха ниже, чем в смежных взрывобезопасных помещениях, где возможность выделения взрывоопасных газопаровоздушных смесей отсутствует.

При этом предусматриваются мероприятия, ограничивающие поступление горючих газов и паров на эвакуационные пути при проектных авариях.

Системы вентиляции должны в автоматическом режиме обеспечивать:

- включение резервного оборудования при выходе из строя основного;
- запуск аварийной вентиляции при превышении в помещении концентрацией горючих газов и/или паров 20 % от НКПР;
- отключение подачи воздуха в помещение, в котором произошел пожар, сохраняя при этом подачу воздуха в тамбур-шлюзы помещений категорий А и Б по взрывопожарной и пожарной опасности, а также помещения, примыкающие к помещениям категорий А и Б по взрывопожарной и пожарной опасности;
- включение при пожаре противодымной вентиляции;
- управление противопожарными и дымовыми клапанами;

– отключение вытяжной вентиляции в помещении при срабатывании установок газового или порошкового пожаротушения.

В системах местных отсосов концентрация удаляемых горючих газов, паров, аэрозолей и пыли в воздухе не должна превышать 40 % от НКПР при температуре удаляемой смеси.

Системы местных отсосов вредных веществ или взрывопожароопасных смесей следует проектировать отдельными от систем общеобменной вентиляции. При этом указанные системы необходимо предусматривать отдельными для веществ, химическое взаимодействие которых может привести к пожару или взрыву.

Системы местных отсосов допускается выполнять без резервирования. В случае, если система местных отсосов в помещениях категорий А и Б не имеет резервных вентиляторов, должна быть обеспечена автоматическая остановка технологического оборудования при выходе из строя вентилятора указанной системы.

Устья устройств (труб, шахт и др.) для выброса воздуха из помещений, содержащих горючие пары и газы, следует располагать на высоте не менее 5 м от мест возможного появления источников зажигания. Должна предусматриваться установка дополнительных (в пределах, допускаемых проектом) устройств удлинения, выноски на безопасное расстояние выбросов, исходя из климатических, ветровых условий эксплуатации.

Воздуховоды систем вентиляции необходимо выполнять герметичными и из негорючих материалов.

На участках воздуховодов, присоединяемых к вентиляторам, допускается использование гибких вставок, изготовленных из трудногорючих материалов (группа горючести не ниже Г1), за исключением воздуховодов:

- для систем местных отсосов взрыво- и пожароопасных смесей, аварийных и транспортирующих воздух с температурой 80 °С и выше;
- для участков воздуховодов с нормируемым пределом огнестойкости.

Прокладка воздуховодов и их пределы огнестойкости должны отвечать требованиям не ниже предъявляемых [244].

При этом транзитная прокладка через другие помещения воздуховодов для помещений категорий А и Б и воздуховодов систем местных отсосов взрывоопасных смесей не допускается.

На платформе допускается использовать следующие виды отопления:

– системы воздушного отопления с нагревом воздуха негорючим теплоносителем (например, горячая вода или пар) или электрическими нагревателями, имеющими уровень взрывозащиты, соответствующий классу взрывоопасной зоны в обслуживаемом помещении;

– местные нагревательные приборы с негорючим теплоносителем;

– электрическое отопление с местными нагревательными приборами (за исключением помещений категорий А, Б и В1). Электрические нагревательные приборы должны иметь уровень взрывозащиты, соответствующий классу взрывоопасной зоны в обслуживаемом помещении.

Рециркуляция воздуха не допускается:

– из помещений категорий А и Б;

– из 5-метровых зон вокруг оборудования, расположенного в помещениях категорий В1 –В4, Г и Д, если в этих зонах могут образовываться взрывоопасные смеси;

– из систем местных отсосов взрывоопасных смесей;

– из тамбур-шлюзов;

– из лабораторных помещений, в которых в результате проводимых работ могут выделяться горючие газы, пары и/или аэрозоли.

Для помещений категорий А и Б допускается предусматривать воздушное отопление с рециркуляцией воздуха при условии, что устройства удаления воздуха из указанных помещений оборудуются датчиками до взрывоопасных концентраций, при срабатывании которых обеспечивается автоматическое прекращение рециркуляции воздуха из помещения и перевод системы воздушного отопления на забор наружного воздуха.

Температура теплоотдающей поверхности элементов систем отопления не должна превышать 80 % от стандартной температуры самовоспламенения обращающихся и находящихся в помещении веществ и материалов.

В системах отопления допускается применять воду с добавками, предотвращающими ее замерзание. В качестве добавок не следует использовать ЛВЖ.

Системы водяного или парового отопления не допускается использовать в помещениях, в которых обращаются вещества и материалы, способные взрываться или гореть при взаимодействии с водой или водяными парами.

### **Система обнаружения утечек горючих газов и паров**

Система обнаружения утечек горючих газов и паров должна быть составной частью объединенной автоматической системы управления технологическими процессами и обеспечения безопасности платформы, ее следует проектировать адресной (по зонам).

Датчики довзрывоопасных концентраций необходимо устанавливать:

- в помещениях и на открытых площадках платформы, имеющих взрывоопасные зоны;
- на участках размещения резервуаров опасных стоков;
- в воздухозаборниках систем вентиляции и кондиционирования воздуха.

Датчики довзрывоопасных концентраций должны обеспечивать подачу предупреждающего светового и звукового сигналов при концентрации горючих газов (паров) 20 % и аварийного при концентрации горючих газов (паров) 40 % от НКПР.

Сигналы от системы обнаружения утечек горючих газов и паров должны поступать в операторную платформы.

Кроме того, предупреждающий и аварийный сигналы подаются в помещение установки датчика, а также у входов вне помещения.

Панель системы обнаружения довзрывоопасных концентраций горючих газов и паров (приемные станции) размещают в операторной платформы.

### **Система пожарной сигнализации**

Система пожарной сигнализации должна быть составной частью объединенной автоматической системы управления и обеспечения безопасности платформы.

Управление системой пожарной сигнализации платформы осуществляется с главного пульта управления, расположенного в операторной платформы. В местах расположения защищаемых зон могут размещаться местные пульты автоматических установок пожарной сигнализации. Информация о состоянии системы пожарной

сигнализации должна представляться на средствах отображения системы безопасности платформы.

Систему пожарной сигнализации следует проектировать адресной с автоматическим контролем исправности пожарных извещателей и соединительных линий, а также обнаружением очагов пожара по одному или нескольким из следующих признаков:

- повышению температуры выше допустимого значения;
- появлению пламени;
- появлению дыма;
- другим явлениям, сопутствующим пожару.

Назначение системы пожарной сигнализации – выполнение следующих функций:

- обнаружения очагов пожара;
- обнаружения проникновения дыма;
- выдачи извещения о пожаре в операторную платформу;
- включения соответствующих исполнительных систем и устройств.

Автоматическими установками пожарной сигнализации должны быть защищены помещения категорий А, Б, В1–В3, кабельные тоннели и трассы в помещениях, операторная платформы, аварийный центр управления, помещения жилого модуля.

Установка пожарных извещателей производится в соответствии с требованиями технической документации на данные извещатели и раздела 13 [93]. Допускается осуществлять альтернативное размещение извещателей относительно стен, перекрытий и других строительных конструкций, если это обеспечивает своевременное обнаружение пожара, что должно быть проверено при приемке объекта.

При выборе типов пожарных извещателей следует учитывать положения раздела 13 [93]. Для обнаружения пожара на платформе устанавливаются пожарные извещатели следующих типов:

- тепловой или пламени – в помещениях, где возможно горение ГГ, ЛВЖ и ГЖ, смазочных материалов;
- дымовой или тепловой – в жилом модуле, в помещениях с электрооборудованием и электроникой, в помещениях складов, мастерских и воздуховодах;
- дымовой – на эвакуационных путях.

Помещения для приготовления пищи необходимо оснащать тепловыми пожарными извещателями.

В том случае, когда в зоне контроля доминирующий фактор пожара не определен, следует применять комбинацию пожарных извещателей, реагирующих на различные факторы пожара, или комбинированные пожарные извещатели.

Пожарные извещатели должны быть устойчивы к воздействию электромагнитных помех, которые могут иметь место на платформе.

В местах, где имеется опасность механического повреждения извещателя, предусматривается защитная конструкция, не нарушающая его работоспособность и эффективность обнаружения загорания.

Количество автоматических пожарных извещателей определяется необходимостью обнаружения загораний по всей контролируемой площади пожароопасных зон.

Каждую точку защищаемой зоны необходимо контролировать не менее чем двумя пожарными извещателями. В каждом защищаемом помещении следует устанавливать не менее двух пожарных извещателей. Допускается установка одного пожарного извещателя при выполнении условий 13.3 [93].

Размещение точечных тепловых и дымовых пожарных извещателей необходимо производить с учетом воздушных потоков в защищаемом помещении, вызываемых приточной или вытяжной вентиляцией, при этом расстояние от извещателя до вентиляционного отверстия должно быть не менее 1 м.

Ручные пожарные извещатели следует устанавливать в зонах расположения оборудования, а также вдоль эвакуационных путей, в коридорах, на стенах конструкциях на расстоянии не более 50 м друг от друга, на высоте 1,5 м от уровня пола в местах, удаленных от электромагнитов, постоянных магнитов и других устройств, воздействие которых может вызвать самопроизвольное срабатывание ручного пожарного извещателя, на расстоянии:

- не менее 0,5 м от органов управления электрооборудованием;
- не менее 0,75 м от различных предметов, мебели, оборудования, препятствующих свободному доступу к извещателю.

Аппаратура системы пожарной сигнализации должна формировать команды на управление в объединенную автоматизированную систему управления технологически-

ми процессами и обеспечения безопасности платформы в соответствии с требованиями раздела 13 [93].

### **Система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре**

Система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре (СОУЭ) должна быть связана с объединенной автоматической системой управления и обеспечения безопасности платформы.

Оповещение персонала о пожаре осуществляется следующими способами:

- подачей звуковых и световых сигналов о возникновении пожара во все помещения платформы с постоянным или временным пребыванием людей;
- трансляцией речевой информации о необходимости эвакуации, о расположении путей эвакуации, пунктов сбора и о других действиях, направленных на обеспечение безопасности.

Управление эвакуацией осуществляется следующими способами:

- включением эвакуационного (аварийного) освещения;
- передачей по системе оповещения специально разработанных инструкций по порядку эвакуации;
- включением световых либо применением люминесцентных знаков и указателей направления эвакуации.

Количество звуковых оповещателей и их параметры должны обеспечивать необходимую слышимость во всех местах постоянного и временного пребывания персонала платформы в соответствии с требованиями [245].

На платформе систему оповещения о пожаре допускается совмещать с системой оповещения в случае тревоги.

На участках платформы с высоким уровнем шумов звуковые оповещатели системы оповещения необходимо дополнять световыми оповещателями (например, проблесковыми огнями).

Электроснабжение, заземление, принципы выбора и прокладки кабельных цепей системы оповещения о пожаре должны быть аналогичны автоматической пожарной сигнализации.

Управление СОУЭ должно осуществляться из операторной платформы и центра аварийного управления платформы.

### **Противодымная защита**

Система противодымной защиты платформы должна обеспечивать защиту людей на путях эвакуации и в безопасных зонах, в том числе во временном убежище, от воздействия опасных факторов пожара в течение времени, необходимого для эвакуации людей во временное убежище, времени развития и тушения пожара, или до окончания покидания персоналом платформы посредством удаления продуктов горения и термического разложения (далее – продуктов горения) и/или предотвращения их распространения.

При этом выполняются следующие задачи:

- безопасная эвакуация людей при пожаре, возникшем в одном из помещений;
- предотвращение распространения продуктов горения при пожаре на пути эвакуации во временное убежище;
- предотвращение попадания продуктов горения во временное убежище при пожаре.

Система противодымной защиты платформы предусматривает один или несколько из следующих способов защиты:

- использование объемно-планировочных и конструктивных решений платформы для борьбы с задымлением при пожаре;
- использование приточной противодымной вентиляции для создания избыточного давления воздуха в защищаемых помещениях, тамбур-шлюзах и в лестничных клетках;
- использование устройств и средств механической и естественной вытяжной противодымной вентиляции для удаления продуктов горения и термического разложения.

Системы противодымной вентиляции временного убежища должны быть автономными.

Вытяжная противодымная вентиляция должна обеспечивать удаление продуктов горения при пожаре непосредственно из помещения пожара, коридоров и холлов на путях эвакуации.

Системы вытяжной противодымной вентиляции предусматривают для удаления продуктов горения при пожаре:

- из коридоров длиной более 15 м без естественного освещения;
- из каждого производственного или складского помещения категорий А, Б, В1–В3 с постоянными рабочими местами без естественного освещения или с естественным освещением через окна, не имеющие механизированных приводов для открывания или имеющих площадь, недостаточную для удаления дыма при пожаре;
- из каждого помещения без естественного освещения площадью 50 м<sup>2</sup> и более с постоянными рабочими местами, предназначенного для хранения или использования горючих веществ и материалов.

Требования настоящего пункта не распространяются:

- на помещения (кроме помещений категорий А и Б) площадью до 200 м<sup>2</sup>, оборудованные установками автоматического водяного или пенного пожаротушения;
- помещения, оборудованные установками автоматического газового или порошкового пожаротушения;
- коридор и холл, если из всех помещений, имеющих двери в этот коридор или холл, проектируется непосредственное удаление продуктов горения.

Расход продуктов горения, удаляемых вытяжной противодымной вентиляцией, следует определять расчетом в соответствии с требованиями [244].

Системы вытяжной противодымной вентиляции, предназначенные для защиты коридоров, проектируют отдельными от систем, предназначенных для защиты помещений.

Для систем вытяжной противодымной вентиляции следует предусматривать:

- вентиляторы с пределами огнестойкости в зависимости от расчетной температуры перемещаемых газов в соответствии с требованиями [244];
- воздуховоды и каналы класса П из негорючих материалов с пределами огнестойкости не менее EI 45 – для вертикальных воздуховодов и шахт при удалении

продуктов горения непосредственно из обслуживаемых помещений; EI 30 – в остальных случаях;

– дымовые клапаны с автоматически и дистанционно управляемыми приводами с пределами огнестойкости не менее: EI 45 – для непосредственно обслуживаемых помещений; EI 30 – для коридоров и холлов при установке дымовых клапанов на ответвлениях воздуховодов от дымовых вытяжных шахт; EI 30 – для коридоров и холлов при установке дымовых клапанов непосредственно в проемах шахт, с ненормируемым пределом огнестойкости – для систем, обслуживающих одно помещение (кроме помещений категорий А, Б, В1–В3);

– выброс продуктов горения над покрытиями помещений и сооружений на расстоянии не менее 5 м от воздухозаборных устройств систем приточной противодымной вентиляции и границ взрывоопасных зон; выброс в атмосферу следует предусматривать на высоте не менее 2 м от кровли из горючих материалов; допускается выброс продуктов горения на меньшей высоте при защите кровли негорючими материалами на расстоянии не менее 2 м от края выбросного отверстия;

– установку обратных клапанов у вентиляторов.

Вентиляторы для удаления продуктов горения размещают в отдельных помещениях, выгороженных противопожарными преградами с пределом огнестойкости не менее EI 45.

Допускается установка вентиляторов непосредственно в каналах при условии обеспечения соответствующих пределов огнестойкости вентиляторов и каналов.

Одновременная работа автоматических установок порошкового или газового пожаротушения и систем противодымной вентиляции в помещении пожара не допускается.

Подачу наружного воздуха при пожаре приточной противодымной вентиляцией следует предусматривать:

- в незадымляемые лестничные клетки;
- в тамбур-шлюзы при незадымляемых лестничных клетках;
- в иные определенные в проектной документации защищаемые помещения.

Расход наружного воздуха для приточной противодымной вентиляции следует рассчитывать на обеспечение избыточного давления не менее 20 Па.

Величину избыточного давления определяют относительно смежных помещений с защищаемым помещением.

Производительность приточной противодымной вентиляции определяют расчетом в соответствии с требованиями [244].

Для систем приточной противодымной вентиляции следует предусматривать:

- установку вентиляторов в отдельных от вентиляторов другого назначения помещениях, выгороженных противопожарными преградами с пределом огнестойкости не менее EI 45. Допускается размещать вентиляторы соответствующего исполнения снаружи помещений;

- воздуховоды и каналы класса П из негорючих материалов с пределами огнестойкости не менее: EI 120 – при прокладке воздухозаборных шахт и приточных каналов за пределами обслуживаемого пожарного отсека; EI 30 – при прокладке воздухозаборных шахт и приточных каналов в пределах обслуживаемого пожарного отсека;

- установку обратного клапана у вентилятора;

- приемные отверстия для наружного воздуха, размещаемые на расстоянии не менее 5 м от места выбросов продуктов горения систем противодымной вытяжной вентиляции и от границ взрывоопасных зон;

- противопожарные нормально закрытые клапаны с пределом огнестойкости не менее EI 30.

Места размещения воздухозаборников систем приточной противодымной вентиляции определяются на основе анализа возможных пожаров на платформе.

При срабатывании дымовых пожарных извещателей, установленных в указанных воздухозаборниках, должно автоматически обеспечиваться:

- закрытие огнезадерживающих клапанов в воздуховодах воздухозаборника;

- отключение вентиляторов приточной системы, подающей воздух от указанного воздухозаборника.

### **Противопожарное водоснабжение**

Проектирование противопожарного водоснабжения выполняют с учетом требований [93].

Система противопожарного водоснабжения платформы должна включать:

- кольцевой противопожарный водопровод;
- пожарные насосы (основной или основные – с электроприводом, резервный или резервные – с дизельным приводом);
- резервуары противопожарного запаса воды (при необходимости);
- трубопроводы и запорную арматуру для подачи воды к установкам пожаротушения и водяного орошения;
- внутренний противопожарный водопровод с пожарными кранами, снабженными рукавами и стволами.

Насосы необходимо рассчитывать на подачу неподготовленной заборной морской воды.

Суммарная производительность и напор основного пожарного насоса (основных пожарных насосов) должны быть достаточными для обеспечения одновременной эффективной работы установок водяного и пенного пожаротушения, установок орошения, водяных завес, ручных пожарных стволов при максимальном проектном пожаре и определяются расчетом.

Производительность резервного насоса не может быть ниже производительности максимального по расходу основного насоса.

Основные и резервные насосы следует устанавливать на разных участках платформы или разделять противопожарными преградами с пределом огнестойкости не менее REI 120, чтобы в случае аварии или пожара исключить возможность одновременного выхода из строя всех пожарных насосов.

Дизельные двигатели приводов пожарных насосов оснащают автономными баками для топлива. Запас топлива должен обеспечить непрерывную работу каждого насоса в течение не менее 6 часов.

Все потребители заборной воды на платформе (кроме пожарных насосов) при пожаре должны автоматически отключаться от системы подачи заборной воды. Указанное требование не распространяется на отдельные системы подачи воды для пожаротушения и иных потребителей морской воды.

Необходимо постоянное поддержание требуемых параметров воды (давление, температура) в кольцевом противопожарном водопроводе.

Пожарные насосы должны запускаться:

а) автоматически:

- при обнаружении пожара;
- при обнаружении утечки газа;
- по сигналу низкого давления в кольцевом противопожарном водопроводе;
- по сигналу от ручных пожарных извещателей;

б) вручную:

- от кнопок в операторной платформе;
- от кнопки в помещениях установки пожарных насосов на местном щите управления насосами;
- от кнопки вблизи вертолетной площадки.

В операторной платформе следует устанавливать указатели потери давления воды в противопожарном водопроводе.

Дизельный привод пожарного насоса должен отключаться вручную следующим образом:

- от кнопки на местном щите управления насосом;
- при помощи устройства на впускном клапане системы подачи дизельного топлива.

В системе противопожарного водоснабжения устанавливают секционные задвижки, что позволяет в случае необходимости при повреждении, проведении технического обслуживания, испытаний или ремонта отключать только один насос и обеспечивать при этом бесперебойную подачу воды для целей пожаротушения. Данные задвижки должны быть опломбированы в открытом положении при нормальном режиме эксплуатации и снабжены датчиками положения текущего их состояния, выдающими информацию на пульт оператора.

Кольцевой противопожарный водопровод должен быть расположен таким образом, чтобы конструкции платформы можно было использовать в качестве экрана для защиты от возможного пожара или повреждений от ударов.

Система противопожарного водоснабжения оборудуется сигнализацией в операторную платформу об открытии или закрытии дистанционно управляемой запорной арматуры.

Кольцевой противопожарный трубопровод должен обеспечивать подачу воды на следующие системы (установки):

- пожарные краны;
- спринклерные установки пожаротушения;
- дренчерные установки пожаротушения;
- лафетные стволы;
- установки орошения;
- водяные завесы.

Параметры водяного потока в противопожарном водопроводе при пожаре определяют расчетом в зависимости от вида, назначения, технических характеристик применяемых противопожарных установок, исходя из необходимости тушения пожара на любом участке платформы.

Участки трубопроводов противопожарной системы водоснабжения, проходящие в неотопливаемых помещениях и на открытых палубах, в необходимых случаях должны быть утеплены с помощью теплоизоляции и снабжены подогревом для обеспечения незамерзания воды при максимально низких температурах. В трубопроводе противопожарного водоснабжения в определенных местах устанавливаются датчики температуры, сигналы от которых о снижении температуры воды ниже допустимого уровня поступают в операторную платформы.

Противопожарный водопровод рекомендуется оборудовать отводами для осуществления противопожарного водоснабжения с требуемой производительностью от судов в аварийной ситуации (пожар, открытый фонтан), которые должны выходить с противоположных сторон платформы.

Кольцевой противопожарный трубопровод оборудуется необходимой арматурой и соединениями для проведения испытаний, периодических проверок, промывки и выпуска воздуха при первоначальном заполнении.

Подключение пожарных кранов и лафетных стволов к противопожарному водопроводу проектируется с тем расчетом, чтобы отключение подачи воды к спринклерной или дренчерной установкам данного участка не приводило к прекращению подачи воды к пожарным кранам или лафетным стволам данного участка.

Размещение пожарных кранов и длина рукавов должны обеспечивать подачу не менее чем двух струй воды от разных кранов в любую точку платформы.

При этом расход воды на внутреннее пожаротушение определяется и обосновывается в проектной документации в зависимости от объемно-планировочных решений и функционального назначения защищаемого помещения или участка.

Места расположения пожарных кранов, места пуска противопожарных систем следует оборудовать световыми или люминесцентными указателями, а также аварийным освещением.

Трубопроводы противопожарного водоснабжения необходимо содержать постоянно заполненными пресной водой. При использовании морской воды должна быть обеспечена защита противопожарного водопровода от коррозии и отложений солей. После использования морской воды система подлежит промывке пресной водой.

### **Система пожаротушения и водяного орошения**

Система пожаротушения платформы может включать следующие установки:

- водяного и пенного пожаротушения (спринклерные и дренчерные);
- газового пожаротушения;
- порошкового пожаротушения;
- пожаротушения тонкораспыленной водой;
- пожаротушения лафетными стволами.

При проектировании установок пожаротушения необходимо обеспечить выполнение требований не ниже предъявляемых разделами 5, 8 и 12 [93].

Автоматическими установками пожаротушения должны быть защищены помещения:

- категорий А, Б, В1 по взрывопожарной и пожарной опасности – независимо от площади;
- для размещения генераторов и пожарных насосов с приводом от двигателей, работающих на жидком топливе;
- жилого модуля (некоторые помещения, перечень которых представлен далее по тексту);
- с электротехническим оборудованием (трансформаторные, распределительные устройства, шкафы управления) без постоянных рабочих мест.

Тип автоматической установки пожаротушения, способ тушения, вид огнетушащих средств определяют на стадии разработки проектной документации в зависимости от технологических, конструктивных и объемно-планировочных особенностей защищаемых помещений.

