

МЧС РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Уральский институт Государственной противопожарной службы
Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны,
чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий»

Кафедра пожарной безопасности технологических процессов и производств
(в составе учебно-научного комплекса объектов и населенных пунктов)

ОЦЕНКА СООТВЕТСТВИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ ТРЕБОВАНИЯМ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Методические указания
по выполнению курсового проекта

специальность
20.05.01 Пожарная безопасность
(уровень – специалитет)

Оценка соответствия производственных объектов требованиям пожарной безопасности [Текст] : методические указания по выполнению курсового проекта 20.05.01 Пожарная безопасность (уровень – специалитет) / сост. Р.С. Сатюков, Т.В. Штеба, П.И. Зыков. – Екатеринбург: Уральский институт ГПС МЧС России. – 31 с.

Авторы составители:

Сатюков Р. С., начальник учебно-научного комплекса объектов и населенных пунктов (далее – УНК ОПБОиНП), к.т.н., доцент.

Штеба Т.В., доцент кафедры пожарной безопасности технологических процессов и производств (в составе УНК ОПБОиНП), к.т.н., доцент.

Зыков П.И., заместитель начальника кафедры пожарной безопасности технологических процессов и производств (в составе УНК ОПБОиНП), к.т.н., доцент

Методические указания для выполнения курсового проекта по дисциплине «Оценка соответствия производственных объектов требованиям пожарной безопасности» предназначена для обучающихся в ФГБОУ ВО «Уральский институт ГПС МЧС России» по специальности 20.05.01 Пожарная безопасность (уровень – специалитет)

ВВЕДЕНИЕ

В методических указаниях изложены требования по выполнению курсового проекта, целью которого является закрепление знаний по дисциплине «Оценка соответствия производственных объектов требованиям пожарной безопасности».

Целью изучения дисциплины «Оценка соответствия производственных объектов требованиям пожарной безопасности» является развитие профессиональной компетентности обучающихся в УрИ ГПС МЧС России при решении вопросов в области обеспечения безопасности технологических процессов на основе определения расчетных величин пожарного риска.

Для достижения поставленных целей предусматривается решение следующих основных задач:

– изучение методики и порядка определения расчетных величин пожарного риска на производственном объекте;

– выработка навыков проведения автоматизированных расчетов по определению параметров развития пожаровзрывоопасных аварийных ситуаций на производственном объекте;

– формирование практических навыков и умений по моделированию ситуаций, направленных на снижение пожарной опасности технологических процессов.

Курсовой проект является важным этапом в освоении дисциплины. При её выполнении слушатель имеет возможность применить полученные теоретические знания к решению конкретной практической задачи, связанной с определением индивидуального пожарного риска для работника производственного объекта (далее – объект защиты) при хранении ЛВЖ в РГС.

В соответствии со статьей 6 Федерального закона № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [1] пожарная безопасность объекта защиты считается обеспеченной при выполнении одного из следующих условий:

- в полном объеме выполнены требования пожарной безопасности, установленные техническими регламентами, принятыми в соответствии с Федеральным законом № 184-ФЗ «О техническом регулировании», и пожарный риск не превышает допустимых значений, установленных;

- в полном объеме выполнены требования пожарной безопасности, установленные техническими регламентами, принятыми в соответствии с Федеральным законом № 184-ФЗ «О техническом регулировании», и нормативными документами по пожарной безопасности.

Статья 93 [1] устанавливает нормативные значения пожарного риска для производственных объектов. Так, величина индивидуального пожарного риска в зданиях, сооружениях и на территориях производственных объектов не должна превышать одну миллионную в год.

Для производственных объектов, на которых 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. При этом должны быть предусмотрены меры по обучению персонала действиям при пожаре и по социальной защите работников, компенсирующие их работу в условиях повышенного риска.