Автоматические установки пожаротушения должны выполнять одновременно и функции автоматической пожарной сигнализации.

Узлы управления установками пожаротушения размещают вне защищаемых ими зон.

Установки пожаротушения, предназначенные для работы в автоматическом режиме и в режиме дистанционного пуска, должны отвечать следующим требованиям:

- исключение самопроизвольного запуска установки при вибрационных нагрузках;
- обеспечение возможности ручного запуска и останова по месту расположения;
- обеспечение всех средств управления, запорно-регулирующей арматуры надписями с указанием помещений, для которых они предназначены.

Нижеследующие помещения жилого модуля следует оборудовать автоматическими установками пожаротушения:

- жилые помещения;
- помещения для приготовления пищи (локальные установки над плитами);
- помещения для хранения документации;
- склады сухих продуктов;
- прачечные;
- аварийные электрощитовые.

Автоматические установки водяного или пенного пожаротушения должны быть предусмотрены для защиты:

- технологических помещений;
- оборудования, расположенного на открытых палубах в районе взрывоопасных зон, согласно Правилам [246];
- помещений участков устьев скважин;
- помещений двигателей пожарных насосов;
- складских помещений.

Для помещений, в которых имеются установки с открытыми неизолированными токоведущими частями, находящимися под напряжением, при водяном и пенном пожаротушении следует предусматривать автоматическое отключение электроэнергии до момента подачи огнетушащего вещества на очаг пожара.

Для водозаполненной спринклерной установки в исходном состоянии следует использовать пресную воду. Допускается использовать морскую воду, если в процессе эксплуатации установки коррозия ее элементов и выпадающий из морской воды солевой осадок не приводят к снижению эффективности тушения пожара установкой пожаротушения или к ее отказу.

Спринклерную установку рекомендуется разделять на отдельные секции, каждая из которых должна иметь самостоятельный узел управления.

В операторной платформы, а также в центре аварийного управления должна быть предусмотрена световая и звуковая сигнализация о срабатывании установок пожаротушения.

Для тушения пожаров в помещениях, где возможны проливы ЛВЖ и ГЖ, рекомендуется применять дренчерные установки пожаротушения пеной низкой кратности.

Интенсивность подачи раствора пенообразователя принимается в соответствии с типом используемого пенообразователя и видом пожарной нагрузки.

Расчетное время тушения пожара следует принимать:

- 15 мин – для помещений категорий А, Б, В1 по взрывопожарной и пожарной опасности;
- 10 мин – для помещений категорий В2, В3 по пожарной опасности.

Кроме расчетного, необходимо предусматривать 100%-й резерв пенообразователя.

Для тушения пожара на вертолетной площадке следует применять не менее двух стационарных водопенных лафетных стволов.

Стволы размещают в безопасном месте с противоположных сторон вертолетной площадки.

Технические характеристики ствола должны обеспечивать подачу раствора пенообразователя в любую точку вертолетной площадки при погодных условиях, пригодных для работы вертолета.

Расход пенообразователя на тушение пожара определяют расчетом, исходя из нормативной интенсивности подачи раствора пенообразователя, расчетной площади тушения и рабочей концентрации пенообразователя.

Нормативная интенсивность подачи раствора пенообразователя определяется в соответствии с типом используемого пенообразователя и видом используемого вертолетного топлива.

Расчетную площадь тушения для вертолетной площадки следует принимать равной ее полной площади.

Расчетное время тушения пожара принимают равным 15 мин.

Необходимо предусмотреть трехкратный запас пенообразователя.

Используемые пенообразователи должны быть предназначены для функционирования в морской воде и быть пригодными для тушения нефти, нефтепродуктов и метанола.

Для предотвращения увеличения масштаба аварии при пожаре на платформе следует предусматривать установки водяного орошения:

- для производственных зон, содержащих емкостное технологическое оборудование с ЛВЖ, ГЖ и ГГ под давлением;
- участка устьевого оборудования;
- фонтанного устьевого оборудования;
- пола буровой установки.

Допускается водяное орошение осуществлять дренчерными системами пожаротушения и/или стационарными лафетными стволами, при этом каждая точка защищаемой поверхности должна орошаться не менее чем двумя лафетными стволами.

Пуск установок водяного орошения должен осуществляться вручную как с места возможного пожара, так и дистанционно.

Минимальная интенсивность подачи воды на орошение поверхности защищаемого оборудования должна составлять:

- 0,1 л/(м<sup>2</sup> · с) – для участков поверхности оборудования без арматуры;
- 0,5 л/(м<sup>2</sup> · с) – для участков устьевого оборудования и поверхности оборудования в местах расположения арматуры;
- 15 л/с – на орошение одной скважины.

Расчетную продолжительность орошения следует принимать не менее трех часов.

Для защиты путей эвакуации и мест посадки в коллективные спасательные средства от теплового излучения возможного пожара рекомендуется использовать водяные завесы.

Пуск водяных завес должен осуществляться вручную как с места возможного пожара, так и дистанционно.

Интенсивность подачи воды завесой должна быть не менее 1,2 л/с на 1 м длины завесы.

Помещения операторной платформы и центра аварийного управления следует оборудовать стационарными установками газового пожаротушения.

При проектировании установок газового пожаротушения необходимо обеспечить выполнение требований, не ниже предъявляемых [204] к этим установкам.

Для тушения пожара отдельных агрегатов или оборудования в тех случаях, когда применение установок пожаротушения с заполнением газом всего защищаемого помещения технически невозможно или экономически нецелесообразно, допускается применение установок локального газового пожаротушения по объему или установок порошкового пожаротушения.

### **Первичные средства пожаротушения**

На платформе следует предусматривать помещения пожарных постов для хранения одежды пожарных, пожарного оборудования, пожарного инструмента и инвентаря, первичных средств пожаротушения (огнетушителей), а также средств обеспечения личной безопасности персонала при пожаре.

Помещения пожарных постов должны быть сухими, отапливаемыми, оборудованными естественной вентиляцией и стеллажами. Двери этих помещений оборудуются легкооткрываемыми запорами.

Определение необходимого количества первичных средств пожаротушения следует проводить в соответствии с приложением 3 Правил [246].

При определении видов и количества первичных средств пожаротушения необходимо учитывать физико-химические и пожароопасные свойства горючих веществ, об-

рашающихся на платформе, эффективность их тушения огнетушащими веществами, а также площадь производственных помещений, открытых площадок и установок.

Комплектование помещений и сооружений платформы огнетушителями осуществляется с учетом требований технических условий (паспортов) на эти огнетушители.

Выбор типа и расчет необходимого количества огнетушителей производят в зависимости от их огнетушащей способности, предельной площади, класса пожара горючих веществ и материалов в защищаемом помещении.

Выбор типа огнетушителя (передвижной или ручной) обусловлен размерами возможных очагов пожара. При их значительных размерах необходимо использовать передвижные огнетушители.

Выбор типа огнетушителя осуществляют с учетом климатических условий его эксплуатации.

Если возможны комбинированные очаги пожара (различные классы пожара), то предпочтение при выборе огнетушителя отдается более универсальному по области применения.

Расстояние от возможного очага пожара до места размещения огнетушителя не должно превышать 10 м для жилого модуля, 15 м – для помещений категорий А, Б и В1–В3, 30 м – для помещений категории В4, Г и Д.

Размещение первичных средств пожаротушения в коридорах, проходах не должно препятствовать безопасной эвакуации людей. Их следует располагать на видных местах вблизи от выходов из помещений на высоте не более 1,5 м.

Огнетушители, пожарный ручной инструмент и инвентарь размещают вблизи мест вероятного применения на пожарных щитах (стендах) в любом из трех вариантов: навесные, приставные и встроенные.

В дополнение к ручным огнетушителям зоны бурового, технологического и инженерного оборудования, а также вертолетная площадка должны быть оснащены передвижными огнетушителями.

### **Организационно-технические мероприятия**

На платформе следует предусмотреть создание не менее двух пожарных подразделений из числа персонала (по одному в каждой смене при вахтовом режиме работы).

Персонал, входящий в состав этих подразделений, должен пройти подготовку по специально разработанным и согласованным в установленном порядке программам.

В перечень оснащения пожарных подразделений должно входить следующее:

- комплекты снаряжения для пожарных (аппараты дыхательные, костюмы пожарных, каски, светильники аккумуляторные, тросы предохранительные);
- комплекты пожарного инструмента;
- огнетушители воздушно-пенные;
- огнетушители порошковые;
- пожарные рукава и стволы;
- соединения пожарные переходные международного образца.

В операторной платформы и центре аварийного управления, а также на видных местах платформы необходимо постоянно вывешивать планы общего расположения МСП, на которых для каждой палубы представлено следующее:

- расположение постов управления;
- расположение огнестойких конструкций;
- помещения, оборудованные установками пожарной сигнализации;
- помещения и зоны, защищаемые установками пожаротушения, водяного орошения и водяными завесами, с указанием места расположения приборов и арматуры для управления их работой;
- расположение пожарных кранов;
- расположение первичных средств тушения;
- пути доступа в различные помещения и на палубы платформы с указанием путей эвакуации, коридоров и дверей;
- схема вентиляции, включая расположение заслонок и постов управления вентиляторами, а также опознавательных номеров вентиляторов;
- места хранения нижеуказанных документов.

В отдельной папке в легкодоступном месте должны находиться инструкции по техническому обслуживанию и применению всех средств и установок тушения и локализации пожара.

Планы и документы необходимо постоянно обновлять, и любые изменения в системе обеспечения пожарной безопасности платформы вносить в них в месячный срок.

Регламентные работы по техническому обслуживанию и планово-предупредительному ремонту установок пожарной сигнализации и пожаротушения, систем противодымной защиты, оповещения людей о пожаре и управления эвакуацией должны осуществляться в соответствии с планом-графиком, составляемым на основании технической документации заводов-изготовителей и сроков проведения ремонтных работ. Указанные работы выполняются специально обученным персоналом или специализированной организацией, имеющей разрешение на данный вид деятельности.

В период проведения работ по техническому обслуживанию или ремонту, связанных с отключением установок (отдельных линий, извещателей), должны быть приняты необходимые меры по защите от пожаров сооружений, помещений и технологического оборудования платформы.

### **Общие выводы по разработанным требованиям**

Наряду с разработанными требованиями для МСП представляется целесообразным соблюдение противопожарных требований, изложенных в других нормативных документах, утвержденных в установленном порядке. Эти нормативные документы могут содержать дополнения, уточнения и изменения разработанных требований, учитывающие особенности функционального назначения и специфику пожарной защиты отдельных видов МСП.

Комплексом разработанных требований пожарной безопасности целесообразно руководствоваться при:

- разработке нормативных документов, регламентирующих требования пожарной безопасности МСП;
- проектировании, строительстве, эксплуатации, реконструкции, техническом перевооружении и ликвидации МСП.

## ГЛАВА 4

### ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

#### 4.1 Состояние проблемы обеспечения пожарной безопасности магистральных трубопроводов

Магистральные трубопроводы являются одной из основных частей системы транспортировки нефти, газа и сопутствующих продуктов, и аварии на них, как правило, носят затяжной характер и приводят к тяжелым экологическим и материальным последствиям.

Многолетние наблюдения и данные статистики показывают, что разрушения трубопроводов могут носить различный характер. Аварии с пожарами на таких объектах могут иметь затяжной характер и представлять серьезную опасность для объектов, расположенных вблизи магистрального трубопровода. Ситуация усугубляется тем, что в результате развития градостроительной деятельности некоторые участки и объекты магистральных трубопроводов оказались в черте населенных пунктов, а в некоторых случаях и на расстояниях до соседних объектов, менее нормативных. Дополнительными факторами, повышающими пожарную опасность такого рода объектов, являются изношенность и старение систем магистрального трубопроводного транспорта.

Все это обуславливает необходимость проведения реконструкции таких объектов, направленной, в том числе, и на повышение уровня пожарной безопасности за счет применения современных технологий в области противоаварийной и противопожарной защиты, замены изношенного оборудования на новое, строительство новых трубопроводов и т.п. При этом наиболее сложным вопросом является определение достаточного и наиболее рационального комплекса мероприятий по обеспечению требуемого уровня пожарной безопасности таких объектов. Решение указанной проблемы требует наличия методов оценки пожарной опасности магистральных трубопроводов, позволяющих учитывать особенности конкретного объекта и влияния различных применяемых мероприятий по обеспечению пожарной безопасности.

#### 4.1.1 Причины и частоты возникновения аварийных ситуаций на магистральных трубопроводах

Статистика возникновения аварийных ситуаций на магистральном трубопроводном транспорте широко представлена как в отечественных, так и в зарубежных источниках информации [248, 249, 40]. Так по данным Ростехнадзора за период с 1996 по 2007 годы [40] основные причины аварий на магистральных нефтепроводах разбиты на шесть групп. Указанные данные представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Причины аварий на магистральных нефтепроводах по данным Ростехнадзора за период с 1996 по 2007 годы

Причины	Количество аварий, шт.												Всего:	
	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	шт.	%
	Брак строительно- монтажных ра- бот	3	0	3	5	0	4	1	1	0	2	2	-	21
Причины организационно- го характера	1	2	2	1	0	1	2	3	0	0	3	-	15	9
Механическое воздействие при проведении зем- ляных работ	4	3	7	3	2	0	0	1	2	1	-	-	23	14
Коррозия	3	0	3	1	2	0	1	0	0	0	1	-	11	7
Диверсия, самовольная врезка	3	1	1	2	4	6	3	13	15	8	12	10	78	48
Заводской брак	1	0	1	1	0	0	0	0	2	2	-	3	10	6
Прочие	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	-	-	3	2
ИТОГО:	16	6	18	13	8	11	7	18	19	13	18	-	161	100
Интенсивность аварий, 1/(1000 км·год)	0,32	0,12	0,36	0,26	0,16	0,22	0,14	0,36	0,38	0,26	0,37	0,25	среднее за 5 лет $\lambda_{cp} =$ 0,32	

По данным Европейской комиссии по инцидентам на магистральных трубопроводах Европы [249] за период 1970 – 2004 г. при общей протяженности трубопроводов 122 тыс. км средняя частота аварий составляет  $\lambda_{cp} = 0,42 / (1000 \text{ км} \cdot \text{год})$ . Указанные данные представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Частоты повреждений европейских трубопроводов в зависимости от причины и размера отверстий (за весь период наблюдений 1970-2004 г.г.) по данным [249]

Причина	Частота аварий на 1000 км/год				Относительная доля аварии, вызванных данной причиной, %
	Проколы (трещины), точечные отверстия	Отверстие	Разрыв	Всего	
Внешнее воздействие	$5,5 \cdot 10^{-2}$	$1,1 \cdot 10^{-1}$	$4,0 \cdot 10^{-2}$	$2,05 \cdot 10^{-1}$	49
Брак строительства, дефект материалов	$4,5 \cdot 10^{-2}$	$2,0 \cdot 10^{-2}$	$5,0 \cdot 10^{-3}$	$7,0 \cdot 10^{-2}$	17
Коррозия	$6,0 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	-	$6,1 \cdot 10^{-2}$	15
Движение грунта, вызванное природными явлениями	$8,0 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-2}$	$1,5 \cdot 10^{-2}$	$3,3 \cdot 10^{-2}$	7
Ошибки оператора	$1,5 \cdot 10^{-2}$	$8,0 \cdot 10^{-3}$	-	$2,3 \cdot 10^{-2}$	5
Прочие и неизвестные причины	$2,6 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	-	$2,7 \cdot 10^{-2}$	7
Итого	$2,1 \cdot 10^{-1}$	$1,5 \cdot 10^{-1}$	$6,0 \cdot 10^{-2}$	$4,2 \cdot 10^{-1}$	100

Необходимо отметить, что европейская статистика по аварийности магистральных трубопроводов учитывает не только причины аварий, которые так же как и в отечественной статистике разбиты на шесть классов, но и зависимость частоты повреждений на трубопроводах от размера отверстий, т.е. учитывается масштаб повреждений (см. таблицу 4.2). Так, «проколы, трещины, точечные отверстия» определяются как отверстия с диаметром до 2 см. «Отверстием» считается пробоина с диаметром более 2 см, но менее диаметры трубы. В работе [249] указывается также, что размер отверстия не может превышать 5-10 % от диаметра трубы, поскольку при больших размерах отверстие неизбежно раскрывается под действием давления. Разрыв трубы определяется как образование отверстия размером более 10 % диаметра трубы и полное вскрытие сечения трубы. В дальнейшем принимаем, что при разгерметизации магистрального трубопровода может реализоваться три типа утечек в зависимости от диаметра:

- 20 мм;
- 10 % от диаметра трубы;

– полное разрушение.

Вместе с тем, за последние 5 лет, т.е. для вновь введенных в эксплуатацию трубопроводов, общая частота повреждений и аварий оценивается на уровне  $\lambda_{\text{ср}} = 0,14/(1000 \text{ км}\cdot\text{год})$ . Данные по распределению частот повреждений за последние пять лет по основным причинам аварий приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Распределение базовых (среднестатистических) частот разгерметизации европейских трубопроводов за период 2000 – 2004 г.г. по основным причинам аварий [249]

Причина	Относительная доля аварии, вызванных данной причиной, %	Базовая частота разгерметизации, 1/(км год)
Внешнее воздействие	49	$8,33 \cdot 10^{-5}$
Брак строительства, дефект материалов	17	$2,89 \cdot 10^{-5}$
Коррозия	15	$2,55 \cdot 10^{-5}$
Движение грунта, вызванное природными явлениями	7	$1,19 \cdot 10^{-5}$
Ошибки оператора	5	$8,50 \cdot 10^{-6}$
Прочие и неизвестные причины	7	$1,19 \cdot 10^{-5}$
Итого	100	$1,70 \cdot 10^{-4}$

Отметим, что вновь вводимых в эксплуатацию трубопроводов должны учитываться данные по частотам разгерметизации, приведенные в таблице 4.3. Для каждого участка трубопровода в соответствии с долями частот, приведенных в таблице 4.2, может быть сформирована таблица распределения частот разгерметизации по причинам в соответствии с данными, представленными в таблице 4.3. Полученные таким образом данные представлены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Частоты повреждений вводимых в эксплуатацию трубопроводов в зависимости от причины повреждения и размера отверстий

Причина	Частота аварий на 1 км/год			
	Проколы (трещины), точечные отверстия	Отверстие	Разрыв	Всего
Внешнее воздействие	$2,2 \cdot 10^{-5}$	$4,5 \cdot 10^{-5}$	$1,6 \cdot 10^{-5}$	$8,3 \cdot 10^{-5}$
Брак строительства, дефект материалов	$1,9 \cdot 10^{-5}$	$8,3 \cdot 10^{-6}$	$2,1 \cdot 10^{-6}$	$2,9 \cdot 10^{-5}$
Коррозия	$2,5 \cdot 10^{-5}$	$4,0 \cdot 10^{-7}$	0	$2,5 \cdot 10^{-5}$
Движение грунта, вы-	$2,9 \cdot 10^{-6}$	$3,6 \cdot 10^{-6}$	$5,4 \cdot 10^{-6}$	$1,19 \cdot 10^{-5}$

Причина	Частота аварий на 1 км/год			
	Проколы (трещины), точечные отверстия	Отверстие	Разрыв	Всего
званное природными явлениями				
Ошибки оператора	$5,6 \cdot 10^{-6}$	$2,9 \cdot 10^{-6}$	0	$8,50 \cdot 10^{-6}$
Прочие и неизвестные причины	$1,2 \cdot 10^{-5}$	$4,0 \cdot 10^{-7}$	0	$1,2 \cdot 10^{-5}$
Итого	$8,6 \cdot 10^{-5}$	$6,0 \cdot 10^{-5}$	$2,4 \cdot 10^{-5}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$

## **4.2 Методика определения расчетных значений пожарного риска для линейной части магистральных трубопроводов**

### **4.2.1. Определение частот разгерметизации магистрального трубопровода**

Для составления методики определения частот разгерметизации магистрального трубопровода были использованы результаты работы [247], основные положения которой приведены выше.

### **4.2.2. Оценка влияния различных факторов на частоту разгерметизации трубопровода**

Одним из наиболее важных этапов оценки пожарного риска является определение частот реализации пожароопасных ситуаций. Опыт определения этих величин показал, что наибольшую трудность вызывает сбор необходимой информации, в особенности данных по отказам технологического оборудования. При этом качество статистической информации (полнота и достоверность) в значительной мере определяет достоверность полученных результатов расчета значений риска.

К основным факторам, влияющим на частоту аварийной разгерметизации магистральных трубопроводов, относят природные факторы (грунтовые, гидрологические, климатические, сейсмические, топографические и др.); антропогенные, связанные с человеческой деятельностью; конструктивно-технологические параметры, включающие технические и организационные факторы обеспечения безопасности; производственные, включая условия строительства и некоторые другие.

В связи с многообразием причин аварий, определяемых во многом условиями прохождения трассы, а также применяемых мер обеспечения пожарной безопасности, с целью определения частоты аварий для конкретного участка продуктопровода в соответствии с Приложением 6 к Методике [66] вводится система классификации, группирующая аварийные ситуации по причинам, вызвавшим инцидент (факторы влияния).

Поскольку источник опасности представляет собой линейный объект, при построении полей опасных факторов пожара (ОФП) учитывается специфика линейного объекта. Для линейного источника частоты иницирующих событий при реализации сценариев аварий имеют размерность  $\text{м}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$ , т.е. нормируются на единицу длины трубопровода.

Базовая частота разгерметизации продуктопровода принимается согласно Приложению 6 к Методике [66] как для нефтепроводов равной  $\lambda_6 = 2,7 \cdot 10^{-7} (\text{м} \cdot \text{год})^{-1}$ .

При определении размеров повреждений и частоты их реализации может быть использован подход, изложенный в Приложении 6 к Методике [66].

Наибольший риск аварий на продуктопроводах связан с продольными разрушениями, которые могут происходить как по основному металлу труб, так и в зоне сварных швов, при образовании коррозионных «свищей», «гильотинных» разрывов.

В качестве дефектных отверстий в соответствии с Приложением 6 к Методике [66] приняты как для нефтепроводов три отверстия с характерными размерами:

- $0,3 - L_p/D$  – «свищи»;
- $0,75 - L_p/D$  – трещины;
- $1,5 - L_p/D$  – «гильотинный» разрыв, где  $D$  – условный диаметр трубопровода.

Площадь дефектного отверстия  $S_{\text{эфф}}$  составляет  $0,0072 \cdot S_o$ ,  $0,0448 \cdot S_o$ ,  $0,179 \cdot S_o$  соответственно, где  $S_o$  – площадь поперечного сечения трубопровода. Значения  $S_{\text{эфф}}$  приведены для верхней границы интервала характерных размеров  $L_p/D$  дефектных отверстий в предположении об их ромбической форме с соотношением длины к ширине 8:1.

Условная вероятность реализации (доля разрывов) для отверстий составляет:

- $0,55$  – «свищи»;
- $0,35$  – трещины;
- $0,1$  – «гильотинный» разрыв.

Итоговая частота разгерметизации на каждом участке трубопровода  $m$  для заданного размера повреждения рассчитывается по формуле:

$$\lambda_j(m) = \lambda_0 \cdot \sum_{i=1}^6 f_{ij}(m) / 100, \quad (4.1)$$

где  $\lambda_j(m)$  – частота разгерметизации для  $j$ -го размера повреждений на участке  $m$  трубопровода;  $f_{ij}$  – относительная доля аварий для  $j$ -го размера повреждений по  $i$ -ой причине на участке  $m$  трубопровода;  $i$  – количество причин разрушения;  $j$  – количество размеров повреждений.

#### 4.2.2.1. Внешнее воздействие.

**Влияние толщины стенки трубы.** В общем случае, чем больше толщина стенки трубы, тем лучше её защищённость от внешнего воздействия. Вместе с тем согласно имеющимся стандартам требуемая толщина стенки увеличивается с увеличением диаметра трубы. Таким образом, чтобы избежать двойного учёта влияния толщины стенки (через диаметр трубы) используется регрессионная зависимость частоты разгерметизации, вызванной недостаточной толщиной стенки трубы  $f_{TC}$  (1000 км/год), от толщины стенки трубы  $\delta$  (мм):

$$f_{TC} = 1,0454 \cdot e^{-0.275\delta} \quad (4.2)$$

Отметим, что указанная регрессионная зависимость справедлива для данных, приведенных в таблице 4.2. Таким образом, поправочный коэффициент  $k_{TC}$  к базовой частоте разгерметизации при внешнем воздействии, ответственный за увеличение толщины стенки трубы, определяется следующим образом. Используя зависимость (4.1) получим, что базовой частоте разгерметизации при внешнем воздействии, равной  $f_{TC}$  (базовая) = 0,205 (1000 км/год), отвечает толщина стенки  $\delta_{баз} = 6$  мм. Тогда  $k_{TC} = f_{TC} / f_{TC}$  (базовая), где  $f_{TC}$  отвечает толщине стенки рассматриваемого трубопровода  $\delta$ .

**Заглубление трубопровода.** Поправочный коэффициент для трубопроводов, заглубленных на глубину более 1 м, составляет 0,73, а для трубопроводов, заглубленных на глубину от 0,8 до 1 м, составляет 0,93. При заглублении на глубину менее 0,8 м поправочный коэффициент к базовому показателю равен 1.

### **Переходы, выполненные методом наклонно-направленного бурения (ННБ).**

Предполагается, что на участках переходов, выполненных методом наклонно направленного бурения, из-за большой глубины перехода полностью исключено внешнее воздействие (поправочный коэффициент равен 0). Таким образом, на этих участках частота разгерметизации, вызываемая внешним воздействием, принимается равной 0.

### **Переходы через автодороги, железные дороги, инженерные коммуникации.**

Причина повреждения трубопроводов на перечисленных выше переходах – возможность внешнего воздействия, например, в случае использования тяжелой строительной или землеройной техники без согласования с компанией-оператором магистральных трубопроводов.

Поскольку достоверная информация о зависимости частоты аварий именно на переходах через автодороги, железные дороги и инженерные коммуникации отсутствует, методом экспертной оценки установлено, что на данных переходах частота аварий, вызванных внешним воздействием, в 2 раза превышает частоту аварий, вызванных тем же внешним воздействием на соседнем с переходом участке.

В том случае, если для трубопровода на переходах через автодороги, железные дороги, инженерные коммуникации предусмотрены защитные футляры (кожухи) из стальных труб с герметизацией межтрубного пространства, частоту разгерметизации этих участков по внешнему воздействию можно принять базовой, т.е.  $\lambda_{\text{ВВ}} = \lambda_{\text{баз}}$ .

**Алгоритм расчета частоты разгерметизации, вызванной внешним воздействием.** Частота разгерметизации трубопровода по причине внешнего воздействия рассчитывается по формуле:

$$f_{\text{ВВ}} = f_{\text{бВВ}} \cdot k_{\text{ТС}} \cdot k_{\text{ЗГ}}, \quad (4.3)$$

где  $f_{\text{ВВ}}$  – частота разгерметизации трубопровода по причине внешнего воздействия;  $f_{\text{бВВ}}$  – базовая частота разгерметизации трубопровода по причине внешнего воздействия согласно таблице 4.3.4;  $k_{\text{ТС}}$  – поправочный коэффициент (фактор влияния) частоты разгерметизации трубопровода по причине внешнего воздействия, учитывающий влияние толщины стенки трубопровода;  $k_{\text{ЗГ}}$  – поправочный коэффициент (фактор влияния) частоты разгерметизации трубопровода по причине внешнего воздействия, учитывающий влияние толщины слоя грунта над трубопроводом.

Для участков трубопровода на переходах через железные дороги, категорированные автомобильные дороги, а также подземные коммуникации (кабели, трубопроводы), оборудованные защитными кожухами, частота разгерметизации, вызванной возможным внешним воздействием на этих участках, в 2 раза превышает частоту разгерметизации трубопровода равного класса безопасности и с той же величиной заглубления.

#### 4.2.2.2. Строительный брак и дефекты материалов

В соответствии с [247] частота разгерметизации трубопровода по причине строительного брака и дефектов материалов принимается равной базовой частоте  $\lambda_{\text{баз}}$  для данного вида утечки, умноженной на поправочный коэффициент, равный 0,07 для трубопроводов, построенных после 1984 г. (т.е. условно для всех современных трубопроводов), когда активно начали применяться современные материалы, средства контроля при строительстве и последующей эксплуатации трубопроводов.

#### 4.2.2.3. Коррозия

**Срок ввода в эксплуатацию.** Для современных трубопроводов частота повреждений из-за коррозии учитывается с поправочным коэффициентом 0,16 по отношению к средней величине для трубопроводов, построенных после 1973 г.

**Толщина стенки трубы.** Частота отказов для трубопроводов с толщиной стенки в интервале от 5 до 10 мм примерно равна средней частоте отказов, то есть поправочный коэффициент для трубопроводов с такой толщиной стенки равен 1. Для трубопроводов с толщиной стенки в интервале от 0 до 5 мм значение частоты отказов, вызванных коррозией, умножается на коэффициент 2. Наоборот, для трубопроводов с толщиной стенки более 10 мм поправочный коэффициент влияния частоты отказов по причине коррозии составляет 0,03 от средней величины.

**Защитное покрытие.** Большинство современных трубопроводов оснащено той или иной системой защиты, изоляцией и/или катодной защитой. Применяемое покрытие дает поправочный коэффициент 0,16 по сравнению со средней величиной.

**Алгоритм расчета частоты разгерметизации, вызванной коррозией.** С учетом вышеизложенного частота разгерметизации современных трубопроводов по

причине коррозии принимается равной базовой частоте  $f_{\text{бк}}$  (см. таблицу 4.2.4), умноженной на поправочные коэффициенты, учитывающие толщину стенки, а также современные системы антикоррозионной защиты.

Частота разгерметизации трубопровода по причине коррозии рассчитывается по формуле:

$$f_k = f_{\text{бк}} \cdot k_{\text{п}} \cdot k_{\text{зп}}, \quad (4.4)$$

где  $f_k$  – частота разгерметизации трубопровода по причине коррозии,  $f_{\text{бк}}$  – базовая частота разгерметизации трубопровода по причине коррозии,  $k_{\text{п}}$  – поправочный коэффициент частоты разгерметизации трубопровода по причине коррозии, учитывающий влияние толщины стенки,  $k_{\text{зп}}$  – поправочный коэффициент частоты разгерметизации трубопровода по причине коррозии, учитывающий использование систем противокоррозионной защиты.

#### 4.2.2.4. Движение грунта, вызванное природными явлениями

На движение грунта следует обращать особое внимание в районах с неустойчивой земной поверхностью – т.е. в районах, подверженных наводнениям, оползням и землетрясениям. В общем случае решающее влияние на частоту аварий по причине движения грунта оказывает специфика местности, по которой проходит трасса трубопроводов. В частности, трубопроводы, проложенные в равнинной несейсмичной зоне, имеют очень малую вероятность быть поврежденными в результате движения грунтов, вызванных природными процессами.

В сложных условиях можно полагать, что на увеличение частоты аварий будут влиять разнообразные геопасности, характерные для трассы. Вклад от геопасностей в частоту аварий рассчитывается на основе анализа вероятности опасного смещения грунта по трассе магистральных трубопроводов.

При определении частоты разгерметизации трубопроводов, вызванной движением грунта, следует учитывать: общую сейсмичность местности, переходы через активные тектонические разломы, участки разжижения грунта; оползневые и селевые участки, болота и заболоченные участки; переходы через водные преграды.

Для того чтобы рассчитать общую частоту повреждений, необходимо учесть специальные инженерно-технические решения на участках с указанными выше геопаспасностями.

Относительная доля аварий  $f_{грj}$  для  $j$ -го размера повреждений по причине движения грунта рассчитывается по формуле:

$$f_{грj} = f_{б4j} \cdot k_{дгд} \cdot k_{пер}, \quad (4.5)$$

где  $f_{б4j}$  – базовая относительная доля аварий по причине движения грунта;  $k_{пер}$  – поправочный коэффициент, учитывающий прохождение трассы трубопровода через водные преграды, принимаемый равным:  $k_{пер} = 5$  для водных преград,  $k_{пер} = 1$  при отсутствии переходов либо выполненных методом ННБ;  $k_{дгд}$  – поправочный коэффициент, зависящий от диаметра трубопровода ( $D$ , мм):

$$k_{дгд} = e^{-0,00156(D-274)} \quad (4.6)$$

#### 4.2.2.5. Ошибки оператора

Зависимость частоты повреждений по причине ошибки оператора от диаметра трубопровода может быть описана следующим регрессионным соотношением:

$$f_{oo} = 0,06617e^{-0,10143D} \quad (4.7)$$

где  $f_{oo}$  – частота отказов на 1000 км в год, произошедших по причине ошибки оператора;  $D$  – диаметр трубопровода в дюймах.

Отметим, что указанная регрессионная зависимость справедлива для данных, приведенных в таблице 4.2. Таким образом, поправочный коэффициент  $k_{oo}$  к базовой частоте разгерметизации из-за ошибки оператора определяется следующим образом. Используя зависимость получим, что базовой частоте разгерметизации из-за ошибки оператора, равной  $f_{oo}$  (базовая) = 0,023 (1000 км/год), отвечает диаметр трубопровода  $D_{баз} = 10,4$  дюйма. Тогда  $k_{oo} = f_{oo}/f_{oo}$  (базовая), где  $f_{oo}$  отвечает диаметру рассматриваемого трубопровода  $D$ .

### 4.2.3. Расчет частоты разгерметизации

Итоговая частота разгерметизации на каждом участке трубопровода для заданного диаметра эквивалентного отверстия рассчитывается по формуле:

$$F_j(m) = \sum_{i=1}^s f_{ij}(m), \quad (4.8)$$

где  $F_j(m)$  – частота разгерметизации для  $j$ -го размера повреждений на участке  $m$  трубопровода;  $f_{ij}$  – частота разгерметизации для  $j$ -го размера повреждений по  $i$ -ой причине на участке  $m$  трубопровода;  $i$  – количество причин разрушения ( $s_{\max} = 6$ );  $j$  – количество размеров повреждений ( $j = 3$ ).

### 4.2.4. Определение расходов и масс истекающих веществ

Определение расходов и масс истекающих веществ проводится в зависимости от параметров трубопровода (давление, температура), вида продукта, диаметра утечки, длительности истечения до отсечки аварийного участка, метеорологических условий по методам, изложенным в [66].

### 4.2.5. Определение возможных сценариев аварии

Для определения возможных сценариев возникновения и развития пожаров для магистральных трубопроводов целесообразно использовать метод логических деревьев событий, при этом учитывая следующие виды аварий: факел; пожар-вспышка (воспламенение с задержкой); взрыв (воспламенение с задержкой); пожар пролива (отложенное воспламенение при истечении жидкой фазы после пожара вспышки и взрыва).

Дерево событий развития аварий, связанных с разгерметизацией и полным разрушением магистрального трубопровода, представлено на рисунке 4.1. Символы  $Q$  обозначают:  $Q_{AB}$  – частота разгерметизации магистрального трубопровода;  $Q_{MG}$  – условная вероятность мгновенного воспламенения;  $Q_{ПВ}$  – условная вероятность последующего воспламенения при отсутствии мгновенного воспламенения;  $Q_{ИД}$  – условная вероятность сгорания с образованием избыточного давления при последующем воспламенении. Данные по соответствующим частотам, приведены в [66].

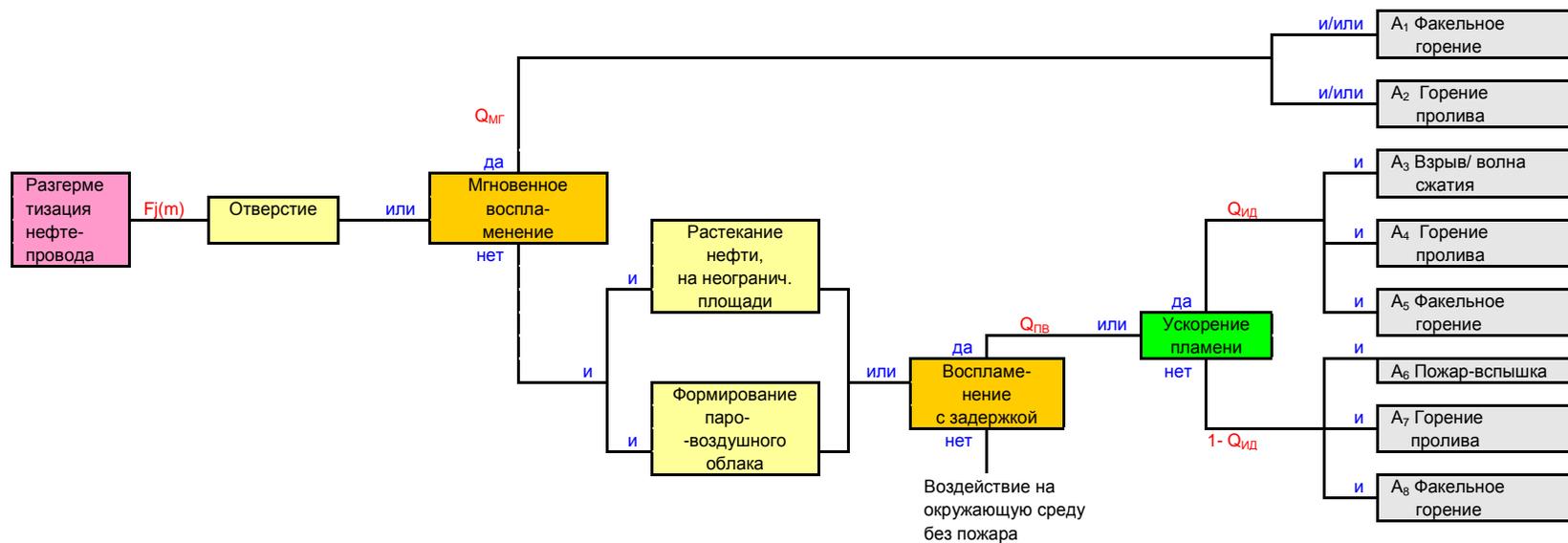


Рисунок 4.1 – Дерево событий развития аварии для магистрального трубопровода

#### 4.2.6. Построение полей поражающих факторов пожара и взрыва

Построение полей поражающих факторов проводится для указанных выше видов аварий и рассчитанных расходов и количеств истекающих веществ. Оценка последствий воздействия опасных факторов пожара на людей для различных сценариев его развития осуществляется на основе сопоставления результатов моделирования динамики опасных факторов пожара на территории объекта и прилегающей к нему территории с данными о критических для жизни и здоровья людей значениях опасных факторов пожара, взрыва.

По результатам расчета полей поражающих факторов на основе пробит-функций определяются поля условных вероятностей поражения  $Q_{\text{пор}}(x, r)$  для каждого из видов аварий и диаметров утечек.

#### 4.2.7. Расчет потенциального риска

При расчете потенциального риска необходимо учитывать специфику магистрального трубопровода как линейного источника пожарной опасности при авариях. Для линейного источника частоты реализации сценариев аварий нормируются на единицу длины. Величина потенциального риска  $P(r)$  (год<sup>-1</sup>) в определенной точке, отстоящей по перпендикуляру от оси трубопровода на расстоянии  $r$ , определяется по формуле:

$$P_i = \sum_{j=1}^k F_j(m) Q_{\text{усл}ij} \int_{x1j}^{x2j} Q_{\text{пор}ij}(x, r) dx, \quad (4.9)$$

где  $F_j(m)$  – частота разгерметизации трубопровода на 1 м длины для  $j$ -го диаметра утечки на участке  $m$  трубопровода;  $Q_{\text{усл}ij}$  – условная вероятность реализации  $i$ -го вида аварии для  $j$ -го диаметра утечки;  $Q_{\text{пор}ij}(x, r)$  – условная вероятность поражения человека в рассматриваемой точке на расстоянии  $r$  от оси трубопровода в результате реализации  $i$ -го вида аварии, произошедшей на участке трубопровода с координатой  $x$ , расположенной в пределах участка влияния  $i$ -го вида аварии, для  $j$ -го диаметра утечки;  $x1j, x2j$  – координаты начала и окончания участка влияния.

Затем вычисляется для каждого  $r$  полное значение потенциального риска  $P(r)$  для всех видов аварий:

$$P = \sum_{i=1}^n P_i \quad (4.10)$$

### **4.3 Количественная оценка пожарного риска на примере типовых магистральных трубопроводов**

В настоящем разделе на примере показана реализация предлагаемых подходов к определению расчетных значений пожарного риска для линейной части магистральных трубопроводов.

В ходе выполнения диссертационной работы проведена количественная оценка пожарного риска по предлагаемой методике для следующих объектов:

- продуктопровод, предназначенный для транспортировки широкой фракции легких углеводородов (ШФЛУ);
- линейная часть магистрального нефтепровода, предназначенного для транспорта углеводородной продукции;
- реконструируемый участок магистрального газопровода, предназначенного для транспортировки природного газа.

Вместе с тем, в силу большого объема реализация предлагаемых подходов к определению расчетных значений пожарного риска для линейной части магистральных трубопроводов, подробно приведена только для одного примера, представленного далее.

#### **Расчеты по оценке пожарного риска для продуктопровода, предназначенного для транспортировки широкой фракции легких углеводородов (ШФЛУ)**

##### **Краткое описание объекта защиты**

Рассматриваемый продуктопровод предназначен для транспортировки широкой фракции легких углеводородов (ШФЛУ) (далее – продукт)  $C_{2+}$  выше от головной насосной станции до нефтехимического комбината в объеме 4...8 млн. т/год с возможностью увеличения объема транспортируемого продукта до 14 млн. т/год.

Принципиальная схема подачи продукта с головной насосной станции до нефтехимического комбината представлена на рисунке 4.2.

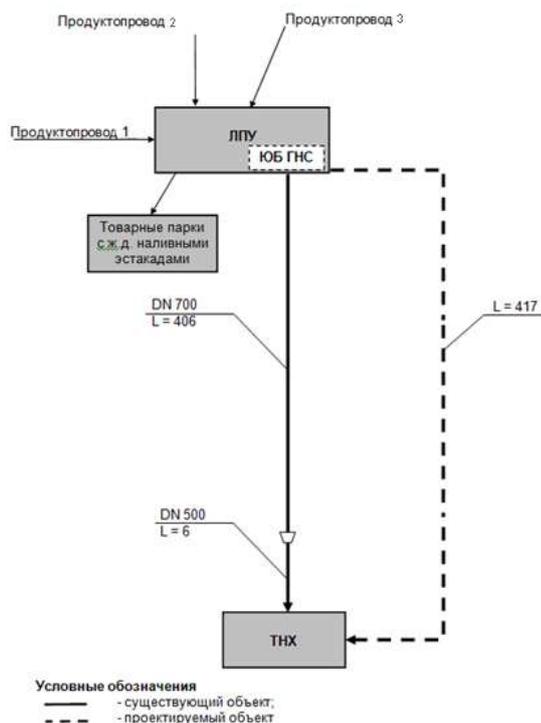


Рисунок 4.2 – Принципиальная схема подачи продукта с головной насосной станции до нефтехимического комбината

Протяженность трассы продуктопровода составляет 417 км, в том числе протяженность болотистых участков – до 260 км.

Район строительства относится к I климатическому району.

Рельеф района строительства равнинный, эрозионно- аккумулятивный, осложненный многочисленными руслами ручьев и рек, практически плоский с незначительным уклоном в сторону русел рек. В районе широко распространены болота и болотные озера, болота занимают до 60 % площади района.

Почвы торфяно- болотные, подзолистые, суглинистые, супесчаные и дерново-подзолистые. Климатические особенности рассматриваемой территории определяет её географическое положение и равнинный рельеф.

Климат района континентальный, с низкими зимними и относительно высокими летними температурами. В районе головной насосной станции абсолютный максимум температуры воздуха составляет 34 °С, абсолютный минимум температуры воздуха -55 °С. В районе нефтехимического комбината абсолютный максимум температуры воздуха составляет 35 °С, абсолютный минимум температуры воздуха -52 °С.

По данным ЦГМС:

- средняя максимальная температура наиболее жаркого месяца, июля – 22,8 °С;
- средняя месячная температура наиболее холодного месяца, января -19,9 °С (средняя минимальная температура воздуха января -26,9 °С);
- скорость ветра, повторяемость превышения которой составляет 5 % – 12 м/с;
- коэффициент стратификации атмосферы – 200;
- коэффициент рельефа местности – 1.

Районирование территории согласно приложению 5 [251]:

- по расчетному значению веса снегового покрова – IV район;
- по средней скорости ветра, м/с, за зимний период – 4 район;
- по давлению ветра – II район;
- по толщине стенки гололеда – II район.

В геологическом строении района принимают участие верхнечетвертичные и современные аллювиальные, озерно-аллювиальные, и озерно-болотные отложения, представленные преимущественно суглинками и супесями, реже – песками с включением гравия и гальки и торфом на болотных массивах. Мощность торфа изменяется от 0,5 до 7,5 м.

Подземные воды на водоразделах залегают на глубинах от 3,5 до 8,0 м, в низинах и западинах, покрытых торфом на дневной поверхности. По химическому составу воды пресные, гидрокарбонатно- кальциевые, реже натриевые, слабоагрессивные по отношению к бетонным и железобетонным конструкциям марки W4 по водопроницаемости. Коррозионная агрессивность грунтов к металлическим конструкциям по трассе изменяется от нормальной до высокой. Из опасных геологических процессов в районе отмечены: оползневые, приуроченные к крутым берегам рек; эрозионные, приуроченные к склонам холмов и долинам рек; подтопление территории.

Температура грунта в районе трассы прохождения продуктопровода на глубине 1,2 м: минимальная зафиксирована в марте и составляет -1,8 °С; максимальная зафиксирована в августе и составляет 12,9 °С.

Максимальная абсолютная отметка поверхности земли составляет 101 м.

Минимальная абсолютная отметка поверхности земли составляет 29 м.

Трасса продуктопровода проходит в более чем 2 км от коридора различных трубопроводов, железной дороги, федеральной автомобильной дороги и населенных пунктов.

Только в конце трассы (на 412,3 км) имеется сближение с населенными пунктами. Деревня располагается на 39,7 м выше отметки прохождения трассы.

Трасса продуктопровода пересекает естественные и искусственные препятствия:

- реки с шириной менее 75 м – 28 шт.;
- реки с шириной более 75 м – 1 шт. (р. Демьянка шириной в межень 104 м в районе 23 км трассы продуктопровода);
- автодороги – 16 шт.;
- высоковольтные линии – 37 шт.;
- подземные коммуникации – 95 шт.

Пересечений трассы прохождения продуктопровода с железными дорогами нет.

Глубина заложения продуктопровода составляет не менее 1 м.

Профиль трассы прохождения рассматриваемого продуктопровода представлен на рисунке 4.3.