Необходимо отметить, что статья 93 [1] регламентирует также нормативные величины индивидуального и социального пожарных рисков в результате воздействия ОФП на производственном объекте для людей, находящихся в жилой зоне, общественно-деловой зоне или зоне рекреационного назначения вблизи объекта. Однако для выполнения курсовой работы использование указанных величин не потребуется.

В соответствии с установленной статьей 94 [1] последовательностью оценки пожарного риска на производственном объекте в ходе выполнения курсовой работы слушатель должен решить следующие задачи:

– произвести анализ пожарной опасности процесса хранения ЛВЖ в РГС;

– определить частоты реализации сценариев пожароопасных ситуаций для РГС с ЛВЖ;

– рассчитать значения ОФП для различных сценариев его развития;

– оценить последствия воздействия ОФП на работника объектазащиты;

– вычислить значение индивидуального пожарного риска для работника объекта защиты;

– произвести сравнение расчетной величины индивидуального пожарного риска с нормативными значениями и сделать вывод о соответствии объекта защиты требуемому уровню пожарной безопасности.

Анализ пожарной опасности объекта защиты предусматривает:

– анализ пожарной опасности технологической среды и параметров технологических процессов на объекте;

– определение перечня пожароопасных аварийных ситуаций и параметров для каждого технологического процесса;

– определение перечня причин, возникновение которых позволяет характеризовать ситуацию как пожароопасную, для каждого технологического

процесса;

– построение сценариев возникновения и развития пожаров, повлекших за собой гибель людей.

В статье 96 [1] представлены общие указания для оценки пожарного риска на производственных объектах.

Для определения частоты реализации пожароопасных ситуаций на объекте используется информация:

– об отказе оборудования, используемого на объекте;

– о параметрах надежности используемого на объекте оборудования;

– об ошибочных действиях персонала объекта;

– о гидрометеорологической обстановке и географических особенностях местности в районе размещения объекта защиты.

Оценка ОФП, взрыва для различных сценариев их развития осуществляется на основе сопоставления информации о моделировании динамики ОФП на территории объекта защиты и прилегающей к нему территории и информации о критических для жизни и здоровья людей значениях опасных факторов, анализируемых пожара, взрыва.

Оценка последствий воздействия ОФП, взрыва на людей для различных сценариев развития пожароопасных ситуаций предусматривает определение условной вероятности поражения людей ОФП, взрыва.

Риск гибели людей в результате воздействия ОФП должен определяться с учетом функционирования систем обеспечения пожарной безопасности, имеющихся на объекте защиты.

Для успешного выполнения курсового проекта необходимо также использовать «Методику определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах» [2] и «Пособие по определению расчетных величин пожарного риска для производственных объектов» [3], разработанные в развитие положений Федерального закона № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [1]. Допускается (вариативная часть), для оформления отчета по курсовой работе, а именно графической части, использовать ресурсы программных продуктов, предназначенных для определения расчетных величин пожарного риска и построения полей опасных факторов пожара (взрыва) на производственном объекте.

ПОРЯДОК ВЫПОЛЕНЕНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Курсовой проект выполняется каждым обучающимся самостоятельно в строгом соответствии со своим вариантом, соответствующим двум последним цифрам номера зачетной книжки.

Курсовой проект должна состоять из расчетно-пояснительной записки, а также графической части «Карта пожарной опасности» (поля опасных факторов пожара, поля потенциального пожарного риска) при использовании программных продуктов по оценки расчетных величин пожарного риска.

Пояснительная записка должна содержать:

Введение;

Исходные данные;

Описание инициирующих пожароопасные ситуации событий и сценариев возникновения и развития пожаров, влекущих за собой гибель людей;

Перечень пожароопасных ситуаций и сценариев их развития;

Количественную оценку массы горючих веществ, поступающих в окружающее пространство в результате возникновения пожароопасных ситуаций;

Результаты расчета полей опасных факторов пожара;

Оценку последствий воздействия опасных факторов пожара на людей;

Вычисление расчетных величин пожарного риска;

Вывод;

Перечень используемой литературы.

Исходные данные для выполнения работы представлены в приложении 1.

Перечень рассматриваемых сценариев представлен в приложении 2.

Образец оформления расчетно-пояснительной записки приведен в приложении 3.

Пример оформления графической части, представлен в приложении 4.

Приложение 1.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Таблица 1.1

Физико-химические и пожаровзрывоопасные свойства ЛВЖ

Исходный параметр	**Последняя цифра номера зачетной книжки**				
	0 или 5	1 или 6	2 или 7	3 или 8	4 или 9
Наименование ЛВЖ	Гексан	Метиловый спирт	Метил-ацетат	Бензол	Метилпро-пилкетон
Химическая формула	C_6H_{14}	CH_4O	$C_3H_6O_2$	C_6H_6	$C_5H_{10}O$
M	86,177	32,04	74,08	78,11	86,13
$t_{кип}$	68,74	64,9	57	80,1	103,3
$\rho_ж$	654,81	786,9	933	873,68	808,9
A	5,99517	7,3527	6,19017	5,61391	6,98913
B	1166,274	1660,454	1157,63	902,275	1870,4
C_A	223,661	245,818	219,726	178,099	273,2
$t_{всп}$	–23	6	–15	–11	6
$C_{НКПР}$	1,24	6,98	3,15	1,43	1,55
$E_{уд}$	45105	23839	19873	40576	33879
m'	$10{,}3\cdot10^{-2}$	$2{,}59\cdot10^{-2}$	$7{,}15\cdot10^{-2}$	$11{,}2\cdot10^{-2}$	$6{,}65\cdot10^{-2}$

Таблица 1.2

Геометрические характеристики РГС

Исходный параметр	**Предпоследняя цифра номера зачетной книжки**				
	0 или 5	**1 или 6**	**2 или 7**	**3 или 8**	**4 или 9**
Тип РГС	РГС-10	РГС-25	РГС-50	РГС-75	РГС-100
Объем $V_н$	10	25	50	75	100
Длина $L_р$	2,8	4,3	9,0	9,0	12,0
Диаметр $D_р$	2,2	2,8	2,8	3,2	3,2
Уровень жидкости $h_ж$	2,0	2,6	2,6	3,0	3,0

Таблица 1.3

Характеристики железобетонного ограждения РГС и вид покрытия площадки внутри ограждения

Исходный параметр	**Последняя цифра номера зачетной книжки**				
	0 или 5	**1 или 6**	**2 или 7**	**3 или 8**	**4 или 9**
Вид покрытия площадки	Асфальт	Бетонное	Грунтовое (не спланированное)	Грунтовое (спланированное)	Грунтовое (не спланированное)
Длина $L_{огр}$	6	9	12	12	14
Ширина $B_{огр}$	5	6	7	8	10
Высота $H_{огр}$	0,5	0,7	0,8	1,0	1,0

Таблица 1.4

Климатические условия места расположения объекта защиты

Предпоследняя цифра номера зачетной книжки	**Город**	**Температура максимальная*** t_{max}, °C	**Вероятность штиля*** $Q_{шт}$	**Скорость ветра*** w_0, м/с
0	Архангельск	34	0,03	4,8
1	Астрахань	41	0,04	4,2
2	Брянск	38	0,16	4,5
3	Волгоград	43	0,05	6,7
4	Калининград	37	0,10	5,4
5	Сочи	39	0,12	3,9
6	Мурманск	33	0,08	5,4
7	Оренбург	42	0,07	4,3
8	Тюмень	38	0,14	3,4
9	Челябинск	40	0,02	4,5
Примечание * – при использовании программы PromRisk осуществляется автоматическая подстановка указанных параметров при выборе города (региона)				