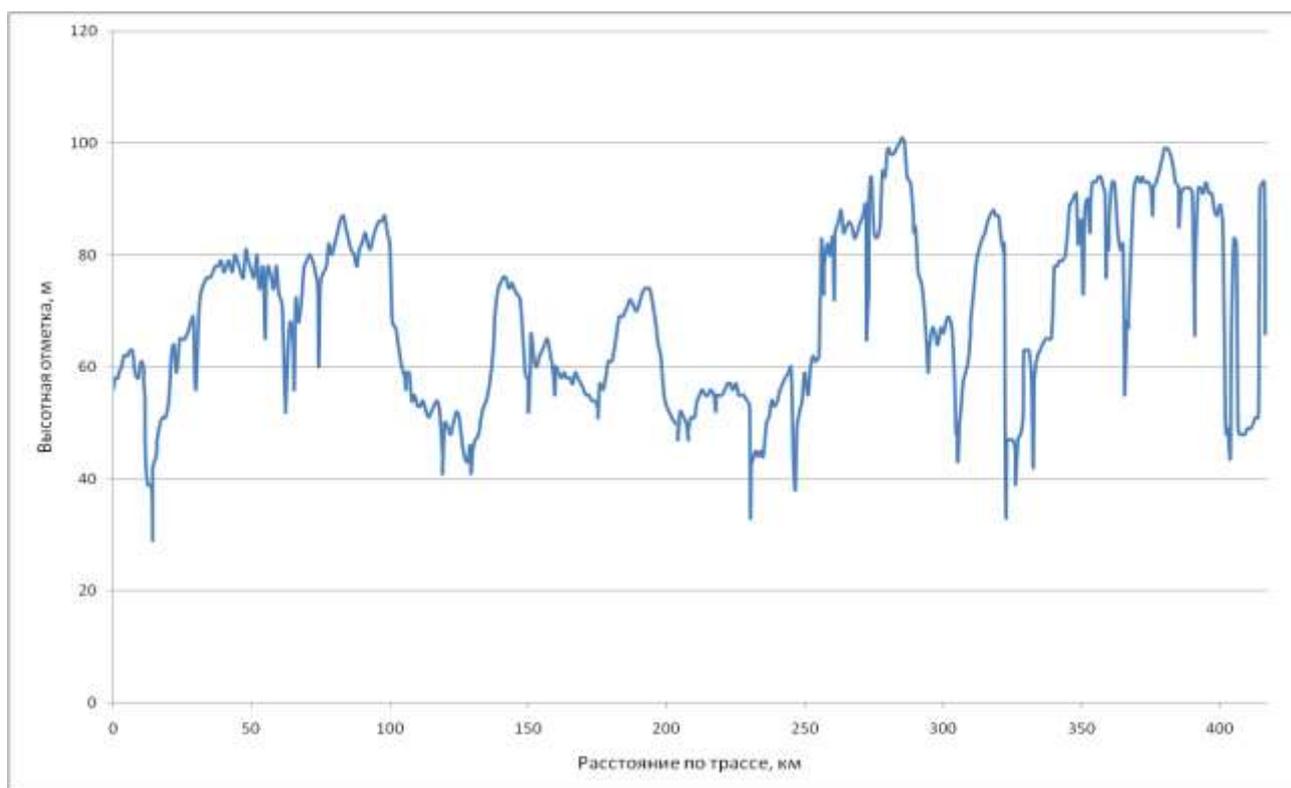


Рисунок 4.3 – Профиль трассы прохождения продуктопровода

Система обнаружения утечек (СОУ) на рассматриваемом продуктопроводе обеспечивает непрерывный мониторинг герметичности продуктопровода. СОУ

предназначена для контроля герметичности продуктопровода и выполняет следующие основные задачи:

- выявление факта негерметичности продуктопровода;
- определение места возникновения утечки;
- определение времени возникновения утечки.

Для продуктопровода обеспечены следующие характеристики СОУ:

- чувствительность не менее 1% номинального расхода продуктопровода;
- точность обнаружения по трассе не хуже +/- 50м;
- время обнаружения - не более 5 минут с момента выхода продукта.

Выбор материала труб для строительства продуктопровода выполнен с учётом:

- требований [252];
- нормативных прочностных показателей стали труб по ТУ и ГОСТам;
- применения специальных сталей для северных районов;
- обеспечения надёжности работы продуктопровода и требований охраны окружающей среды.

- условий строительства и эксплуатации;
- рабочего давления в трубопроводе;
- температуры транспортируемого продукта (от минус 5 до плюс 14 °С);
- минимальной температуры хранения труб (минус 60 °С);
- минимальной температуры строительства (минус 40 °С).

С учетом указанных выше требований и годового расхода транспортируемого продукта в 8 млн.т в год для строительства продуктопровода был выбран трубопровод *DN 700*, рассчитанный на максимальное давление 4,9 МПа и выполненный из марки стали К52 при шероховатости стенки трубы 0,03 мм с толщиной стенки трубы 11 мм, принимая во внимание запас по давлению, а также запас на внутреннюю коррозию.

### **Пожароопасные вещества и материалы на объекте**

Продуктопровод предназначен для транспортировки широкой фракции легких углеводородов (ШФЛУ). Основные физико-химические характеристики транспортируемого продукта приведены в таблицах 4.5 – 4.9. Основные характеристики пожа-

ровзрывоопасности компонентов транспортируемого продукта приведены в таблицах 4.10 – 4.14.

Расчетные данные по температуре транспортируемого продукта и изменению давления по трассе продуктопровода приведены в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Изменение температуры транспортируемого продукта и давления по трассе продуктопровода

Температура продукта в начале и в конце трассы, °С,	Давление в начале и в конце трассы, МПа
34,86 - 6,93 (зима)	5,52 - 1,4
34,86 - 21,00 (лето)	

Транспортируемый продукт представляет собой широкую фракцию легких углеводородов (ШФЛУ). Компонентный состав транспортируемого продукта приведен в таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Компонентный состав транспортируемого продукта

Компоненты	%, (об.)	(%), (масс.)
Метан (СН <sub>4</sub> )	0,504	0,160
Этан (С <sub>2</sub> Н <sub>6</sub> )	16,899	10,062
Пропан (С <sub>3</sub> Н <sub>8</sub> )	37,114	32,406
и-бутан (iС <sub>4</sub> Н <sub>10</sub> )	11,814	13,597
н-бутан (nС <sub>4</sub> Н <sub>10</sub> )	20,516	23,612
и-пентан (iС <sub>5</sub> Н <sub>12</sub> )	4,892	6,989
н-пентан (nС <sub>5</sub> Н <sub>12</sub> )	4,711	6,730
н-гексан (nС <sub>6</sub> Н <sub>14</sub> )	2,454	4,188
н-гептан (nС <sub>7</sub> Н <sub>16</sub> )	0,714	1,417
н-октан (nС <sub>8</sub> Н <sub>18</sub> )	0,256	0,580
н-нонан (nС <sub>9</sub> Н <sub>20</sub> )	0,076	0,193
н-декан (nС <sub>10</sub> Н <sub>22</sub> )	0,023	0,064

Таблица 4.7 – Зависимость давления насыщенного пара транспортируемого продукта от температуры

Температура, °С	Давление насыщенного пара, МПа
-5	0,49
0	0,56
5	0,64
10	0,72
15	0,82
40	1,40

Таблица 4.8 – Зависимость плотности ( $\text{кг/м}^3$ ) транспортируемого продукта от давления и температуры

Давление, МПа	Температура, °С				
	-5	0	5	10	15
2,0	582,1	575,9	569,6	563,2	556,5
4,0	586,1	580,2	574,1	568,0	561,7
6,0	589,9	584,2	578,4	572,5	566,5
8,0	593,5	588,0	582,4	576,7	571,0
10,0	596,9	591,6	586,2	580,7	575,2

Таблица 4.9 – Зависимость динамической вязкости транспортируемого продукта от температуры

Температура, °С	Вязкость, Па·с
-5	0,178
0	0,169
5	0,161
10	0,153
15	0,146

Таблица 4.10 – Основные характеристики метана

Наименование параметра	Значение параметра
Молекулярная масса, у.е.	18,63
Плотность, $\text{кг/м}^3$	0,83
Температура кипения, °С	-162
Температура самовоспламенения, °С	482...650
Нижний концентрационный предел распространения пламени (НКПР), $\text{г/м}^3$	37,43
Верхний концентрационный предел распространения пламени (ВКПР), $\text{г/м}^3$	112,28
Нормальная скорость распространения пламени, м/с	0,28
Минимальное взрывоопасное содержание кислорода, % (об.) (флегматизатор $\text{N}_2$ )	12
Безопасный экспериментальный максимальный зазор, мм	0,6

Таблица 4.11 – Основные характеристики пропана

Наименование параметра	Значение параметра
Молекулярная масса, у.е.	44,1
Плотность, $\text{кг/м}^3$	500,5
Температура кипения, °С	-42,6
Температура самовоспламенения, °С	470
Нижний концентрационный предел распространения пламени (НКПР), $\text{г/м}^3$	39,37
Верхний концентрационный предел распространения пламени (ВКПР), $\text{г/м}^3$	204,73
Нормальная скорость распространения пламени, м/с	0,32
Минимальное взрывоопасное содержание кислорода, % (об.) (флегматизатор $\text{N}_2$ )	11,6
Безопасный экспериментальный максимальный зазор, мм	0,92

Таблица 4.12 – Основные характеристики этана

Наименование параметра	Значение параметра
Молекулярная масса, у.е.	30,07
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	548,2
Температура кипения, °С	-88,63
Температура самовоспламенения, °С	515
Нижний концентрационный предел распространения пламени (НКПР), г/м <sup>3</sup>	38,93
Верхний концентрационный предел распространения пламени (ВКПР), г/м <sup>3</sup>	201,36
Нормальная скорость распространения пламени, м/с	0,33
Минимальное взрывоопасное содержание кислорода, % (об.) (флегматизатор N <sub>2</sub> )	11,3
Безопасный экспериментальный максимальный зазор, мм	0,91

Таблица 4.13 – Основные характеристики бутана

Наименование параметра	Значение параметра
Молекулярная масса, у.е.	58,12
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	578,9
Температура кипения, °С	-0,5
Температура самовоспламенения, °С	365
Нижний концентрационный предел распространения пламени (НКПР), г/м <sup>3</sup>	46,7
Верхний концентрационный предел распространения пламени (ВКПР), г/м <sup>3</sup>	236,1
Нормальная скорость распространения пламени, м/с	0,35
Минимальное взрывоопасное содержание кислорода, % (об.) (флегматизатор N <sub>2</sub> )	14,9
Безопасный экспериментальный максимальный зазор, мм	0,98

Таблица 4.14 – Основные характеристики пентана

Наименование параметра	Значение параметра
Молекулярная масса, у.е.	72,15
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	621,4
Температура кипения, °С	36
Температура самовоспламенения, °С	280
Нижний концентрационный предел распространения пламени (НКПР), г/м <sup>3</sup>	45,74
Верхний концентрационный предел распространения пламени (ВКПР), г/м <sup>3</sup>	257,68
Нормальная скорость распространения пламени, м/с	0,35
Минимальное взрывоопасное содержание кислорода, % (об.) (флегматизатор N <sub>2</sub> )	11,9
Безопасный экспериментальный максимальный зазор, мм	0,93

### Результаты расчетов по оценке пожарного риска

На рисунках 4.4, 4.5 представлены зависимости потенциального пожарного риска от расстояния от оси трубопровода для двух участков трассы продуктопровода (0,0 – 80,5 км и 408,56 – 417,2 км), для которых не выполнены требования табл. 20 [252] по минимальным расстояниям от оси трубопроводов сжиженных газов до населенных пунктов и производственных объектов.

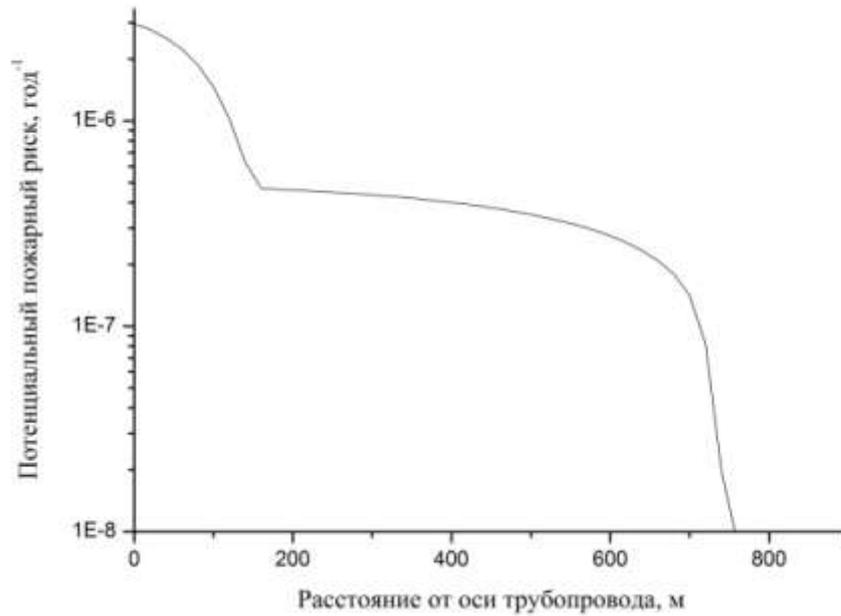


Рисунок 4.4 – Зависимость потенциального пожарного риска от расстояния от оси трубопровода для участка трассы продуктопровода (0,0 – 80,5 км)

Индивидуальный пожарный риск для персонала продуктопровода составляет с учетом исходных данных, изложенных выше,  $R_m = 4,1 \cdot 10^{-8}$  год<sup>-1</sup>.

Индивидуальный пожарный риск для персонала сторонних производственных объектов с учетом исходных данных, изложенных выше, не превышает  $R_m = 5,4 \cdot 10^{-8}$  год<sup>-1</sup> (указанное значение индивидуального пожарного риска приведено для персонала объекта, расположенного на расстоянии 115 м от оси трубопровода).

Индивидуальный пожарный риск для населения в селитебной зоне вблизи объекта составляет менее  $R_m = 10^{-8}$  год<sup>-1</sup> на расстояниях более 760 м.

Сравнение полученных значений индивидуального пожарного риска с нормативными значениями, регламентированными [20], показывает, что значения пожарного риска для рассматриваемого продуктопровода не превышают нормативные значения.

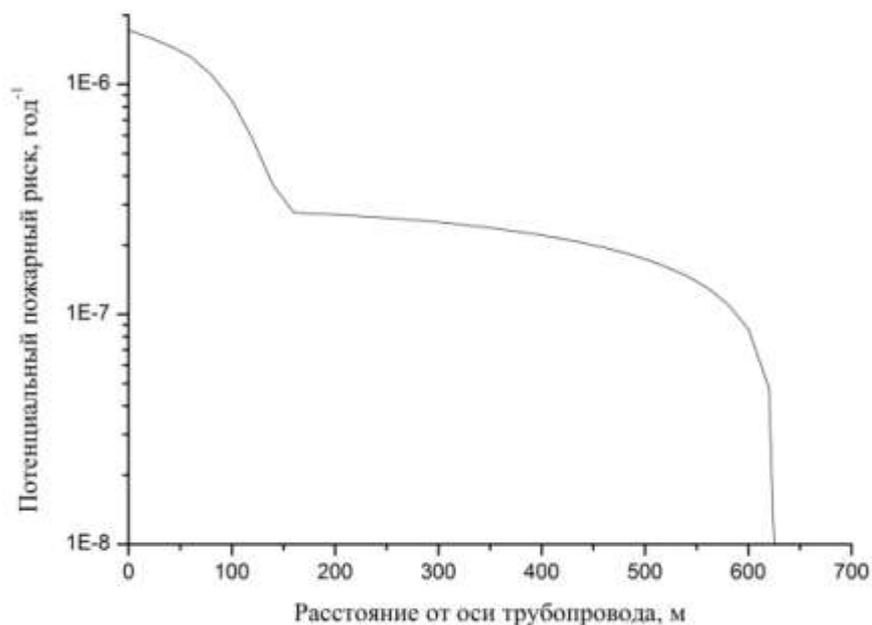


Рисунок 4.5 – Зависимость потенциального пожарного риска от расстояния от оси трубопровода для участка трассы продуктопровода (408,56 – 417,2 км)

#### **4.4 Комплекс мероприятий по обеспечению пожарной безопасности магистральных трубопроводов**

##### **4.4.1 Комплекс мероприятий по обеспечению пожарной безопасности для продуктопровода, предназначенного для транспортировки широкой фракции легких углеводородов (ШФЛУ)**

Комплекс мероприятий по пожарной безопасности разработан на основе положений нормативных правовых актов, нормативных документов по пожарной безопасности и технической документации по объекту. Необходимость разработки подобных мероприятий обосновывается отсутствием требований пожарной безопасности к магистральным трубопроводам широкой фракции легких углеводородов (ШФЛУ) диаметром более 400 мм (700 мм) и протяженностью более 100 км (417 км).

В [252] (глава 12, таблица 20) отсутствуют требования пожарной безопасности для магистральных трубопроводов сжиженных углеводородных газов диаметром более 400 мм и протяженностью более 100 км.

## Требования к размещению продуктопровода

Размещение объектов рассматриваемого продуктопровода должно соответствовать требованиям [252], предъявляемых к объектам магистральных трубопроводов сжиженных углеводородных газов диаметром до 400 мм, в части, не противоречащей настоящим требованиям.

Трубопроводы линейной части ППр должны быть проложены подземно. Допускается предусматривать участки надземной прокладки трубопроводов (патрубков), предназначенных для подключения контрольно-измерительных приборов и оборудования.

Предусматривать переходы трубопроводов через железные и автомобильные дороги в выемках дорог не допускается.

Минимально допустимые расстояния от линейной части ППр до объектов, перечисленных в столбце 1 таблицы 4.15, допускается принимать по таблице 4.15.

Таблица 4.15 – Минимально допустимые расстояния от линейной части рассматриваемого продуктопровода до некоторых населенных пунктов и предприятий.

№ п.п.	Наименование объекта/ населенного пункта	Км трассы	Минимально допустимое расстояние от оси трубопровода		Численность работающих/ проживающих, человек	Высотное положение объекта относительно трассы
			Справа, м	Слева, м		
1	ДНС	0		1900	20	Выше на 4м
2	КНС	0		1960	2	Выше на 3.5м
3	г. А	0		5000	41 400	Выше 0.5м
4	ДНС	0.50	1700		2	Выше на 1м
5	ЦДНГ	1.05		1660	100	Один уровень
6	Электростанция 1	1.10		1000	Без п.п.л.*	Выше на 5м
7	Электростанция 2	2.80	1500		Без п.п.л.*	Выше на 1м
8	Куст	4.31		115	Без п.п.л.*	Выше на 1м
9	Электростанция 3	4.60		2125	Без п.п.л.*	Выше на 0.5м
10	Электростанция 4	6.60	790		Без п.п.л.*	Ниже на 2.0м
11	Электростанция 5	10.51		2340	Без п.п.л.*	Ниже на 0.5м
12	Станция перекачки 1	10.70		2630	4 чел.	Ниже на 0.5м
13	Станция перекачки 2	13.80		1740	4 чел.	Выше на 4.5м
14	Насосная станция 1	14.08		2180	2 чел.	Выше на 4.5м
15	Электростанция 6	14.20		1760	Без п.п.л.*	Ниже на 9.5м
16	Станция перекачки 3	20.00		1090	4 чел.	Выше на 1.5м
17	КНС	20.40		730	2 чел.	Выше на 1м
18	Электростанция 7	45.15		2710	Без п.п.л.*	Выше на 2.0м
19	Насосная станция 2	45.90		2500	2 чел.	Выше на 5.0м

№ п.п.	Наименование объекта/ населенного пункта	Км трассы	Минимально допустимое расстояние от оси трубопровода		Численность работающих/ проживающих, человек	Высотное положение объекта относительно трассы
			Справа, м	Слева, м		
20	Электростанция 8	80.50	2870		Без п.п.л.*	Ниже на 6.0м
21	Деревня 1	408.56		2530	10 человек	Выше на 37.0м
22	Садовые участки	409.20		2200	Без п.п.л.*	Выше на 11.8м
23	Деревня 2	410.92		2500	до 100 чел.	Выше на 37.0м
24	Деревня 3	412.30		830	10 человек	Выше на 39.7м
25	Деревня 3 (нежил.)	412.60		2240	Без п.п.л.*	Выше на 40.0м
26	Поселок городского типа	417.20	1870		170 человек	Выше на 7.0м
27	Станция	417.20		2500	20 человек	Выше на 7.0м

На участках трассы продуктопровода, на которых расстояние от трубопровода ППр до населенных пунктов составляет менее 3000 м, следует предотвращать возможность попадания аварийных проливов продукта в водотоки (балки, овраги, ручьи и т.п.) (например, посредством отводных канав), имеющих уклон в сторону указанных объектов и проходящих на расстоянии от них менее 800 м.

По трассе продуктопровода на участках сближения с населенными пунктами менее 2500 м должны быть установлены предупредительные знаки, обозначающие трассу ППр, с интервалом, составляющим не более 250 м. Кроме того, указанные знаки следует устанавливать с обеих сторон переходов через автомобильные и железные дороги, независимо от их категории и назначения.

По трассе ППр должен быть предусмотрен контрольный участок или участки для постоянного мониторинга технического состояния металла труб и сварных соединений (появление дефектов, скорость роста дефектов, потеря металла от коррозии). Размещение и размеры контрольного участка должны определяться в проекте и учитывать наиболее неблагоприятные сочетаний нагрузок и воздействий в процессе всего срока эксплуатации.

Участки подводных переходов рек, построенные методом наклонно-направленного бурения, в русловой части и прибрежные участки длиной не менее 400 м каждый следует принимать категории В по классификации [252].

Участки подводных переходов ППр, построенные траншейным методом, в русловой части и прибрежные участки длиной не менее 50 м каждый, следует принимать категории В по классификации [252].

ППр на участке сближения с населенными пунктами, указанными в п.п. 24 и 26 таблицы 4.15, на расстояние менее 2000 м в границах их проекции на ось ППр и дополнительно по 2000 м в каждую сторону вдоль оси ППр следует принимать категории В по классификации [252].

ППр на участках сближения менее 2000 м с объектами и сооружениями, указанными в п.п. 1, 2, 4-8, 13, 14, 16, 17, таблицы 4.15, следует принимать категории В по классификации [252] в границах проекции объектов и сооружений на ось ППр и дополнительно по 500 м в каждую сторону вдоль оси ППр.

ППр на участках сближения менее 2000 м с объектами и сооружениями, указанными в п. 5, 10, 15 таблицы 4.15, следует принимать категории В по классификации [252] в границах проекции объектов и сооружений на ось ППр и дополнительно по 1500 м в каждую сторону вдоль оси ППр.

ППр на участке выхода с насосной станции на расстоянии не менее 2000 м и на участке не менее 250 м от УЗА и камер запуска средств очистки и диагностики (в каждую сторону) следует принимать категории В по классификации [252].

Прокладку продуктопровода на переходах через некатегорированные автодороги, проселочные, лесные и полевые дороги, выполненную без кожуха, следует предусматривать с заглублением трубы не менее чем на 1,5 м от верхней образующей до верха дорожного покрытия с укладкой дорожных плит на всю ширину дороги и с перекрытием не менее 3 м от оси трубопровода.

В проекте должна быть предусмотрена возможность доступа аварийных бригад и необходимых для локализации и ликвидации аварии технических средств к любой точке ППр.

Условия прокладки ППр и его оснащение должны обеспечивать непревышение масс аварийных утечек продукта для различных участков трассы, принятых при проведении расчета пожарного риска.

### **Требования к конструктивным особенностям и оснащению продуктопровода**

Конструктивные особенности и оснащение рассматриваемого продуктопровода должны соответствовать требованиям [252] с учетом настоящих требований.