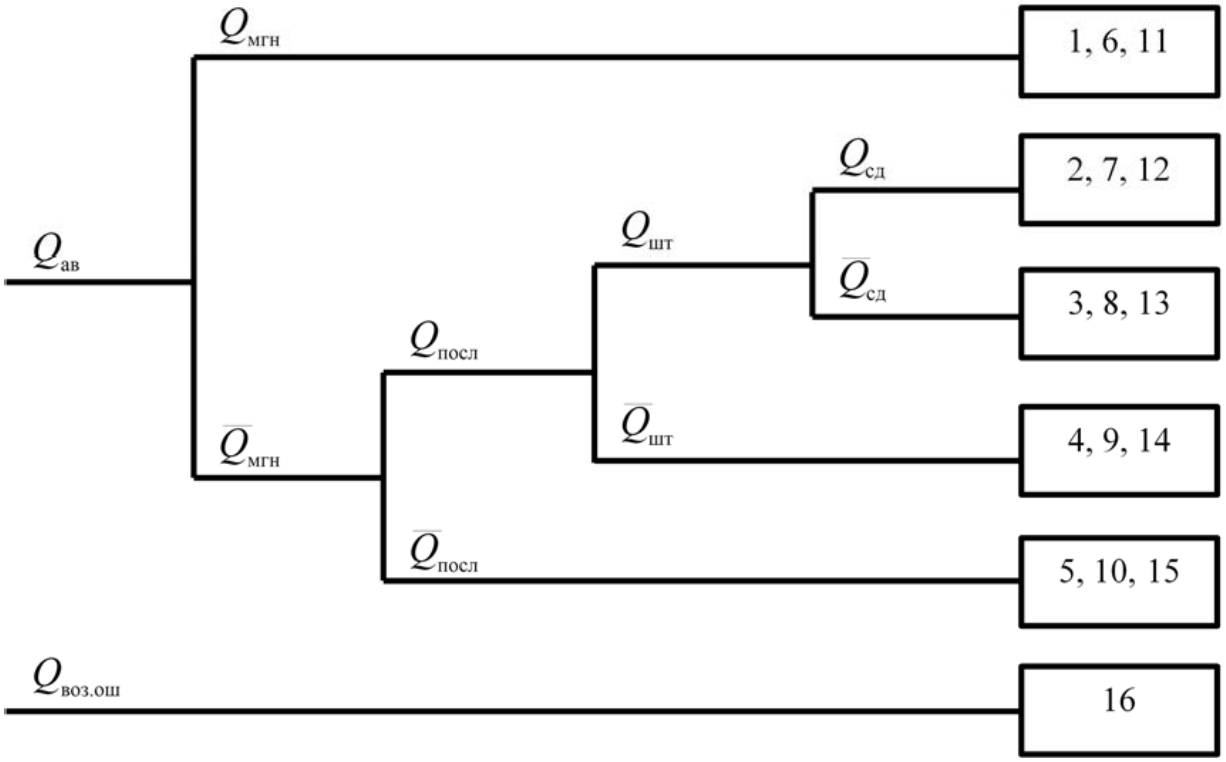
Таблица 1.5

Сведения о работнике объекта защиты

Последняя цифра номера зачетной книжки	**Число рабочих дней в неделю**	**Продолжительность рабочей смены в день, ч**	r, м **Расстояние до резервуара**
0 или 5	4	8	14
1 или 6	5	5	16
2 или 7	4	6	19
3 или 8	5	8	25
4 или 9	4	7	30

Примечание: рабочее место работника объекта защиты расположено вне здания (на открытом пространстве)

Приложение 2.
Перечень рассматриваемых сценариев



Логические деревья событий при разгерметизации РГС с ЛВЖ

$Q_{ав}$ – частота разгерметизации РГС с последующим истечением ЛВЖ в пределах ограждения;

$Q_{мгн}$ – условная вероятность мгновенного воспламенения ЛВЖ;

$Q_{посл}$ – условная вероятность последующего воспламенения ЛВЖ при отсутствии мгновенного воспламенения;

$Q_{сд}$ – условная вероятность сгорания с образованием избыточного давления при образовании горючего паровоздушного облака и его последующим воспламенении;

$Q_{воз.ош}$ – частота внешнего воздействия, приводящего к реализации огненного шара.

Сценарии 1, 6, 11 – локальная (полная) разгерметизация РГС; мгновенное воспламенение ЛВЖ, выходящего из образовавшегося отверстия; пожар пролива в пределах огражденной площадки.

Сценарии 2, 7, 12 – локальная (полная) разгерметизация РГС; мгновенного воспламенения ЛВЖ, выходящего из образовавшегося отверстия, не произошло; пролив ЛВЖ в пределах огражденной площадки; образование взрывоопасной зоны и ее сгорание с образованием волны избыточного давления, пожар пролива в пределах площадки.

Сценарии 3, 8, 13 – локальная (полная) разгерметизация РГС; мгновенного воспламенения ЛВЖ, выходящего из образовавшегося отверстия, не произошло; пролив ЛВЖ в пределах огражденной площадки; образование взрывоопасной зоны и ее сгорание с образованием пожара-вспышки, пожар пролива в пределах площадки.

Сценарии 4, 9, 14 – локальная (полная) разгерметизация РГС; мгновенного воспламенения ЛВЖ, выходящего из образовавшегося отверстия, не произошло; пролив ЛВЖ в пределах огражденной площадки; образование взрывоопасной зоны не произошло; пожар пролива в пределах площадки.

Сценарии 5, 10, 15 – локальная (полная) разгерметизация РГС; мгновенного воспламенения ЛВЖ, выходящего из образовавшегося отверстия, не произошло; пролив ЛВЖ в пределах огражденной площадки; последующего воспламенения ЛВЖ не произошло.

Сценарий 16 – воздействие внешних ОФП; образование огненного шара.

Приложение 3.
Пример оформления работы

СОДЕРЖАНИЕ

1. Введение
2. Исходные данные
2.1. Определение инициирующих пожароопасные ситуации событий и построение сценариев возникновения и развития пожаров, влекущих за собой гибель людей
3. Определение перечня пожароопасных ситуаций и сценариев их развития

4. Количественная оценка массы горючих веществ, поступающих в окружающее пространство в результате возникновения пожароопасных ситуаций
5. Построение полей опасных факторов пожара
5.1. Расчет теплового потока для пожара пролива при ветре_____м/с
5.2. Взрыв ТВС
5.3. Пожар-вспышка
6. Оценка последствий воздействия опасных факторов пожара на людей
6.1. Пожар пролива
6.2. Взрыв ТВС
6.3. Пожар-вспышка
7. Вычисление расчетных величин пожарного риска
7.1. Потенциальный риск от оборудования объекта
7.2. Вероятность нахождения людей на территории объекта
7.3. Индивидуальный пожарный риск на территории объекта
8. Вывод
9. Литература

1. ВВЕДЕНИЕ

Согласно статье 6 федерального закона №123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности», пожарную безопасность объекта защиты можно считать обеспеченной, если в полном объеме выполнены требования пожарной безопасности, установленные техническими регламентами, принятыми в соответствии с Федеральным законом «О техническом регулировании», и пожарный риск не превышает допустимых значений.

Таким образом, для проверки обеспечения пожарной безопасности необходимо провести расчет и оценку пожарного риска. Если величина пожарного риска не превысит нормативное значение, то пожарная безопасность объекта считается обеспеченной. Если риск окажется сверхнормативным, необходимо будет разрабатывать дополнительные противопожарные мероприятия по снижению его величины.

Цель работы – определение величин пожарного риска для объекта защиты, сравнение их с нормативными значениями и, при необходимости, разработка дополнительных противопожарных мероприятий.