Трубопроводы ППР (включая их оснащение) должны быть выполнены с обеспечением их надежности не ниже, чем надежность магистральных трубопроводов сжиженных углеводородных газов диаметром до 400 мм по [252]. При этом рабочее давление продуктопровода ППР не должно превышать 6,0 МПа, внутренний диаметр – 720 мм, а внутренний диаметр трубопроводов обвязки узлов линейной запорной арматуры, предусматриваемой по п.12.13 по [252], – 200 мм.

Трубопроводы, защитные футляры и кожухи, запорно-отключающая арматура ППР должны применяться с заводской наружной антикоррозионной изоляцией. Для изоляции сварных соединений трубопровода должно применяться защитное покрытие на основе термоусаживающихся полимерных лент.

Средства электрохимической защиты должны обеспечивать защитные поляризационные потенциалы требуемой величины на всем протяжении продуктопровода. Средства электрохимической защиты ППР должны иметь повышенную надежность (не менее 25000 часов наработки на отказ). Средства электрохимической защиты должны быть оборудованы дистанционным контролем силы тока защиты и напряжения на выходе катодных станций.

Отказ (перерыв) электрохимической защиты должен быть устранен в течение не более 24 часов. Система электрохимической защиты продуктопровода на участках сближения с населенными пунктами менее 2000 м и производственными объектами менее 1500 м должна иметь 100 % резервирование. Допускается резервирование при помощи катодных станций, установленных на соседних участках. Параметры каждой станции катодной защиты должны обеспечивать возможность защиты смежных участков продуктопровода при отключении соседней станции катодной защиты.

Запорная арматура с приводом дистанционного управления должна применяться с минимально возможным расчетным временем перекрытия ППР (по результатам гидравлических расчетов), не приводящим к возникновению гидравлического удара.

Герметичность в затворе запорной арматуры, предназначенной для отключения участков трубопровода при аварии, должна соответствовать требованиям класса «А» по [142] при перепаде давлений на затворе в диапазоне от 0,1 МПа до 1,1 РН.

Продуктопровод должен быть оснащен не менее чем двумя независимыми (основанными на разных принципах действия) системами мониторинга продуктопровода, имеющими функцию обнаружения утечек, одна из которых должна являться основной.

Применяемая система мониторинга герметичности ППр должна иметь функцию обнаружения утечки продукта с параметрами не хуже:

- чувствительность не менее 0,5 % номинального расхода ППр;
- точность обнаружения по трассе не хуже 50 м;
- время обнаружения не более пяти минут с момента выхода продукта.

Система контроля герметичности ППр должна дублироваться.

Установку датчиков контрольно-измерительных приборов на подземных трубопроводах следует предусматривать в бесколодезном исполнении

Должно быть обеспечено резервирование канала технологической связи и передачи данных автоматизированной системы управления технологическим процессом.

Электроснабжение системы мониторинга ППр, имеющей функцию обнаружения утечек, оборудования контролируемых пунктов телемеханики автоматизированной системы управления технологическим процессом продуктопровода, потребителей УЗА, предназначенных для отключения участков трубопровода при аварии, а также систем оповещения по настоящим требованиям должно быть не ниже первой категории надежности по ПУЭ.

### **Организационно-технические мероприятия**

Противопожарное оборудование и средства обеспечения пожарной безопасности объекта должны пройти оценку соответствия требованиям пожарной безопасности согласно положениям главы 33 [20].

Разработку организационно-технических мероприятий по пожарной безопасности для объектов ППр следует осуществлять на основании положений [253].

В процессе эксплуатации ППр необходимо обеспечить контроль за охранной зоной ППр, недопущение несанкционированных проездов и переездов, строительных и иных работ в охранной зоне ППр.

Осуществление контроля за охранной зоной ППр должно быть обеспечено проведением осмотров всей линейной части ППр эксплуатационным персоналом, а на участках сближения с объектами, приведенными в таблице 4.5.1, дополнительно посредством инженерно-технических средств охраны.

Проведение осмотров всей линейной части ППр эксплуатационным персоналом должно осуществляться не реже одного раза в месяц. Проведение осмотра линейной части ППр на участках сближения до 2000 м с населенными пунктами, садовыми товариществами, поселениями в границах их проекции на ось ППр, подводных переходов ППр через судоходные реки и пересечений ППр с категорированными автомобильными дорогами и дополнительно по 1,5 км в каждую сторону следует выполнять не реже одного раза в 3 дня и дополнительно после ливневых дождей, ураганных ветров, лесных пожаров. На подводных переходах ППр через судоходные реки, построенные траншейным методом, в период весеннего паводка следует организовать ежедневный осмотр персоналом. Персонал участвующий в осмотре технического состояния трассы должен быть обеспечен средствами связи с диспетчером.

#### **4.4.2 Комплекс мероприятий по обеспечению пожарной безопасности на проектирование, строительство и эксплуатацию магистрального нефтепровода, предназначенного для транспорта углеводородной продукции, прокладываемого по территории городской черты**

Комплекс мероприятий по обеспечению пожарной безопасности рассматриваемого объекта разработан в дополнение к действующим нормативным документам по проектированию, строительству и эксплуатации магистрального нефтепровода, обеспечивающие его эксплуатационную надежность и безопасность при прокладке по территории двух городов.

## **Общие требования пожарной безопасности**

В основу обеспечения пожарной безопасности объекта должна быть положена приоритетность требований, направленных на обеспечение безопасности людей при пожаре, по отношению к другим противопожарным требованиям.

Система обеспечения пожарной безопасности должна включать в себя:

- систему предотвращения пожара;
- систему противопожарной защиты;
- комплекс организационно-технических мероприятий по обеспечению пожарной безопасности.

Пожарная безопасность объекта считается обеспеченной, если в полном объеме выполнены обязательные требования пожарной безопасности, установленные федеральными законами о технических регламентах, и пожарный риск не превышает допустимых значений, установленных статьей 93 [20].

При проектировании, строительстве и реконструкции объекта наряду с настоящими требованиями следует соблюдать:

- обязательные требования пожарной безопасности, установленные нормативными правовыми актами Российской Федерации;
- требования пожарной безопасности, содержащиеся в нормативных документах по пожарной безопасности и нормативных документах федеральных органов исполнительной власти, в части, не противоречащей вновь разрабатываемым требованиям.

Допускается применение международных норм, правил и стандартов в случае, если их требования не ниже предъявляемых нормативными правовыми актами Российской Федерации, нормативными документами по пожарной безопасности и нормативными документами федеральных органов исполнительной власти, а также требований вновь разработанных на этот объект требований.

## **Требования пожарной безопасности к линейной части магистрального нефтепровода. Требования к трассе нефтепровода.**

Магистральный нефтепровод следует прокладывать подземно (подземная прокладка). При наличии вечномёрзлых грунтов на участке прокладки нефтепровода,

проходящем на расстоянии 700 м и менее от границ проектной застройки городов и других населенных пунктов, минимальное расстояние от границ технического коридора нефтепровода до указанных городов и населенных пунктов следует принимать не менее 700 м.

При отсутствии в районе прокладки нефтепровода вечномёрзлых грунтов расстояния от оси нефтепровода до населенных пунктов (за исключением городов Бирюсинск и Тайшет), отдельных промышленных и сельскохозяйственных предприятий, зданий и сооружений должны приниматься в зависимости от класса и диаметра нефтепровода, степени ответственности объектов и необходимости обеспечения их безопасности, но не менее значений, указанных в п.3.16 [252].

Не допускается предусматривать прокладку нефтепровода в тоннелях железных и автомобильных дорог, а также в тоннелях совместно с электрическими кабелями и кабелями связи и трубопроводами иного назначения.

Не допускается прокладка нефтепровода по мостам железных и автомобильных дорог всех категорий и в одной траншее с электрическими кабелями, кабелями связи и другими трубопроводами, за исключением случаев прокладки кабеля технологической связи данного нефтепровода на подводных переходах (в одной траншее) и на переходах через железные и автомобильные дороги (в одном футляре).

При прокладке нефтепровода вблизи населенных пунктов и промышленных предприятий, расположенных на отметках ниже этого нефтепровода на расстоянии от них менее 500 м, с низовой стороны от нефтепровода должна предусматриваться канава, обеспечивающая отвод разлившейся нефти при аварии. Выпуск из низовой канавы должен быть предусмотрен в безопасные для населенных пунктов места.

Трассу нагорных и отводных канав следует предусматривать по рельефу местности. Складирование вынутого из канавы грунта следует предусматривать с низовой стороны в виде призмы, которая должна служить дополнительной защитой от растекания нефти в случае ее утечки из нефтепровода.

С верховой стороны от нефтепровода при больших площадях водосбора должна предусматриваться канава для отвода ливневых вод.

В местах пересечений нефтепровода с линиями электропередачи напряжением 110 кВ и выше должна предусматриваться прокладка нефтепровода под углом не менее 60°.

Трасса нефтепровода должна быть оснащена указательными и предупредительными знаками, обозначающими его территорию.

**Требования к конструктивным особенностям и оснащению магистрального нефтепровода.** Конструкция нефтепровода (материал изготовления, толщина стенки, сварные швы и т.п.) должна соответствовать его классу и категории, определяемых в соответствии с требованиями [252] и с учетом дополнительных требований, регламентированных вновь разрабатываемыми требованиями.

На участках нефтепровода, проходящих вне территорий населенных пунктов, следует предусматривать установку запорной арматуры на расстоянии не более 30 км одна от другой.

Кроме того, установку запорной арматуры необходимо предусматривать:

- на обоих берегах водных преград при их пересечении нефтепроводом в две нитки и более и на однопунктных переходах категории В. При этом указанную запорную арматуру следует размещать на отметках не ниже отметок ГВВ 10 %-ной обеспеченности и выше отметок ледохода;

- в начале каждого ответвления от нефтепровода на расстоянии, допускающем установку монтажного узла, его ремонт и безопасную эксплуатацию;

- на одном или обоих концах участков нефтепровода, проходящего на отметках выше городов и других населенных пунктов и промышленных предприятий, на расстоянии, устанавливаемом проектом в зависимости от рельефа местности;

- на нефтепроводе при пересечении водных преград в одну нитку – место размещения запорной арматуры в этом случае принимается в зависимости от рельефа земной поверхности, примыкающей к переходу, и необходимости предотвращения поступления нефти в водоем;

- на обоих берегах болот III типа протяженностью свыше 500 м.

Указанная запорная арматура должна быть с электроприводом с обеспечением дистанционного управления из операторной с постоянным присутствием персонала.

Запорную арматуру на фланцевых соединениях следует предусматривать в колодцах, выполненных из негорючих материалов.

Переходы нефтепровода через железные и автомобильные дороги следует предусматривать в местах прохождения дорог по насыпям либо в местах с нулевыми отметками. Угол пересечения нефтепровода с железными и автомобильными дорогами должен быть, как правило,  $90 \pm 10^\circ$ . Прокладка нефтепровода через тело насыпи не допускается.

Участки нефтепровода, прокладываемого на переходах через железные и автомобильные дороги всех категорий с усовершенствованным покрытием капитального и облегченного типов, должны предусматриваться в защитном футляре (с учетом вновь разрабатываемых требований) или в защитном кожухе из стальных труб.

Концы футляра (кожуха) должны выводиться на расстояние:

а) при прокладке нефтепровода через железные дороги:

– от осей крайних путей – 50 м, но не менее 5 м от подошвы откоса насыпи и 3 м от бровки откоса выемки;

– от крайнего водоотводного сооружения земляного полотна (кювета, нагорной канавы, резерва) – 3 м;

б) при прокладке нефтепровода через автомобильные дороги – от бровки земляного полотна – 25 м, но не менее 2 м от подошвы насыпи.

Концы футляров, устанавливаемых на участках переходов нефтепровода через автомобильные дороги III, III-п, IV-п, IV и V категорий, должны выводиться на 5 м от бровки земляного полотна.

Прокладка кабеля связи нефтепровода на участках его перехода через железные и автомобильные дороги должна производиться в защитном футляре или отдельно в трубах.

Пересечение нефтепровода с рельсовыми путями электрифицированного транспорта под стрелками и крестовинами, а также в местах присоединения к рельсам отсасывающих кабелей не допускается.

Противокоррозионная защита нефтепровода должна обеспечить его безаварийную (по причине коррозии) работу в течение эксплуатационного срока с учетом особенно-

стей мест прокладки. Надежность электроснабжения установок катодной защиты трубопроводов должна быть обеспечена не ниже II категории по ПУЭ.

Автоматизированная система управления нефтепроводом, должна обеспечивать возможность дистанционного (из операторной) контроля исправности систем противоаварийной защиты нефтепровода, автоматическое обнаружение его разгерметизации, а также автоматическое и дистанционное (из операторной) отключение аварийного участка.

**Специфические требования к участкам нефтепровода, проходящим по территории населенных пунктов.** Дополнительные требования настоящего подраздела распространяются на участки нефтепровода, проходящие по территории двух городов. Границами указанных участков нефтепровода следует считать запорно-регулирующую арматуру, устанавливаемую на нефтепроводе от границ перспективной застройки городов на расстоянии не менее 200 м.

При выборе трассы нефтепровода следует исходить из необходимости обеспечения его надежности, предотвращения возможного проникновения нефти в здания, сооружения, грунт и водоемы, применения наиболее эффективных и высокопроизводительных методов производства строительного-монтажных работ, а также возможности подъезда передвижной пожарной техники, транспортных и ремонтных машин к любому участку нефтепровода.

Расстояния от нефтепровода до зданий, сооружений и инженерных сетей следует принимать в зависимости от условий прохождения трассы (плотности застройки, значимости зданий и сооружений, рельефа местности, сохранности трубопровода и пр.) и необходимости обеспечения безопасности, но не менее значений, указанных в таблице 4.16.

Таблица 4.16 – Расстояния от нефтепровода до зданий, сооружений и инженерных сетей

Здания и сооружения	Минимальные расстояния по горизонтали в свету, м
1	2
1. Жилые, общественно-деловые зоны и зоны рекреационного назначения городов Бирюсинск и Тайшет; жилые и общественные здания и сооружения; коллективные сады, дачные поселки, индивидуальные сады и дачи	100

Здания и сооружения	Минимальные расстояния по горизонтали в свету, м
1	2
2. Мосты железных и автомобильных дорог с пролетом свыше 20 м	100
3. Железные дороги общей сети и автодороги I, II, III категорий, параллельно которым прокладывается трубопровод; индивидуальные гаражи при числе боксов свыше 20	75
4. Водопроводные насосные станции; устья артезианских скважин; очистные сооружения водопроводных сетей	50
5. Автозаправочные станции; электроподстанции; кладбища; мачты (башни) и сооружения многоканальной радиорелейной связи; телевизионные башни; склады различного назначения	50
6. Территории промышленных и сельскохозяйственных (фермы, тока, загоны для скота, силосные ямы) предприятий; индивидуальные гаражи при числе боксов 20 и менее; путепроводы железных и автомобильных дорог; канализационные сооружения	50
7. Железные дороги промышленных предприятий и автомобильные дороги IV и V категорий, параллельно которым прокладывается трубопровод; отдельно стоящие нежилые и подсобные строения	30
8. Воздушные линии электропередачи, параллельно которым прокладывается трубопровод; опоры воздушных линий электропередачи при пересечении ими трубопроводов; силовые кабели	В соответствии с требованиями ПУЭ
9. Инженерные сети (существующие), параллельно которым прокладывается трубопровод:	
водопровод, канализация, теплопроводы, кабели связи	10
газопроводы, нефтепроводы, нефтепродуктопроводы	5

Расстояния, указанные в таблице 4.16, следует принимать: для жилых и общественных зданий и сооружений, коллективных садов, дачных поселков, индивидуальных садов и дач, индивидуальных гаражей, автозаправочных станций, промышленных и сельскохозяйственных предприятий, сооружений водопровода и канализации, артезианских скважин - от границ, отведенных им территорий с учетом их развития; для железных и автомобильных дорог всех категорий – от подошвы насыпи земляного полотна или бортового камня: для всех мостов – от подошвы конусов.

Минимальные расстояния до автомобильных дорог и улиц населенных пунктов, имеющих категорию по [254], должны определяться исходя из следующих положений:

- до магистральных дорог и магистральных улиц общегородского значения как для автомобильных дорог общей сети I, II и III категорий;
- до остальных – как для автомобильных дорог общей сети IV и V категорий.

Нефтепровод должен соответствовать требованиям, предъявляемым к магистральным нефтепроводам категории «В». При этом толщина стенки участков трубопроводов, прокладываемых вне кожуха, должна быть не менее 14 мм.

Нефтепровод должен быть оборудован системой контроля за утечкой нефти, обеспечивающей автоматическое обнаружение разгерметизации с выводом предупредительного сигнала (звукового и светового) о разгерметизации в операторную с постоянным присутствием персонала объекта и перекрытием аварийного участка трубопровода. Время обнаружения утечки из нефтепровода не должно превышать при размере утечки:

- свыше 10% – 3 мин.
- свыше 5% , но менее 10% – 5 мин.
- свыше 1% , но менее 5% – 6 мин.

При этом для обнаружения утечек из нефтепровода размерами менее 1 % технологическим регламентом по эксплуатации нефтепровода следует предусмотреть обследование (внешний осмотр) дежурными бригадами участков трассы, проходящих по территориям городов, не менее чем три раза в сутки.

Переходы через водные преграды в границах 10%-ной обеспеченности ГВВ следует прокладывать в защитном кожухе. При этом следует обеспечить:

- замещение воздуха во внутреннем пространстве кожуха (в межтрубном пространстве) азотом до достижения концентрации кислорода не более 8 % (об.);
- постоянный автоматический контроль за герметичностью внутреннего пространства кожуха с выводом сигнала (звукового и светового) о разгерметизации в операторную с постоянным присутствием персонала объекта.

Контроль межтрубного пространства других участков нефтепровода, проложенных в защитном кожухе (при наличии), допускается осуществлять в соответствии с требованиями п. 6.6.19 [126].

Запорную и регулирующую арматуру, а также секционирующие фланцевые соединения (при наличии) защитного кожуха необходимо размещать в колодцах, конструкция и материал которых должны исключать поступление в них воды, а также распространения возможной утечки нефти из трубопровода в грунт. Размещение ука-

занных колодцев в местах проезда транспорта и прохода людей не допускается. Люки колодцев следует предусматривать выше уровня земли.

Колодцы следует оборудовать датчиками-сигнализаторами дозврывоопасных концентраций паров нефти. При достижении указанной концентрацией величины 20% от НКПР должна обеспечиваться автоматическая сигнализация (звуковая и световая) в операторной с постоянным присутствием персонала. Колодцы должны быть оборудованы устройствами для сброса избыточного давления, возникающего вследствие возможного воспламенения паров при утечке нефти в колодец, с обеспечением предотвращения разлета элементов конструкций колодца (например, крышки).

Узлы прохода трубопровода через стенки колодцев должны обеспечивать сохранение герметичности стенки колодца в местах прохода и предотвращение повреждения трубопровода при воздействии возможных нагрузок в условиях и в течение времени эксплуатации.

Запорная арматура должна устанавливаться на нефтепроводе посредством сварных соединений. В начале участка нефтепровода, проходящего через территории городов, в дополнение к основной (рабочей) запорной арматуре следует предусматривать резервную, закрытие которой должно осуществляться автоматически при достижении значений максимального и минимального давления в трубопроводе.

Указанный участок нефтепровода должен иметь устройство, автоматически отключающее нефтепровод при исчезновении напряжения в основной силовой сети электроснабжения запорной арматуры. Указанное устройство следует размещать до места пересечения нефтепроводом границы города №1. Устройство, автоматически отключающее нефтепровод при исчезновении напряжения в основной силовой сети электроснабжения запорной арматуры, допускается не предусматривать при обеспечении надежности электроснабжения этой запорной арматуры не ниже I категории по ПУЭ.

Нефтепровод должен быть защищен от воздействия коррозии посредством комплексной защиты и выполнен из труб с заводской изоляцией. Тип защитного покрытия - усиленный. При необходимости протаскивания плетей трубопроводов на подводных переходах, в футлярах и кожухах должны быть предусмотрены специальные устройства, обеспечивающие недопущение повреждения изоляционного покрытия трубопроводов.

Для предотвращения возможности электрохимической коррозии нефтепровода, должны применяться станции катодной защиты, оснащенные системами дистанционного контроля исправности и эффективности, позволяющие из операторной с постоянным присутствием персонала обнаруживать ее отказ и выход параметров, определяющих степень опасности электрохимической коррозии, за пределы, установленные проектом для паспортной мощности станций катодной защиты.

Система электрохимической защиты должна иметь 100%-ное резервирование в цепях преобразования и дренажной цепи, с обеспечением автоматического перевода на резервные элементы при отказе основных.

На участках переходов через железную дорогу должны быть предусмотрены средства для измерения тока в трубопроводе до и после железнодорожного перехода.

Трасса нефтепровода должна быть оснащена указателями, обозначающими территорию прокладки нефтепровода.

Трасса нефтепровода (включая колодцы) должна быть оснащена средствами охранной сигнализации, позволяющими предотвратить несанкционированное вмешательство в работу нефтепровода, способное привести к аварии.

Электроснабжение системы контроля за утечками нефтепровода, в том числе системы обнаружения загазованности в колодцах с запорной арматурой, должна быть выполнена по первой категории надежности по ПУЭ.

Нефтепровод должен отвечать требованиям п.п. 6.6.12-6.6.18, 6.6.20, 6.6.25,6.6.28, 6.6.29 [126].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В настоящей работе предложена новая методика определения расчетных величин пожарного риска для производственных объектов нефтегазового комплекса, в которой:

- введен метод логических деревьев событий при рассмотрении различных сценариев пожара в зданиях (помещениях);

- усовершенствованы подходы к учету влияния мероприятий по противопожарной защите;

- предлагается использование усовершенствованных критериев поражения человека опасными факторами пожара;

- применен учет вероятностного характера времени эвакуации и время от начала пожара до блокирования эвакуационных путей в результате распространения на них опасных факторов пожара;

- возможно проведение расчетов для линейной части магистральных трубопроводов.

2. Проведена оценка риска для производственных объектов следующих нефтегазового комплекса:

- уникальных производственных объектов, таких, как производственное здание корпуса твердофазной поликонденсации полиэтилентерефталата высотой более 100 м и склад готовой продукции большой площадью;

- типовой морской стационарной нефтегазодобывающей платформы. Определен вклад в величину потенциального пожарного риска эскалационных сценариев развития аварий;

- складов СУГ, ЛВЖ и ГЖ, расположенных в особых условиях в черте населенных пунктов;

- линейной части магистральных нефтепроводов и продуктопроводов, транспортирующих нефть и ШФЛУ соответственно.

3. Проанализированы существующие критерии допустимого пожарного риска и представлено обоснование необходимости использования дополнительного критерия

допустимого пожарного риска – частоты потери основной функции обеспечения безопасности МСП.

4. Проанализировано использование различных методов логического анализа при разработке мероприятий по обеспечению пожарной безопасности. Показано, на примере МСП, что посредством методологии барьеров безопасности возможно определение эффективности и оптимальности применяемых мероприятий по обеспечению требуемого уровня пожарной безопасности объекта. Рассмотрен пример технического барьера безопасности – устройства автоматической системы газового пожаротушения с дополнительной функцией газовой флегматизации ГПВС для взрывопредупреждения в помещениях МСП.

5. На основе проведенных исследований и с учетом предложенных подходов разработан комплекс научно-обоснованных требований к системам предотвращения пожара и противопожарной защиты особо опасных объектов нефтегазового комплекса, таких как типовая морская стационарная нефтегазодобывающая платформа, склады СУГ, ЛВЖ и ГЖ, расположенные в особых условиях в черте населенных пунктов, линейная часть магистральных нефтепроводов и продуктопроводов, транспортирующих нефть и ШФЛУ соответственно.

6. Результаты работы нашли практическое применение при разработке нормативных правовых актов, нормативных документов по пожарной безопасности, объектов нефтегазового комплекса.