Для достижения поставленной цели решены следующие **задачи**:

1) проведен анализ пожарной опасности объекта, выявлены наиболее неблагоприятные сценарии возникновения и развития пожароопасных ситуаций;

2) выбраны методы прогноза неблагоприятных последствий при авариях;

3) проведен прогноз неблагоприятных последствий и оценка опасности для людей;

4) рассчитаны значения пожарного риска.

Методы исследования. Расчет величины пожарного риска проводился в соответствии с порядком, определенным постановлением Правительства РФ «О порядке проведения расчетов по оценке пожарного риска» [2], по алгоритмам, изложенным в методике [3].

2. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Физико-химические и пожаровзрывоопасные свойства ЛВЖ

Наименование ЛВЖ	Бензин АИ-93
M	78,11
$t_{кип}$	80,1
$\rho_{ж}$	873,68
A	5,61391
B	902,275
C_A	178,099
$t_{всп}$	–11
$C_{НКПР}$	1,43
$E_{уд}$	40576
m'	$11{,}2 \cdot 10^{-2}$

Геометрические характеристики РГС

Тип РГС	РГС-50
$V_{Н}$	50
Lр	9,0
Dр	2,8
hж	2,6

Характеристики железобетонного ограждения РГС и вид покрытия площадки внутри ограждения

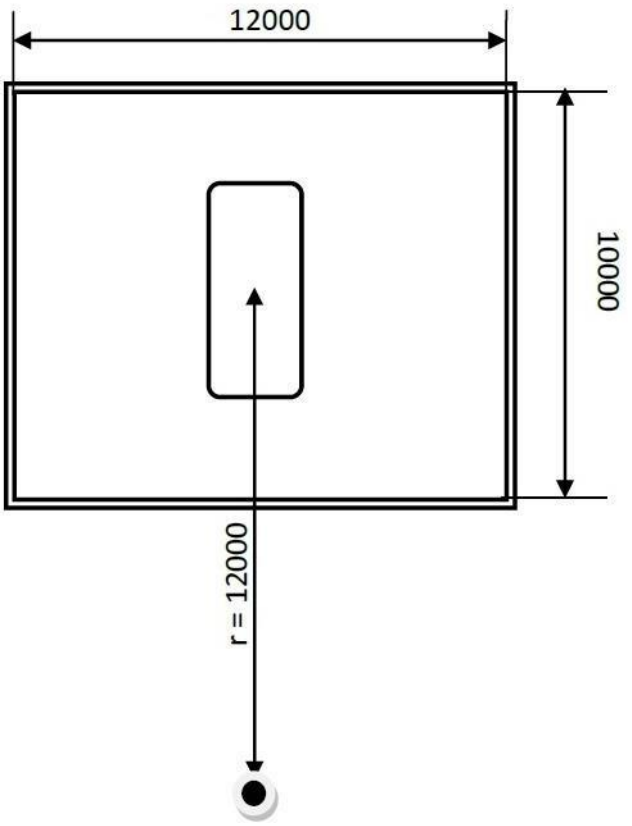
Вид покрытия площадки	бетонное
Lогр	12
Bогр	10
Hогр	0,8

Климатические условия места расположения объекта защиты

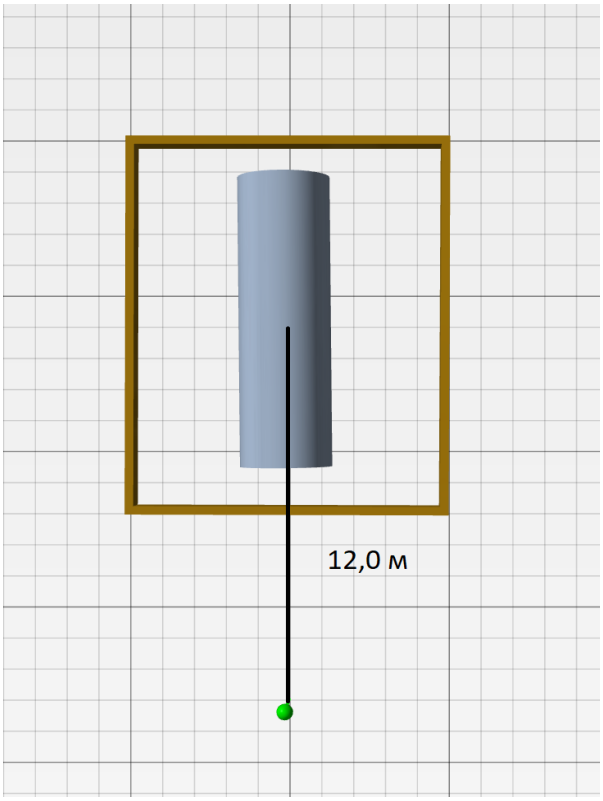
Город	***t*max**	***Q*шт**	***w*0**
Архангельск	34	0,03	4,8