7. Комплекс проведенных исследований может быть квалифицирован как решение крупной народнохозяйственной проблемы – методологическое обеспечение пожарной безопасности особо опасных и технически сложных производственных объектов нефтегазового комплекса.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. *IEC 60300-3-9:1995. Dependability Management – Part 3: Application guide – section 9: Risk analysis of technological systems* (гармонизированный национальный стандарт РФ ГОСТ Р 51901.1-2002 «Менеджмент риска. Анализ риска технологических систем»). – 55 с.
2. *IEC 62198:2001. Project risk management – Application guidelines* (гармонизированный национальный стандарт РФ ГОСТ Р 51901.4-2005 «Менеджмент риска. Руководство по применению при проектировании»). – 40 с.
3. *IEC 61025:1990. Fault Tree Analysis* (гармонизированный национальный стандарт РФ ГОСТ Р 51901.13-2005 «Менеджмент риска. Анализ дерева неисправностей»). – 31 с.
4. *ISO/TS 16732:2005. Fire safety engineering - Guidance on fire risk assessment* (гармонизированный национальный стандарт ГОСТ Р 51901.10 – 2009 «Менеджмент риска. Процедуры работы с пожарным риском на предприятии»). – 33 с.
5. *NFPA 551 Guide for the Evaluation of Fire Risk Assessments. – Quincy, MA: National Fire Protection Association, 2013. – 35 p.*
6. *Guidance Document for Incorporating Risk Concepts into NFPA Codes and Standards, National Fire Protection Association, 2007. – 125 p.*
7. *SFPE Engineering guide: Fire risk assessment. Society of Fire Protection Engineers (SFPE). – Bethesda, 2006. – 115 p.*
8. *ISO 13702:1999. Petroleum and natural gas industries – Offshore production installations - Control and Mitigation of Fires and Explosions - Requirements and guidelines. – 62 p.*
9. *ISO 17776:2000. Petroleum and natural gas industries – Offshore production installations – Guidelines on tools and techniques for identification and assessment of hazards. – 66 p.*
10. *NORSOK Z-013. Risk and emergency preparedness assessment. – Ed. 3. – 2010. – 107 p.*
11. *CPR 12E. Methods for determining and processing probabilities (Red Book). Committee for Prevention of Disasters. – The Hague, 1997.*

12. *CPR 14E. Methods for the calculation of physical effects (Yellow Book). Committee for the Prevention of Disasters. – The Hague, 1997.*
13. *CPR 16E. Methods for the determination of possible damage. Committee for the Prevention of Disasters. – Voorburg, 1989.*
14. *CPR 18E. Guideline for quantitative risk assessment. (Purple book). Committee for the Prevention of Disasters. – The Hague, 1999.*
15. Директива Совета Европейского союза № 82/501/ЕС от 24.06.1982 г. «О предотвращении крупных промышленных аварий».
16. Директива Совета Европейского союза № 96/82/ЕС «О контроле за представляющими собой серьезную опасность авариями на объектах, имеющих дело с опасными веществами.
17. Азаров, Н. И. Предупреждение промышленных аварий на основе директив Севезо / Н.И. Азаров, О.В. Давидюк, М.В. Лисанов // Безопасность труда в промышленности. – 2006. – № 12. – С. 42-47.
18. Якуш, С.Е. Анализ пожарных рисков. Часть I: Подходы и методы / С.Е. Якуш, Р.К. Эсманский // Проблемы анализа риска, 2009. – т. 6. – №3. – С. 8-25.
19. Якуш, С.Е. Анализ пожарных рисков. Часть II: Проблемы применения / С.Е. Якуш, Р.К. Эсманский // Проблемы анализа риска, 2009. – т. 6. – №3. – С. 26-46.
20. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности [Электронный ресурс]: федер. закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ: (в ред. от 10 июля 2012 г.) // Гарант: инф.-прав. об-ние. – Электрон. Дан. – М., 2017. – Доступ из локальной сети б-ки ФГБУ ВНИИПО МЧС России.
21. О порядке проведения расчетов по оценке пожарного риска [Электронный ресурс]: постановление Правительства Рос. Федерации от 31 марта 2009 г. № 272: (в ред. от 31 янв. 2012 г.) // Гарант: инф.-прав. об-ние. – Электрон. Дан. – М., 2017. – Доступ из локальной сети б-ки ФГБУ ВНИИПО МЧС России.
22. ГОСТ 12.1.004-76. ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования [Электронный ресурс]: государственный стандарт // Гарант: инф.-прав. об-ние. – Эл. Дан. – М., 2017. – Доступ из локальной сети б-ки ФГБУ ВНИИПО МЧС России.
23. ГОСТ Р 12.3.047-2012 ССБТ. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля [Электронный ресурс]: государст-

венный стандарт // Гарант: инф.-прав. об-ние. – Электрон. Дан. – М., 2017. – Доступ из локальной сети б-ки ФГБУ ВНИИПО МЧС России.

24. РД 03-418-01. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов [Электронный ресурс]: руководящий документ (утв. Постановлением Госгортехнадзора России от 10.07.2001 № 30) // Гарант: инф.-прав. об-ние. – Электрон. Дан. – М., 2017. – Доступ из локальной сети б-ки ФГБУ ВНИИПО МЧС России.

25. Елохин, А.Н. Анализ и управление риском: теория и практика / А.Н. Елохин. – М.: Страховая группа «ЛУКОЙЛ», 2000. – 185 с.

26. Шевчук, А. П. Проблемы количественной оценки пожарного риска / А.П. Шевчук, В.А. Иванов, А.А. Косачев // Пожаровзрывобезопасность. – 1994. – т. 3 – №1. – С. 42-48.

27. Пожарные риски. Динамика, управление, прогнозирование / Н.Н. Брушлинский [и др.]; под ред. Н.Н. Брушлинского и Ю.Н. Шебеко. – М.: ВНИИПО, 2007. – 370 с.

28. Юбилейный сборник трудов ФГУ ВНИИПО МЧС России / Под общ. ред. Н. П. Копылова. – М.: ВНИИПО, 2007. – 477 с.

29. Гаврилей, В.М. Методы количественной оценки уровня пожаровзрывоопасности объектов: Обзорная информация / В.М. Гаврилей, А.П. Шевчук, А.В. Матюшин, В.А. Иванов. – М.: ГИЦ МВД СССР, 1987. – 55 с.

30. Шебеко, Ю.Н. Оценка индивидуального и социального риска аварии с пожарами и взрывами для наружных технологических установок / Ю.Н. Шебеко [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. – 1995. – т. 4. – №1. – С. 21-29.

31. Гражданкин, А.И. Разработка экспертной системы оценки техногенного риска и оптимизации мер безопасности на опасных производственных объектах: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.26.03 / Александр Иванович Гражданкин. – М.: ГУП НТЦ «Промышленная безопасность», 2001. – 34 с.

32. Горский, В.Г. Анализ риска – методологическая основа обеспечения безопасности химико-технологических объектов / В.Г. Горский [и др.] // Российский химический журнал. – 1994. - т. 38. - №2. – С. 54-61.

33. РД 09-536-03. Методические указания о порядке разработки плана локализации и ликвидации аварийных ситуаций (ПЛАС) на химико-технологических

объектах [Электронный ресурс]: руководящий документ (утв. Постановлением Госгортехнадзора России от 18.04.03 № 14) // Гарант: инф.-прав. об-ние. – Электрон. Дан. – М., 2017. – Доступ из локальной сети б-ки ФГБУ ВНИИПО МЧС России.

34. ГОСТ 12.1.004-91\*. ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования [Электронный ресурс]: государственный стандарт // Гарант: инф.-прав. об-ние. – Эл. Дан. – М., 2017. – Доступ из локальной сети б-ки ФГБУ ВНИИПО МЧС России.

35. Шевчук, А.П. Количественная оценка пожарного риска / А.П. Шевчук, В.И. Присадков // Юбилейный сборник трудов 60-летие ВНИИПО, 1997. – С. 259-269.

36. Присадков, В.И. Разработка методов выбора рациональных вариантов систем противопожарной защиты промышленных зданий: дис... д-ра техн. наук: 05.26.01 / Присадков Владимир Иванович. – М., 1990.

37. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности [Электронный ресурс]: приказ МЧС России от 30 июня 2009 г. № 382: (зарегистрировано в Минюсте РФ 06.08.2009 № 14486): (в ред. от 12.12.2011) // Гарант: инф.-прав. об-ние. – Эл. Дан. – М., 2017. – Доступ из локальной сети б-ки ФГБУ ВНИИПО МЧС России.

38. НПБ 105-03. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности [Электронный ресурс]: нормы пожарной безопасности (утв. приказом МЧС РФ от 18.07.2003 № 314) // Гарант: инф.-прав. об-ние. – Эл. Дан. – М., 2017. – Доступ из локальной сети б-ки ФГБУ ВНИИПО МЧС России.

39. СП 12.13130.2009\*. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности [Электронный ресурс]: свод правил (утв. введен в действие Приказом МЧС России от 25.03.2009 № 182) // Гарант: инф.-прав. об-ние. – Эл. Дан. – М., 2017. – Доступ из локальной сети б-ки ФГБУ ВНИИПО МЧС России.

40. СТО Газпром 2-2.3-351-2009. Методические указания по проведению анализа риска для опасных производственных объектов газотранспортных предприятий ОАО «Газпром»: стандарт организации. – Москва, 2009 . – 376 с.

41. Методическое руководство по оценке степени риска аварий на магистральных нефтепроводах: Серия 27. Выпуск 1 / Ю.А. Дадонов, М.В. Лисанов, Ю.В. Лисин, А.С. Печеркин, В.И. Сидоров. – 2-е изд., испр. – М.: Государственное унитарное предприятие «Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России», 2002.
42. Кокс, Т. Безопасность разработки морских месторождений нефти и газа: инжиниринг и надзор / Т. Кокс, А.Н. Черноплеков // Труды второй Международной конференции «Освоение шельфа арктических морей России». – Санкт-Петербург. – 1995. – С. 1-30.
43. Болодьян, И.А. Оценка пожарного риска для морской стационарной нефтедобывающей платформы / И.А. Болодьян [и др.] // Пожарная безопасность. – 2002. – №4. – С. 80-88.
44. Болодьян, И.А. Особенности оценки пожарного риска морских нефтегазодобывающих платформ / И.А. Болодьян [и др.] // Пожарная безопасность. – 2007. – №4. – С. 11-21.
45. Никитин, Б.А., Обеспечение безопасности объектов обустройства морских месторождений / Б.А. Никитин, Р.М. Тагиев. – Краснодар: Просвещение-Юг, 2008. – 204 с.
46. Тагиев, Р.М. Противопожарная защита ледостойких морских платформ / Р.М. Тагиев // Пожарная безопасность в строительстве. – 2009. – №4. – С. 36-40.
47. Шебеко, Ю.Н. Оценка пожарного риска для крупномасштабного терминала отгрузки нефти / Ю.Н. Шебеко [и др.] // Пожарная безопасность. – 2005. – №1. – С. 40-49.
48. Shebeko, Yu.N. Fire and explosion risk assessment for large-scale oil export terminal / Yu.N. Shebeko, I.A. Bolodian, V.P. Molchanov, Yu.I. Deshevih, D.M. Gordienko, I.M. Smolin, D.S. Kirillov // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. – 20 – 2007. – P. 651-658.
49. Шебеко, Ю.Н. Оценка пожарной безопасности нефтебазы при возникновении в условиях городской застройки отступлений от требований пожарной безопасности / Ю.Н. Шебеко [и др.] // Пожарная безопасность. – 2007. – №4. – С. 22-28.

50. Шебеко, Ю.Н. Обеспечение пожарной безопасности резервуарного парка хранения нефтепродуктов, расположенного вблизи жилых и общественных зданий / Ю.Н. Шебеко [и др.] // Пожарная безопасность. – 2009. – №2. – С. 33-41.
51. Шебеко, Ю.Н. Анализ индивидуального риска пожаров и взрывов для автозаправочной станции с наземным резервуаром / Ю.Н. Шебеко [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. – 1998. – т. 7. – № 4. – С. 31-39.
52. Шебеко, Ю.Н. Анализ индивидуального риска пожаров и взрывов для автозаправочной станции с подземным резервуаром / Ю.Н. Шебеко [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. – 1999. – т. 8. – № 3. – С 49-54.
53. Шебеко, Ю.Н. Оценка индивидуального и социального риска пожаров и взрывов для многотопливной автозаправочной станции / Ю.Н. Шебеко [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. – 1999. – т. 8. – № 6. – С. 42-47.
54. Шебеко, Ю.Н. Оценка пожарного риска для зданий, расположенных на территории автозаправочных станций / Ю.Н. Шебеко [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. – 2000. – т. 9. – № 5. – С. 19-24.
55. Шебеко, Ю.Н. Пожарная безопасность топливозаправочного пункта диметилового эфира / Ю.Н. Шебеко [и др.] //Международный научно-технический журнал «Транспорт на альтернативном топливе». – 2008. – №3. – С. 50-56.
56. Шебеко Ю. Н. Оценка материального риска пожаров и взрывов для наружных технологических установок / Ю.Н. Шебеко [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. – 1999. – т. 8. – № 5. – С. 54-62.
57. Шебеко, Ю.Н. Некоторые аспекты оценки пожарного риска для трубопроводов с горючими газами, легковоспламеняющимися и горючими жидкостями / Ю.Н. Шебеко [и др.] // Пожарная безопасность. – 2003. – №2. – С. 106-108.
58. Шебеко, Ю.Н. Оценка пожарного риска для берегового перевалочного комплекса аммиака / Ю.Н. Шебеко // Пожарная безопасность. – 2004. – №3. – С. 45-51.
59. Шебеко, Ю.Н. Оценка пожарного риска для буровой площадки с комплексом первичной подготовки нефти и газа / Ю.Н. Шебеко [и др.] // Пожарная безопасность. – 2005. – №3. – С. 14-21.

60. Шебеко, Ю.Н. Экспресс-методы определения условной вероятности поражения человека тепловым излучением при пожарах на наружных технологических установках / Ю.Н. Шебеко // Пожарная безопасность. – 2006. – №5. – С. 73-79.

61. Шебеко, Ю.Н. Особенности оценки пожарного риска для сложных и уникальных сооружений / Ю.Н. Шебеко [и др.] // Пожарная безопасность. – 2009. – №1. – С. 39-44.

62. Шебеко, Ю.Н. Обеспечение пожарной безопасности товарно-сырьевого склада сжиженного углеводородного газа, расположенного в черте населенного пункта / Ю.Н. Шебеко [и др.] // Пожарная безопасность. – 2009. – №3. – С. 64-71.

63. Лисанов, М.В. Анализ риска магистральных нефтепроводов при обосновании проектных решений, компенсирующих отступления от действующих требований безопасности / М.В. Лисанов [и др.] // Безопасность труда в промышленности. – 2010. – №3. – С. 58-66.

64. Специальные технические условия проекта «Анализ риска опасных производственных объектов проекта «Сахалин-II» (1000-S-90-01-S-1508-00-01) / Проект «Сахалин-II». Разработка Пильтун-Астохского и Лунского месторождения нефти и газа на условиях Соглашения о разделе продукции. – М., 2004.

65. Руководство по оценке пожарного риска промышленных предприятий / И.А. Болодьян [и др.]. – М.: ВНИИПО, 2006. – 97 с.

66. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах [Электронный ресурс]: приказ МЧС России от 10 июля 2009 г №404: (зарегистрировано в Минюсте РФ от 17.08.2009 г №14541) // Гарант: инф.-прав. об-ние. – Эл. Дан. – М., 2017. – Доступ из локальной сети б-ки ФГБУ ВНИИПО МЧС России.

67. *Pietersen, C. M. Consequences of Accidental Releases of Hazardous Materials / C.M. Pietersen // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. – 1991. – v. 4. – N 1. – P. 136 -141.*

68. *Griffiths, R.F., The use probit expression in the assesment of acute population impact of toxic releases / R.F. Griffiths // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. – 1991. – Vol 4. – №1. – P. 49-57.*

69. Холщевников, В. В. Эвакуация и поведение людей при пожарах / В.В. Холщевников, Д.А. Самошин. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2009. – 212 с.
70. Самошин, Д.А. Расчет времени эвакуации людей. Проблемы и перспективы / Д.А. Самошин // Пожаровзрывобезопасность. – 2004. – № 1. – С. 33-46.
71. *AEA Technology. A Technical Summary of the AEA EGRESS Code. Technical Report, AEAT/NOIL/27812001/002(R), Issue 1, 2003.*
72. Применение полевого метода математического моделирования пожаров в помещениях: Методические рекомендации. – М.: ВНИИПО, 2003. – 35 с.
73. *Koss, L.L. Human Mobility Data for Movement on Ships / L.L. Koss, A. Moore, B. Porteous // The Royal Institution of Naval Architects, Proceedings from Fire at Sea, London, 1997.*
74. *The Ship Stability Research Centre, Maritime and Coastguard Agency, Research Project 490 Phase 1" The Effects Of Ship Motion On The Evacuation Process", Task 3.1a "Critical Review of Data Available as input to Evacuation Simulation Tools", March 2004.*
75. Декларация промышленной безопасности Завода сжижения природного газа. О. Сахалин. Сахалин Энерджи Инвестмент Компани Лтд.». – 2009. – Регистрационный № А77-00301-026. ДСП.
76. Болодьян, И.А. Развитие полевого метода моделирования пожаров в помещениях / И.А. Болодьян, А.Н. Бородкин, А.В. Карпов, Д.И. Пуцев // Юбилейный сборник трудов ФГУ ВНИИПО МЧС России – М.: ВНИИПО, 2007.
77. Молчадский, И.С. Пожар в помещении / И.С. Молчадский. – М.: ВНИИПО, 2005. – 456 с.
78. Астапенко, В.М. Термогазодинамика пожаров в помещениях / В.М. Астапенко, Ю.А. Кошмаров, И.С. Молчадский, А.Н. Шевляков. – М.: Стройиздат, 1988. – 448 с.
79. Расчет необходимого времени эвакуации людей из помещений при пожаре: Рекомендации. – М.: ВНИИПО МВД СССР, 1989. – 22 с.
80. Карькин, И.Н. Методические рекомендации по использованию программы *CFAST* / И.Н. Карькин, Н.А. Контарь, В.Ю. Грачев. - СИТИС, 2009. – 63 с.

81. *CFAST – Consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport (Version 6). User’s Guide / R.D. Peacock, W.W. Jones, P.A. Reneke, G.P. Forney // NIST Special Publication 1041, 2005. – 97 p.*
82. Мак-Граттан, К. Руководство пользователя программы FDS (Версия 5) / К. Мак-Граттан, Б. Клейн, С. Хостика, Д. Флloyd. - Специальное издание НИИСТ 1019-5. – 2007. – 186 с.
83. *Trbojevie, V.M. Risk criteria in EU // Risk Support Limited, London. – 2005.*
84. О техническом регулировании [Электронный ресурс]: федер. закон от 27 дек. 2002 г. № 184-ФЗ: (в ред. от 03 дек. 2012 г.) // Гарант: инф.-прав. об-ние. – Электрон. Дан. – М., 2017. – Доступ из локальной сети б-ки ФГБУ ВНИИПО МЧС России.
85. О внесении изменений в Федеральный закон «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [Электронный ресурс]: федер. закон от 10 июля 2015 г. №117-ФЗ // Гарант: инф.-прав. об-ние. – Электрон. Дан. – М., 2017. – Доступ из локальной сети б-ки ФГБУ ВНИИПО МЧС России.
86. *Reducing Risks, Protection People (2R2P). HSE's decision-making process, 2001.*
87. *Marine Risk Assessment. HSE UK, Offshore Technology Report, 2001.*
88. *Hazardous Industry Planning Advisory Paper 4: Risk Criteria for Land Use Safety Planning. State of New South Wales through the Department of Planning. Sydney NSW Australia, 2011.*
89. *ISO/DTS 16901. Guidance on performing risk assessment in the design of on-shore LNG installations including the ship/shore interface. 2010. – 58 p.*
90. *Hong Kong Planning Standards and Guidelines. Chapter 12: Miscellaneous Planning Standards and Guidelines. The Government of the Hong Kong Special Administrative Regions. Planning Department. 2008.*
91. *Alle, B.J.M. Risk analysis and risk policy in the Netherlands and the EEC / B.J.M. Alle // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. – 1991. – V. 4(1). – P. 58-64.*
92. *Guidelines for Developing Quantitative Safety Risk Criteria. - American Institute of Chemical Engineers. 2009.*
93. СП 5.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования. [Электронный ресурс]: свод правил (утв. введен в действие Приказом МЧС Рос-

сии от 25.03.2009 № 182) // Гарант: инф.-прав. об-ние. – Эл. Дан. – М., 2017. – Доступ из локальной сети б-ки ФГБУ ВНИИПО МЧС России.

94. ГОСТ Р 51091-97. Установки порошкового пожаротушения автоматические. Типы и основные параметры. [Электронный ресурс]: государственный стандарт // Гарант: инф.-прав. об-ние. – Эл. Дан. – М., 2017. – Доступ из локальной сети б-ки ФГБУ ВНИИПО МЧС России.

95. ГОСТ Р 51043-2002. Установки водяного и пенного пожаротушения автоматические. Оросители. Общие технические требования. Методы испытаний. [Электронный ресурс]: государственный стандарт // Гарант: инф.-прав. об-ние. – Эл. Дан. – М., 2017. – Доступ из локальной сети б-ки ФГБУ ВНИИПО МЧС России.

96. Баратов, А.Н. Горение – Пожар – Взрыв – Безопасность. М.: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2003. – 356 с.

97. Пожарная нагрузка. Обзор зарубежных источников. / Под. ред. В.Ю. Грачева. ООО «СИТИС, 2009. – 82 с.

98. *BS-7346-4:2003. Components for smoke and heat control systems – Part 4: Functional recommendations and calculation methods for smoke and heat exhaust ventilation systems, employing steady-state design fires – Code of practice. – British Standards Institution.*

99. СП 155.13130.2014. Склады нефти и нефтепродуктов. Требования пожарной безопасности [Электронный ресурс]: свод правил (утв. введен в действие Приказом МЧС России от 26.12.2013 № 837) // Гарант: инф.-прав. об-ние. – Эл. Дан. – М., 2017. – Доступ из локальной сети б-ки ФГБУ ВНИИПО МЧС России.

100. МГСН 4.04-94\*. Многофункциональные здания и комплексы. [Электронный ресурс] // Гарант: информ.-правовое обеспечение. – Электрон. Дан. – М., 2017. – Доступ из локальной сети б-ки ФГБУ ВНИИПО МЧС России

101. *Assessment of benefits of fire compartmentation in chemical warehouses. Research report 152. Prepared by WS Atkins Consultants Ltd for the Health and Safety Executive. HSE BOOKS, 2003. – 54 p.*

102. *Effectiveness of Fire Safety Systems for Use in Quantitative Risk Assessments. Fire Research Report. New Zealand Fire Service Commission, 2008. – 207 p.*

103. Обеспечение пожарной безопасности предприятий нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности: Рекомендации. – М.: ВНИИПО, 2004. – 58с.
104. *Two fires at Grangemouth. «Fire», 1987. – 79. – №983, 8.*
105. *Most Norco units shut down in wake of blast. Hagar R. “Oil and Gas. J.”, 1988 – №20.*
106. *Alarm in Duisburg: “BrenntTanklager”. Crain. “Feuerwehrmann”, 1988. – №5, 12.*
107. *Raffineriebrände // Gefahrl. Lad. – 1988. – 33, № 7. – С. 3.*
108. Борисова, Г. Чрезвычайные обстоятельства / Г. Борисова // Пожарное дело. – 1989. №2. – С.30-31.
109. *TankbandeRhemania-Ossag-RaffinerieHamburg-Grasbrok am 6.8.1944 / Brunswig Hans // Mag. Feuerwehr – 1988/ - 13. № 12. – P. 716-719.*
110. Маршалл, В. Основные опасности химических производств: Пер. с англ. - М.: Мир, 1989. – 672 с.
111. *Storaffinaderinarakatastrof // Brand ochradning. – 1989 – 4, №6-7. С. 18.*
112. *Storbandi // Industriforsaking. – 1989. - №3. – С. 22-25.*
113. *The BP fires and explosion / Kletz T/ // Chem. Eng. (Gr.Brit.). – 1989. – № 463. – С.43.*
114. *Grobbrand in Mineralol-Raffinerie: 10/ №11. – С.600-610.*
115. *Huge foam attack on Shell fire // Fire/ - 1990/ - 82 №1019. – С.8.*
116. *Exxon seeking cause of blast // ENR/ - 1990. – 224., №1. P.12.*
117. *Esseks firefighters attend Double Refinery blaze//Fire. -1991. -83, №1031, Spec. Suppl. - p. 45-46.*
118. *Accident of raffinerie. Declenchement de P/P I et de plan rouge. La Mede, 9 novembre 1992 / Cavallin, Farisse, Belloncle, Bourrillon, Monet, Harroue // Sapeurpompier. – 1993. – 104, №839. – P 28-33.*
119. *Doche, R. Boiloverdansuneusine de lubrifians / R. Doche // Face risque – 1995, № 316 – С. 60-65.*
120. *Czech refinery conflagration / Horacek J. // Fire Int. – 1997. № 157. С.21.*
121. *Doche, R. Explosion catastrophique d’un gasoduc en Belgique / R. Doche // Face risque – 2004, № 406 – P. 33-36.*

122. *Brittain, J Foam supplier's speedy response to Buncefield blaze / J. Brittain // Fire – 2006 – 98, №1207 – P.21.*
123. *Analysis and study on harmfulness of LPG explosion / Liang Qing-quan, Liang Chan-ying // Fire Science and Technology – 2006 -25, №7, P.524-527.*
124. *Batchelor, J. How we tackled Europe's biggest peace time blaze / J. Batchelor // Fire – 2006 – 98, №1207 – P. 12-14.*
125. *Schuler, D. Peu de reponses pour l'instant / D. Schuler // Schweiz. Feuerwehr-Ztg – 2006 – 132, №6, P. 86-88.*
126. СП 4.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям (утвержден приказом МЧС России от 25.03.2009 № 174). [Электронный ресурс]: свод правил (утв. введен в действие Приказом МЧС России от 25.03.2009 № 182) // Гарант: инф.-прав. об-ние. – Эл. Дан. – М., 2017. – Доступ из локальной сети б-ки ФГБУ ВНИИПО МЧС России.
127. *Purdy, G. Tank fire escalation – modeling and mitigation / G. Purdy, R.M. Pitblado, D.F. Bagster // In: Proceedings of the 7th International Symposium on Loss Prevention and Safety Promotion in the Process Industries. Taormina, 1992, vol. 3, p. 163/1-163/15.*
128. СНиП 2.01.01-82. Строительная климатология и геофизика. [Электронный ресурс] // Гарант: информ.-правовое обеспечение. – Электрон. Дан. – М., 2017. – Доступ из локальной сети б-ки ФГБУ ВНИИПО МЧС России.
129. СНиП 23-01-99. Строительная климатология. [Электронный ресурс] // Гарант: информ.-правовое обеспечение. – Электрон. Дан. – М., 2017. – Доступ из локальной сети б-ки ФГБУ ВНИИПО МЧС России.
130. *Shell Shepherd Desktop Technical Guide. Shell Global Solution, UK, – 2003.*
131. *Physical Effects Modelling Handbook. Shell Research and Technology Centre, Thornton, UK, – 1997.*
132. СП 156.13130.2014 Станции автомобильные заправочные. Требования пожарной безопасности [Электронный ресурс]: свод правил (утв. введен в действие Приказом МЧС России от 05.05.2014 № 221) // Гарант: инф.-прав. об-ние. – Эл. Дан. – М., 2017. – Доступ из локальной сети б-ки ФГБУ ВНИИПО МЧС России.

133. Болодьян, И.А., Пожаровзрывобезопасность многотопливных автозаправочных станций / И.А. Болодьян [и др.] // Пожарная безопасность. – 2001. – № 1, – с. 31-52.
134. Болодьян, И.А. Обеспечение пожаровзрывобезопасности многотопливных автозаправочных станций / И.А. Болодьян [и др.] // Автозаправочный комплекс. – 2001. – № 2, с. 42-47.
135. Болодьян, И.А. Пожарная опасность многотопливных автозаправочных станций / И.А. Болодьян [и др.] // Полимергаз, 2000, – № 2. – с. 16-19 и № 3. с. 22-27.
136. *Grossthwaite, P.J. Risk assessment for the siting of developments near liquefied petroleum gas installations / P.J Grossthwaite, R.D. Fitzpatrick, N.W. Hurst // I Chem E Sumposium Series. – 1988. – №110.*
137. *A risk analysis of six potentially hazardous industrial objects in the Rijnmond area - a pilot study. RijnmondPublicAuthority, COVO, D. ReidelPublishingCo., Dordrecht, 1982.*
138. *DNV Technica; ARF Technical Note T5, 1996.*
139. *Lees, F.P. "Loss Prevention in the Process Industries", 2nd Edition, Butterworth-Heinemann, Oxford, UK, 1996, p.16/153 and Cox A.W., Lees F.P., Ang M.L. Classification of Hazardous Locations, Institution of Chemical Engineers, Rugby, UK, 1990.*
140. *Hurst, N. W. Failure rate and incident database for major hazards / N.W. Hurst, R.K. Hankin // In: Proceedings of the 7th International Symposium on Loss Prevention and Safety Promotion in the Process Industries. Taormina, Italy, 1992. – V. 3. – P.143-152.*
141. ГОСТ Р 53324 -2009 Национальный стандарт российской федерации ограждения резервуаров. Требования пожарной безопасности. [Электронный ресурс]: государственный стандарт // Гарант: инф.-прав. об-ние. – Электрон. Дан. – М., 2017. – Доступ из локальной сети б-ки ФГБУ ВНИИПО МЧС России.
142. ГОСТ 9544 - 2005 Арматура трубопроводная запорная. Классы и нормы герметичности затворов. [Электронный ресурс]: государственный стандарт // Гарант: инф.-прав. об-ние. – Электрон. Дан. – М., 2017. – Доступ из локальной сети б-ки ФГБУ ВНИИПО МЧС России.
143. ГОСТ Р 52350.10 - 2005 Электрооборудование для взрывоопасных газовых сред. Часть 10. Классификация взрывоопасных зон. [Электронный ресурс]: государственный стандарт // Гарант: инф.-прав. об-ние. – Электрон. Дан. – М., 2017. – Доступ из локальной сети б-ки ФГБУ ВНИИПО МЧС России.

144. ПУЭ «Правила устройства электроустановок. Издание 7». [Электронный ресурс]: государственный стандарт // Гарант: инф.-прав. об-ние. – Электрон. Дан. – М., 2017. – Доступ из локальной сети б-ки ФГБУ ВНИИПО МЧС России.
145. Морская нефть. Развитие технических средств и технологий / Э.М. Мовсумзаде, Б.Н. Мастобаев, Ю.Б. Мастобаев, М.Э.Мовсумзаде. – СПб.: Недра – 2005, 236с.
146. Добыча ресурсов на континентальном шельфе – от разработки морских территорий до раздела Арктики. Зеленцова Ж. [Электронный ресурс]: портал «Пронедра.ру», 2012. URL: <http://pronedra.ru/oil/2011/10/11/dobycha-resursov-na-kontinentalinom-shelife>.
147. Эксон нефтегаз лимитед. Оператор проекта «Сахалин -1» [Электронный ресурс]: офиц. сайт. Корпорация «Эксон мобил», 2003-2014. URL: <http://www.sakhalin-1.ru/Sakhalin/Russia-Russian/Upstream/default.aspx>.
148. «Роснефть» начала добычу нефти на месторождении Аркутун-Даги. [Электронный ресурс]: офиц. сайт. ОАО «НК «Роснефть», 2014. URL: <http://www.rosneft.ru/news/pressrelease/19012015.html>.
149. О Программе создания в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке единой системы добычи, транспортировки газа и газоснабжения с учетом возможного экспорта газа на рынки Китая и других стран АТР [Электронный ресурс]: приказ Министерства промышленности и энергетики РФ от 3 сентября 2007 г. № 340 Гарант: инф.-прав. об-ние. – Электрон. Дан. – М., 2017. – Доступ из локальной сети б-ки ФГБУ ВНИИПО МЧС России.
150. ОАО «Газпром». Проект «Сахалин-2». [Электронный ресурс]: офиц. сайт. ОАО «Газпром», 2003-2013. URL: <http://www.gazprom.ru/about/production/projects/deposits/sakhalin2>.
151. Пресс-Релиз 28.04.2010. Лукойл добыл первую нефть в российском секторе каспийского моря. [Электронный ресурс]: офиц. сайт. ОАО «Лукойл», 2010. URL: [http://www.lukoil.ru/press.asp?div\\_id=1&id=2257&year=2010](http://www.lukoil.ru/press.asp?div_id=1&id=2257&year=2010).
152. Общество с ограниченной ответственностью «ЛУКОЙЛ-Калининградморнефть». [Электронный ресурс]: офиц. сайт. ООО «Лукойл-Калининградморнефть», 2004-2014. URL: <http://www.lukoil-kmn.com/>.

153. ОАО «Газпром». «Приразломное нефтяное». [Электронный ресурс]:офиц. сайт. ОАО«Газпром», 2003-2013. URL: <http://www.gazprom.ru/about/production/projects/deposits/pnm/>.
154. *Kvaerner concrete solutions*. [Электронный ресурс]: офиц. сайт. Компания «Квэрнэр», 2011-2014. URL: [http://www.kvaerner.com/Global/images/Products/Concrete/Concrete\\_brochure\\_eng\\_2013\\_2.pdf](http://www.kvaerner.com/Global/images/Products/Concrete/Concrete_brochure_eng_2013_2.pdf).
155. Уникальное буровое судно «Валентин Шашин» возвращено России. [Электронный ресурс]. Офиц. сайт. «Мурманский информационный портал. B-port.com». URL: <http://www.b-port.com/news/item/57970.html>.
156. Сергеев, А Японцы готовятся просверлить земную кору насквозь / А. Сергеев. [Электронный ресурс]. Офиц.сайт. Научно-популярный проект «Элементы». Сайт о фундаментальной науке. URL: <http://elementy.ru/news/165054>.
157. *API Recommended Practice for Planning, Designing, and Constructing Floating Production Systems. American Petroleum Institute, 2000 Draft.*
158. *API Recommended Practice for Design of Risers for Floating Production (FPSs) and Tension-Leg Platforms (TLPs). American Petroleum Institute, June 1998.*
159. Российский Морской Регистр Судоходства. Правила постройки, классификации и оборудования плавучих буровых установок и морских стационарных платформ. НД №2-020201-012, 2014 г.;
160. Российский Морской Регистр Судоходства. Правила постройки, классификации и оборудования морских плавучих нефтегазодобывающих комплексов. НД № 2-020201-011, 2011 г.;
161. Типпи, Дж. Арктический тонус повышается в России, Норвегии и Канаде / Дж. Типпи // *Offshore Russia*. – М.: «Издательский дом Недра», № 3 (5), август 2014, с. 38-39.
162. Никитин, Б.А. Обеспечение безопасности объектов обустройства морских месторождений / Б.А. Никитин, Р.М. Тагиев // Краснодар: Просвещение-Юг, 2008. – 204 с.
163. *Accident Statistics for Offshore Units on the UKCS 1990-2007 / Health and Safety Executive. – Issue 1: April 2009. OIL & GAS UK, London.*

164. *Offshore Injury, Ill Health and Incident Statistics 2009/2010 / Health and Safety Executive. – Issue: December 2010. URL: <http://www.hse.gov.uk>.*
165. Самуева, Е.А. Проблемы аварийных взрывов на морских нефтегазовых объектах / Е.А. Самуева // *Безопасность труда в промышленности.*: 2011, №8, с. 69-73.
166. *Offshore Injury, Ill Health and Incident Statistics 2010/2011 / Health and Safety Executive. – Issue: December 2011. URL: <http://www.hse.gov.uk>.*
167. *Offshore Injury, Ill Health and Incident Statistics 2011/2012 / Health and Safety Executive. – Issue: December 2012. URL: <http://www.hse.gov.uk>.*
168. *Offshore Injury, Ill Health and Incident Statistics 2012/2013 / Health and Safety Executive. – Issue: December 2012. URL: <http://www.hse.gov.uk>.*
169. Щурихина, О.В. Безопасность морских нефтегазодобывающих платформ / О.В. Щурихина, Р.Р. Шакирова, В.Б. Барахнина // ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» – Уфа.
170. Сафонов, В.С. Материалы тематического семинара «Об опыте декларирования промышленной безопасности и страхования ответственности. Развитие методов оценки риска аварий на опасных производственных объектах» / В.С. Сафонов, Г.Э. Одишария, Е.В. Шеберстов // НТЦ «Промышленная безопасность» - М.: ООО «ВНИИГАЗ», 2003. – С. 124-142.;
171. Лисанов, М.В. Анализ риска аварий на опасных производственных объектах морских нефтегазовых месторождений / М.В. Лисанов, В.В. Симакин // Материалы II Международной конференции ROOGD-2008 «Освоение ресурсов нефти и газа российского шельфа: Арктика и Дальний Восток», 2008. – С. 20-51.;
172. *Deepwater Horizon. Accident Investigation Report. Executive summary. September 8, 2010. BP, 193 p.*
173. *Final Report for United States Department of the Interior. Bureau of Ocean Energy Management Regulation and Enforcement. Washington, DC 20240, Forensic Examination of Deepwater Horizon Blowout Preventer, March 20, 2011. Det Norske Veritas, 200 p.*
174. Емельянов, Е.Н. Разработки НТЦ «Промышленная безопасность» в области безопасности в нефтяной и газовой промышленности / Е.Н. Емельянов, В.Ф. Мартынюк, А.А. Киселев // *Безопасность труда в промышленности*, 1997, № 5.-С.49-52.

175. Талдай, А. Безопасность работ на континентальном шельфе / А. Талдай // Безопасность труда в промышленности, 1992, №2.- С.2-8.
176. Баратов, А.Н. Пожарная опасность веществ и материалов и средства их тушения. Справочник / А.Н. Баратов [и др.] – М.: Химия, 1990, 384 с.
177. ГОСТ 305-2013. Топливо дизельное. Технические условия [Электронный ресурс]: государственный стандарт // Гарант: инф.-прав. об-ние. – Эл. Дан. – М., 2017. – Доступ из локальной сети б-ки ФГБУ ВНИИПО МЧС России.
178. ГОСТ 12337-84. Масла моторные для дизельных двигателей. Технические условия [Электронный ресурс]: государственный стандарт // Гарант: инф.-прав. об-ние. – Эл. Дан. – М., 2017. – Доступ из локальной сети б-ки ФГБУ ВНИИПО МЧС России.
179. ПБ 08-623-03 «Правила безопасности при разведке и разработке нефтяных и газовых месторождений на континентальном шельфе». [Электронный ресурс]: государственный стандарт // Гарант: инф.-прав. об-ние. – Эл. Дан. – М., 2017. – Доступ из локальной сети б-ки ФГБУ ВНИИПО МЧС России.
180. ФНиП «Правила безопасности морских объектов нефтегазового комплекса», утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 18.03.2014 № 105 [Электронный ресурс]: государственный стандарт // Гарант: инф.-прав. об-ние. – Эл. Дан. – М., 2017. – Доступ из локальной сети б-ки ФГБУ ВНИИПО МЧС России.
181. ГОСТ Р 55998-2014 Нефтяная и газовая промышленность. Морские добычные установки. Эвакуационные пути и временные убежища. Основные требования [Электронный ресурс]: государственный стандарт // Гарант: инф.-прав. об-ние. – Эл. Дан. – М., 2017. – Доступ из локальной сети б-ки ФГБУ ВНИИПО МЧС России.
182. ISO 10418:2003 «Нефтяная и газовая промышленность Морские добычные установки. Системы обеспечения безопасности технологического процесса».
183. ГОСТ Р ИСО 17776-2010. Менеджмент риска. Руководящие указания по выбору методов и средств идентификации опасностей и оценки риска для установок по добыче нефти и газа из морских месторождений [Электронный ресурс]: государственный стандарт // Гарант: инф.-прав. об-ние. – Эл. Дан. – М., 2017. – Доступ из локальной сети б-ки ФГБУ ВНИИПО МЧС России.

184. NORSOK S-001 «Техническая безопасность».
185. NORSOK C-001 «Жилой модуль».
186. Морской стандарт DNV-OS-D301. Противопожарная защита.
187. Гордиенко, Д.М. Пособие по определению расчетных величин пожарного риска для производственных объектов / Д.М. Гордиенко [и др.] // М.: ВНИИПО, 2012. - с. 242.
188. Гордиенко, Д.М. Критерии предельно допустимого пожарного риска для производственных объектов / Д.М. Гордиенко [и др.] // Пожарная безопасность, 2012, № 4, с. 94-101.
189. PD 7974-7:2003. *Application of fire safety engineering principles to the design of buildings. Part 7: Probabilistic fire risk assessment, British Standards Institution (BSI), London, UK, 2003* (перевод ООО «СИТИС», 2010 г.).
190. ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010-2011. Менеджмент риска. Методы оценки риска [Электронный ресурс]: государственный стандарт // Гарант: инф.-прав. об-ние. – Эл. Дан. – М., 2017. – Доступ из локальной сети б-ки ФГБУ ВНИИПО МЧС России.
191. Reason, James. "The Contribution of Latent Human Failures to the Breakdown of Complex Systems". 1990. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences* 327 (1241): 475–484.
192. «Оценка международных стандартов для безопасной разведки, добычи и транспортировки нефти и газа в Баренцевом море. Гармонизация стандартов по охране труда, промышленной безопасности и охране окружающей среды для работ в Баренцевом море». Российско-норвежский проект «Баренц-2020», Окончательный отчет, 139 стр.
193. Пилюгин, Л.П. Обеспечение взрывоустойчивости зданий с помощью предохранительных конструкций / Л.П. Пилюгин // Ассоциация «Пожарная безопасность и наука» 2007. – 224с.
194. СП 56.13330.2011 Свод правил. Производственные здания. (Актуализированная редакция СНиП 31-03-2001).
195. Каплин, И.В. Флегматизация как альтернатива легкобрасываемым конструкциям для морских нефтегазовых объектов. / И.В. Каплин, О.К. Гарбаренко, Е.И. Каплин // Безопасность труда в промышленности. - № 5 – 2012, с.60-64.

196. Монахов, В.Т. Показатели пожарной опасности веществ и материалов. Анализ и предсказание. Газы и жидкости / В.Т. Монахов – М.: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2007. – 248 с.
197. ГОСТ 12.1.044-89 Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения [Электронный ресурс]: государственный стандарт // Гарант: инф.-прав. об-ние. – Эл. Дан. – М., 2017. – Доступ из локальной сети б-ки ФГБУ ВНИИПО МЧС России.
198. ISO 14520:2006. Установки газового пожаротушения. Физические свойства и проектирование.
199. Расчет концентрационных пределов распространения пламени парогазовых смесей сложного состава. Методическое пособие. М.: ВНИИПО, 2012. – 51 с.
200. Шебеко, А.Ю. Расчетная оценка горючести газовых смесей сложного состава / А.Ю. Шебеко // Пожарная безопасность. - 2007 - № 2 - с. 91-102.
201. Coward H.F., Jones G.W., “Limits of flammability of Gases and Vapors”, Bureau of Mines, Bulletin 503, Washington, 1952. - 155 p.
202. Кулаков, В.Г. Минимальные огнетушащие и флегматизирующие концентрации альтернативных огнетушащих составов / В.Г. Кулаков [и др.]. // В кн. Крупные пожары: предупреждение и тушение. Материалы XVI научно-практической конференции, ч.2, М., 2001 - с.142-143.
203. NFPA 2001. Standard on Clean Agent Fire Extinguishing Systems. 2004 Edition. // National Fire Protection Association, 2001 – 109 p.
204. Баратов, А.Н. Пожаротушение на предприятиях химической и нефтехимической промышленности / А.Н. Баратов, Е.Н. Иванов - М., Химия, 1979г. - 262с.
205. Демидов, П.Г. Горение и свойства горючих веществ / П.Г. Демидов, В.А. Шандыба, П.П. Щеглов - М., Химия, 1981г., 272с.
206. Hamins, A. Extinction of nonpremixed flames with halogenated fire suppressants / A. Hamins, D. Trees, K. Seshadri, H.K. Chelliah // Combustion and Flame.- 1994.-V. 99, 2.- P. 221-230.
207. Linteris, G.T. Inhibition of premixed methane - air flames by fluoromethanes / G.T. Linteris, L. Truett// Combustion and Flame. – 1996. – V. 105, 1/2. – p. 15 – 27.

208. *Takahashi, K. Inhibition of combustion of bromine - free polyfluorocarbons / K. Takahashi, Y. Sekiuji, T. Inomata e.a. // Combustion Science and Technology. - 1994. - V. 102, 1 - 6. - p. 213 - 230.*
209. Копылов, С.Н. Гептафторйодпропан как замена хладона 114 В2 в пожаротушении и взрывопреупреждении / С.Н. Копылов, С.А. Кольцов, С.М. Игумнов // Пожарная безопасность. – 2005. – 2. С. 51 - 55.
210. Баратов, А.Н. Новое средство объемного пожаротушения / А.Н. Баратов, А.А. Родин, О.П. Ребристая // Пожарная безопасность. - 2005. - 6. - С. 76-78.
211. Копылов, С.Н. Дибромиды как перспективные огнетушащие вещества с коротким временем жизни в атмосфере / С.Н. Копылов, С.А. Кольцов, О.Н. Карпухин // Пожарная безопасность. - 2005. – 4. – С. 79 - 82.
212. *Noto, T. Inhibition effectiveness of halogenated compounds / T. Noto, V. Babushok, A. Hamins, W. Tsang // Combustion and Flame. - 1998. - V. 112, 1/2. - P. 147 - 160.*
213. *Babushok, V. Inhibition influence on the bistability of a CSTR / V. Babushok, T. Noto, D.R.F. Burgess e.a. // Combustion and Flame. - 1997. - V. 108, 1. – P. 61 - 70.*
214. *Battin- Leclerc, F. Inhibiting effect of CF3I on the reaction between CH4 and O2 in a jet- stirred reactor / F. Battin- Leclerc, P.A. Glaude, G.M. Come, F. Baronnet // Combustion and flame. - 1997. - V. 109, 3. - P. 285 - 292.*
215. *Saito, W. Fire extinguishing effect of mixed agents of halon 1301 and inert gas / W. Saito, Y. Saso, Y. Ogawa e.a. // In.: Fire Safety Science. Proceedings of the 5th International Symposium on Fire Safety Science. Melbourne, IAFSS, 1997, p. 901 - 910.*
216. *Ohtani, H. Experimental study on flammability characteristics of perfluorocarbons / H. Ohtani // In: Fire Safety Science. Proceedings of the 6th International Symposium. IAFSS. – 2001. – p. 245 – 254.*
217. *Ohtani, H. Combustion characteristics of flammable gas mixtures with halon alternatives gases / H. Ohtani // In: Proceedings of the 2nd NRFID - Science, Technology and Standards for Fire Supression Systems. Mitaka, National Research Institute of Fire and Disaster, 2002.*
218. *Saso, Yu. Extinction of counterflow diffusion flames with halon replacements / Yu. Saso, N. Saito, C. Liao, Y. Ogawa // Fire Safety Journal. - 1996. - V. 26, 4. - p. 303 - 326.*

219. Saso, Yu. *Binary CF<sub>3</sub>Br – and CF<sub>3</sub>H - inert flame suppressants: effect of temperature on the flame inhibition effectiveness of CF<sub>3</sub>Br and CF<sub>3</sub>H* / Yu. Saso, Y. Ogawa, N. Saito et. al. // *Combustion and Flame*. - 1999. - V. 118, 3. - p. 489-499.
220. Saito, N. *Flammability limits and peak concentrations: the use of new technique and results* / N. Saito, C. Liao, Y. Ogawa, Yu.Saso // In: *Proceedings of the 2nd International Seminar on Fire and Explosion Hazard of Substances and Venting of Deflagrations*. Moscow, VNIPO, 1997, p. 195 - 206.
221. Grosshandler, W.L. *Suppression of high speed flames and quasi-detonations* / W.L. Grosshandler, G.W. Gmurchzuk // In: *Fire Safety Science. Proceedings of the 5th International Symposium on Fire Safety Science*. Melbourne, IAFSS, 1997. – p. 853 - 864.
222. Grosshandler, W.L., *Supression effectiveness of extinguishing agents under highly dynamic conditions* / W.L. Grosshandler, G.W. Gmurchzuk, D.L. Lowe // In: *Fire Safety Science. Proceedings of the 4th International Symposium on Fire Safety Science*. Ottawa, IAFSS, 1995. – p. 925 - 936.
223. Лисочкин, Я.А. Флегматизация метановоздушных смесей составами на основе углекислого газа и азота с добавками галоидуглеродов / Я.А. Лисочкин, В.И. Позняк // *Физика горения и взрыва*. - 2005. - Т. 41, 5. - с. 23 - 28.
224. Лисочкин, Я.А. Определение параметров взрыва при дефлаграции в замкнутом объеме газообразных фторированных мономеров и их смесей / Я.А. Лисочкин, В.И. Позняк, В.А. Рыкунов // *Химическая физика*. - 1998. - Т. 17, 11. - с. 117 - 119.
225. Лисочкин, Я.А. Оценка взрываемости фторсодержащих мономеров и их смесей по минимальному давлению зажигания при фиксированной энергии воспламенителя / Я.А. Лисочкин, В.И. Позняк // *Физика горения и взрыва*. – 2006. – Т. 42, 2. – с. 19 – 22.
226. Лисочкин, Я.А. Взрывоопасность смесей трудногорючих хладонов с воздухом при повышенных давлениях / Я.А. Лисочкин, В.И. Позняк // *Физика горения и взрыва*. – 2001. – Т. 37, 1. – с. 32 - 34.
227. Hamins, A. *Suppression of ignition over a heated metal surface* / A. Hamins, P.Borthwick // *Combustion and Flame*. - 1998. - V. 112, 1/2. - p. 161 - 170.
228. Holmstedt, G. *Investigation of scale effects of halon and halon alternatives regarding flame extinguishing, inerting concentration and thermal decomposition products* / G.

*Holmstedt, P. Andersson, J. Andersson // In.: Fire Safety Science. Proceedings of the 4th International Symposium on Fire Safety Science. Ottawa, IAFSS, 1995, p. 853 - 864.*

229. Шебеко, А.Ю. «Характеристики пожаровзрывоопасности газов в окислительных средах с различным содержанием кислорода при наличии флегматизаторов». Автореферат дисс. на соиск. уч.ст. канд. тех. наук: 05.26.03 / Шебеко Алексей Юрьевич - М.: 2008г., ВНИИПО МЧС России, 24с.

230. Терехин, С.Н. Газовое пожаротушение ЦОД. Успешный опыт применения хладона 23 / С.Н. Терехин, Д.В. Николаев и др.// ИнформКурьер-Связь, №5, май 2011, с.74-75.

231. Макеев, В.И. Определение времени подачи газовых составов при объемном тушении горючих газов и жидкостей / В.И. Макеев [и др.]. // Сб. науч. Тр. Пожаротушение, ВНИИПО. М.: 1983.

232. Максимов, С.В. Исследование на моделях наполнения помещений инертным газом (пер. с англ.) / Максимов С.В., Титов О.А., Родэ. А.А. // в сб. «Зарубежная пожарная техника». вып. 12. – М., Стройиздат, 1972г.

233. Голиневич, Г.Е. Исследование процессов объемного тушения и флегматизации водорода газовыми составами на основе бромхладонов. Автореф. дисс. на соиск. уч. ст. канд.тех.наук: 05.26.03 / Голиневич Герман Евгеньевич - М., ВНИИПО МВД СССР, 1982 г.

234. Рябов Н.И. Пожаровзрывоопасность процесса испарения нефти с открытой поверхности в атмосферу при проведении ремонтных работ на магистральных трубопроводах. Дисс. на соиск. уч. ст. канд.тех.наук: 05.26.03 / Рябов Николай Иванович - М., АПБ МВД России, 2000- 163 с.

235. *Bercha, F.G. Arctic offshore escape. Evacuation and rescue / F.G. Bercha // International Association for Hydraulic Engineering and Research Paper prepared for and presented at 17th International Symposium on Ice, St. Petersburg, Russia. – 9 p.*

236. *Atlantic Canada Offshore Petroleum Industry Escape, Evacuation and Rescue, Guide, Calgary: Canadian Association of Petroleum Producers. 2010., – 34 p.*

237. *ISO 19906:2010 Petroleum and natural gas industries – Arctic offshore Structures // International Organization for Standardization, 2010 – 474 p.;*

238. *ISO 15544:2000 Petroleum and natural gas industries – Offshore production installations – Requirements and guidelines for emergency response // International Organization for Standardization, 2000 – 50 p.*

239. СП 1.13130.2009 Системы противопожарной защиты. Эвакуационные пути и выходы. (С учетом изменения № 1, Приказ МЧС России от 09 декабря 2010 г. № 639). [Электронный ресурс] // Гарант: информ.-правовое обеспечение. – Электрон. Дан. – М., 2017. – Доступ из локальной сети б-ки ФГБУ ВНИИПО МЧС России;

240. ГОСТ Р 53323-2009. Огнепреградители и искрогасители. Общие технические требования. Методы испытаний. [Электронный ресурс] // Гарант: информ.-правовое обеспечение. – Электрон. Дан. – М., 2017. – Доступ из локальной сети б-ки ФГБУ ВНИИПО МЧС России.

241. ГОСТ Р 53315-2009. Кабельные изделия. Требования пожарной безопасности. [Электронный ресурс] // Гарант: информ.-правовое обеспечение. – Электрон. Дан. – М., 2017. – Доступ из локальной сети б-ки ФГБУ ВНИИПО МЧС России.

242. СО 153-34.21.122-2003 Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций. – М.: Издательство МЭИ, 2004. – 32 с.

243. ГОСТ 12.1.018-93. Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывобезопасность статического электричества. Общие требования. [Электронный ресурс] // Гарант: информ.-правовое обеспечение. – Электрон. Дан. – М., 2017. – Доступ из локальной сети б-ки ФГБУ ВНИИПО МЧС России.

244. СП 7.13130.2009 Отопление, вентиляция и кондиционирование. Противопожарные требования. [Электронный ресурс] // Гарант: информ.-правовое обеспечение. – Электрон. Дан. – М., 2017. – Доступ из локальной сети б-ки ФГБУ ВНИИПО МЧС России.

245. СП 3.13130.2009 Системы противопожарной защиты. Система оповещения и управления эвакуацией людей при пожарах. Требования пожарной безопасности. [Электронный ресурс] // Гарант: информ.-правовое обеспечение. – Электрон. Дан. – М., 2017. – Доступ из локальной сети б-ки ФГБУ ВНИИПО МЧС России.

246. ППР-12 Правила противопожарного режима Российской Федерации [Электронный ресурс] // Гарант: информ.-правовое обеспечение. – Электрон. Дан. – М., 2017. – Доступ из локальной сети б-ки ФГБУ ВНИИПО МЧС России.

247. Шавкин, С.В. Расчеты частоты аварийной разгерметизации для количественного анализа риска современных магистральных газопроводов / С.В. Шавкин, А.Н. Черноплеков, А.В. Гостева, Р.Е. Монахов, А.А. Ляпин. – Приложение к журналу «Безопасность жизнедеятельности», – март №3/2009.

248. Рекомендации по учету влияния технико-технологических, природно-климатических и других факторов при прогнозировании аварийности на МГ ОАО «Газпром» (утверждены ОАО «Газпром» 27.03.2007).

249. *EGIG: European Gas pipeline Incident data Group. 6<sup>th</sup> EGIG report 1970-2004. EGIG document 05.R.0002. – December 2005.*

250. *A Guideline «Using or Creating Incident Databases for Natural Gas Transmission Pipelines». Report of Study Group 3.4. 23<sup>rd</sup> World Gas Conference. June 1-5, – 2006. – Amsterdam.*

251. СНиП 2.01.07-85\* Нагрузки и воздействия.

252. СНиП 2.05.06-85\* Магистральные трубопроводы.

253. ППБ 01-03 «Правила пожарной безопасности в Российской Федерации»

254. СНиП 2.07.01-89\* «Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений»

255. О пожарной безопасности [Электронный ресурс]: федер. закон от 21.12.1994 г. № 69-ФЗ: // Гарант: инф.-прав. об-ние. – Электрон. Дан. – М., 2017. – Доступ из локальной сети б-ки ФГБУ ВНИИПО МЧС России.

256. О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию [Электронный ресурс] постановление Правительства Рос. Федерации от 16.02.2008 № 87 (в ред. от 28.04.2017 г.) // Гарант: инф.-прав. об-ние. – Электрон. Дан. – М., 2017. – Доступ из локальной сети б-ки ФГБУ ВНИИПО МЧС России.

257. О порядке разработки и согласования специальных технических условий для разработки проектной документации на объект капитального строительства [Электронный ресурс]: приказ Министерства регионального развития Российской Федерации от 01 апреля 2008 г. № 36 // Гарант: инф.-прав. об-ние. – Электрон. Дан. – М., 2017. – Доступ из локальной сети б-ки ФГБУ ВНИИПО МЧС России.

258. О порядке согласования отступлений от требований пожарной безопасности, а также не установленных нормативными документами дополнительных тре-

бований пожарной безопасности [Электронный ресурс]: приказ МЧС России от 16 марта 2008 года №141 // Гарант: инф.-прав. об-ние. – Электрон. Дан. – М., 2017. – Доступ из локальной сети б-ки ФГБУ ВНИИПО МЧС России.

259. ГОСТ Р 52289-2004\*. Технические средства организации дорожного движения. Правила применения дорожных знаков, разметки, светофоров, дорожных ограждений и направляющих устройств. [Электронный ресурс] // Гарант: информ.-правовое обеспечение. – Электрон. Дан. – М., 2017. – Доступ из локальной сети б-ки ФГБУ ВНИИПО МЧС России

260. *E&P Forum, Hydrocarbon Leak and Ignition Database, Report No. 11.4\180, May, 1992.*

261. Присадков, В.И. Надежность строительных конструкций при пожаре / В.И. Присадков // Огнестойкость строительных конструкций: сб. тр. М.: ВНИИПО, 1986. С. 70-73.

262. *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. National Fire Protection Association, Inc. - One Batterymarch Park. Quincy, Massachusetts. – 1602 p.*

263. Шебеко, Ю.Н. Условия пожарной безопасности при определении допустимых параметров функционирования производственных объектов / Ю.Н. Шебеко, А.Ю. Шебеко // Пожарная безопасность. – 2009. – № 4. – С. 61-66.

264. *ISO 13571:2007. Life-threatening components of fire – Guidelines for the estimation of time available for escape using fire data. – 2007. – 28 p.*

265. Молчадский, И.С. Моделирование пожаров в помещениях и зданиях / И.С. Молчадский, В.И. Присадков // Юбилейный сборник трудов ВНИИПО. - М.: ВНИИПО, 1997. - С.157-175.

266. *Acceptable Solution for New Zealand Building Code Fire Safety Clauses: Analysis of Existing Performance Metrics / BRANZ Study Report SR 166. BRANZ, Judgeford, New Zealand. – 2007.*

267. Кошмаров, Ю.А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении: учебное пособие / Ю.А. Кошмаров – М: Академия ГПС МВД России, 2000. – 118 с.

**Приложение А**  
(обязательное)

**АКТЫ ВНЕДРЕНИЯ**



### АКТ

**внедрения результатов диссертационной работы  
 Гордиенко Дениса Михайловича  
 на тему: «Пожарная безопасность особо опасных и технически сложных  
 производственных объектов нефтегазового комплекса»  
 в разработку проектных решений и мероприятий по обеспечению  
 пожарной безопасности на объекте «Новый комплекс по производству  
 олефинов ОАО «Нижнекамскнефтехим»**

Комиссия в составе: председателя комиссии заместителя технического директора кандидата технических наук Мищенко И.Г., членов комиссии: заведующего отделом организации инжиниринговых услуг кандидата технических наук, доцента Кичигина А.Г. и заведующего сектором анализа риска опасных производственных объектов отдела организации инжиниринговых услуг кандидата технических наук, доцента Руди С.Н. подтверждает, что при разработке проектных решений и мероприятий по обеспечению пожарной безопасности на объекте «Новый комплекс по производству олефинов ОАО «Нижнекамскнефтехим» использованы результаты диссертационного исследования Гордиенко Д.М., а именно, в части учета возможности реализации различных сценариев пожара, в том числе и с участием веществ, при горении которых выделяются токсичные продукты, отличные от рассматриваемых в существующей «Методике определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах».

Председатель комиссии

\_\_\_\_\_ Мищенко И.Г.

Члены комиссии

\_\_\_\_\_ Кичигин А.Г.

\_\_\_\_\_ Руди С.Н.

УТВЕРЖДАЮ  
 Генеральный директор  
 ООО «Нефтехимпроект»  
 В.В. Лаврушко  
 «07» августа 2017 г.



**АКТ**  
**внедрения результатов диссертационной работы**  
**Гордиенко Дениса Михайловича**  
**на тему: «Пожарная безопасность особо опасных и технически сложных**  
**производственных объектов нефтегазового комплекса»**  
**в разработку проектных решений и мероприятий по обеспечению**  
**пожарной безопасности на объекте «Комплекс гидрокрекинга**  
**ООО «Афипский НПЗ»**

Комиссия в составе: председателя комиссии начальника отдела инжиниринговых услуг кандидата химических наук Горбачева Андрея Евгеньевича, членов комиссии: начальника отдела проектирования технологических систем Дорофеевой Марины Николаевны и начальника отдела авторского надзора и строительного контроля Гончарова Владимира Федоровича подтверждает, что при разработке проектных решений и мероприятий по обеспечению пожарной безопасности объекта «Комплекс гидрокрекинга ООО «Афипский НПЗ» использованы результаты диссертационного исследования Гордиенко Дениса Михайловича в части учета возможности реализации различных сценариев пожара, в том числе и с участием веществ, в процессе горения которых выделяются токсичные продукты, отличные от рассматриваемых в существующей «Методике определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах».

Председатель комиссии

\_\_\_\_\_  Горбачев А.Е.

Члены комиссии

\_\_\_\_\_  Дорофеева М.Н.

\_\_\_\_\_  Гончаров В.Ф.

«УТВЕРЖДАЮ»  
 Начальник управления  
 НК «Сахалин Энерджи Инвестмент  
 Компани Лтд.»  
 Трусков П.А.

« 21 » \_\_\_\_\_ 2017г.



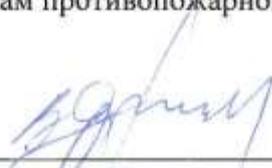
**АКТ**  
**внедрения результатов диссертационной работы**  
**Гордиенко Дениса Михайловича**  
**на тему: «Пожарная безопасность особо опасных и технически сложных**  
**производственных объектов нефтегазового комплекса»**  
**в проектную документацию морских нефтегазодобывающих платформ**  
**«Лунская-А», «Пильтун-Астохская-Б» проекта «Сахалин-2»**

Комиссия в составе: Начальник отдела разработки проектной документации Скурихин В.А. (председатель), зам. начальника отдела Соломатин С.В., ведущий специалист Дмитриева О.С. подтверждает, что при разработке проектных решений в части обеспечения пожарной безопасности объектов проекта «Сахалин-2» использовались результаты диссертационной работы

Гордиенко Д.М., а именно:

- результаты анализа специфических особенностей пожарной опасности морских стационарных нефтегазодобывающих платформ;
- результаты оценки расчетных величин пожарного риска для производственных объектов;
- требования к системам противопожарной защиты объектов.

Председатель комиссии

  
 \_\_\_\_\_ /Скурихин В.А./

Члены комиссии

  
 \_\_\_\_\_ /Соломатин С.В./

  
 \_\_\_\_\_ /Дмитриева О.С./

Утверждаю  
 Заместитель генерального  
 директора ОАО «Ямал СПГ»  
 \_\_\_\_\_  
 «Ямал СПГ» М. Каюмов  
 « 25 » августа 2017 г.

**АКТ**  
**внедрения результатов диссертационной работы**  
**Гордиенко Дениса Михайловича**  
**на тему: «Пожарная безопасность особо опасных и технически**  
**сложных производственных объектов нефтегазового комплекса»**  
**в проектную документацию объектов комплекса по добыче,**  
**подготовке, сжижению газа, отгрузке сжиженного природного газа**  
**и газового конденсата Южно-Тамбейского газоконденсатного**  
**месторождения (проект Ямал СПГ)**

Комиссия в составе: начальника отдела ПБ, ГО и ЧС Федоров А.И., главного специалиста отдела ПБ, ГО и ЧС Клементьева Б.А., главного специалиста отдела ПБ, ГО и ЧС Абакумова М.С. подтверждает, что при разработке проектных решений в части обеспечения пожарной безопасности объектов комплекса по добыче, подготовке, сжижению газа, отгрузке сжиженного природного газа и газового конденсата Южно-Тамбейского газоконденсатного месторождения (проект Ямал СПГ) использовались результаты диссертационной работы Гордиенко Д.М., а именно требования к мероприятиям по обеспечению пожарной безопасности.

Председатель комиссии \_\_\_\_\_

Федоров А.И.

Члены комиссии \_\_\_\_\_

Абакумов М.С.

Клементьев Б.А.

**«Утверждаю»**

Директор Департамента надзорной  
деятельности и профилактической работы  
МЧС России – главный государственный  
инспектор Российской Федерации по  
пожарному надзору

  
\_\_\_\_\_ Р.Ш. Еникеев  
«25» августа 2017 г.

**АКТ**

**внедрения результатов диссертационной работы Д.М. Гордиенко  
на тему: «Пожарная безопасность особо опасных и технически сложных  
производственных объектов нефтегазового комплекса»**

Комиссия в составе: заместителя начальника отдела нормативно-технического и перспективного развития пожарной безопасности Департамента надзорной деятельности и профилактической работы МЧС России (далее – отдел ДНПР МЧС России) С.Р. Шалкеева (председатель), старшего инспектора отдела ДНПР МЧС России А.А. Панова, старшего инспектора отдела ДНПР МЧС России В.Е. Фадеев подтверждает, что результаты диссертационной работы Д.М. Гордиенко на тему: «Пожарная безопасность особо опасных и технически сложных производственных объектов нефтегазового комплекса» использованы при разработке:

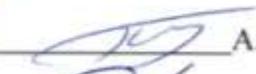
- «Методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах»;
- СП 4.13130.2013 «Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям»;
- СП 155.13130.2014 «Склады нефти и нефтепродуктов. Требования пожарной безопасности»;
- СП 156.13130.2014 «Станции автомобильные заправочные. Требования пожарной безопасности»;
- СП 240.1311500.2015 «Хранилища сжиженного природного газа. Требования пожарной безопасности»;
- ГОСТ Р 12.3.047-2012 «Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля», а также проектов сводов правил по пожарной безопасности «Морские стационарные платформы для добычи нефти и газа на континентальном шельфе. Требования пожарной безопасности», «Склады сжиженных углеводородных газов. Требования пожарной безопасности».

Председатель комиссии \_\_\_\_\_

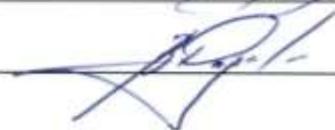


С.Р. Шалкеев

Члены комиссии \_\_\_\_\_

  
\_\_\_\_\_ А.А. Панов

В.Е. Фадеев



**УТВЕРЖДАЮ**

Заместитель Генерального директора  
по науке

ООО «Газпром ВНИИГАЗ»



А.З. Шайхутдинов

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

секции «Промышленная и экологическая безопасность. Охрана труда. Управление рисками» Ученого совета ООО «Газпром ВНИИГАЗ»

по вопросу использования результатов диссертационной работы

Гордиенко Дениса Михайловича

на тему: «Пожарная безопасность особо опасных и технически сложных производственных объектов нефтегазового комплекса» в работах ООО «Газпром ВНИИГАЗ»

пос. Развилка

11 августа 2017 г.

В соответствии с договором № 4321211768/304/1/Н-3.5 от 01.03.2012 между ООО «Газпром ВНИИГАЗ» и ФГБУ ВНИИПО МЧС России был подготовлен отчет «Обоснование требований к системам противопожарной защиты для нормативного документа «Специальные технические условия (СТУ) на проектирование и строительство объекта «Расширение ЕСГ для обеспечения подачи газа в газопровод «Южный поток». Изменение № 1».

Автором отчета являлся к.т.н. Гордиенко Д.М.

Материалы данного отчета были использованы ООО «Газпром ВНИИГАЗ» при разработке «Специальных технических условий на проектирование и строительство в части обеспечения пожарной безопасности объекта «Расширение ЕСГ для обеспечения подачи газа в газопровод «Южный поток» (СТУ).

Разработанные СТУ были рассмотрены Министерством регионального развития Российской Федерации в установленном порядке и согласованы письмом № 4568-ВТ/11 от 05.03.2012.

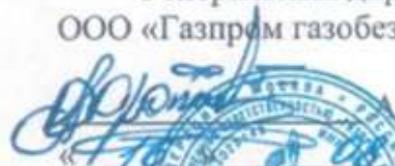
Заместитель председателя секции

В.С. Сафонов

Ученый секретарь секции

И.Е. Калинина

«УТВЕРЖДАЮ»  
 Генеральный директор  
 ООО «Газпром газобезопасность»

  
 А.А. Сорокин  
 2017г.



### АКТ

**внедрения результатов диссертационной работы  
 Гордиенко Дениса Михайловича  
 на тему: «Пожарная безопасность особо опасных и технически сложных  
 производственных объектов нефтегазового комплекса»  
 в комплекс мероприятий по обеспечению пожарной безопасности  
 морской ледостойкой стационарной платформы МЛСП «Приразломная»**

Комиссия в составе: начальник отдела экспертизы проектов Маслов А.Я. (председатель), заместитель начальника отдела Крутиков В.Н. подтверждает, что при разработке комплекса мероприятий по обеспечению пожарной безопасности морской ледостойкой стационарной платформы МЛСП «Приразломная» использованы результаты диссертационной работы Гордиенко Д.М., а именно:

– результаты оценки эффективности системы газовой флегматизации пожаровзрывоопасных помещений морской ледостойкой стационарной платформы;

– новый подход к использованию автоматических установок газового пожаротушения с целью обеспечения пожаровзрывобезопасности закрытых технологических помещений морской ледостойкой стационарной платформы.

Председатель комиссии

  
 Маслов А.Я.

Члены комиссии

  
 Крутиков В.Н.