Сведения о работнике объекта защиты

Число рабочих дней в неделю	**Продолжительность рабочей смены в день, ч**	***r***
4	5	12



или



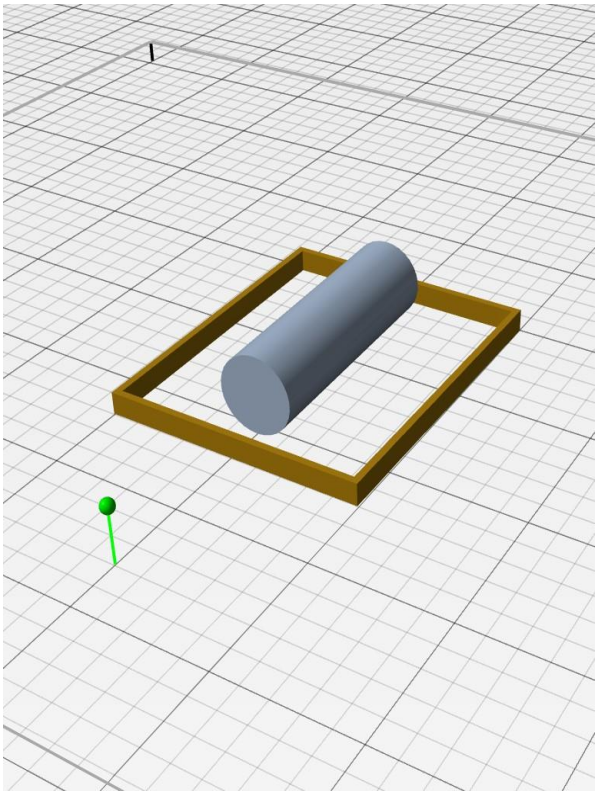


Рисунок 1. Схема размещения резервуара типа РГС

2.1. Определение инициирующих пожароопасные ситуации событий и построение сценариев возникновения и развития пожаров, влекущих за собой гибель людей

Для построения множества сценариев возникновения и развития пожароопасных ситуаций на рассматриваемом объекте был использован метод логических деревьев событий. Построение логических деревьев событий, лежащих в основе оценки пожарного риска для рассматриваемого объекта, осуществлялось исходя из следующих предпосылок.

1. В качестве инициирующих пожароопасные ситуации и пожары на объекте рассматриваются следующие события:

- разгерметизация резервуаров с образованием пролива в обваловании,
- полное разрушение резервуаров с образованием пролива в обваловании и переливом части жидкости за пределы обвалования,

2. Принимается, что случаи разгерметизации резервуара, характеризующиеся его полным разрушением, относятся к квазимгновенному разрушению резервуара (распад резервуара на приблизительно равные по размеру части в течение секунд или долей секунд). Для этих случаев принимается, что происходит перелив части хранимого в резервуаре продукта через обвалование.

3. Реализация инициирующих пожароопасные ситуации событий, связанных с разгерметизацией резервуаров и трубопроводов, приводит к образованию пролива в пределах обвалования, а в случае полного разрушения резервуара также и к проливу вне обвалования.

4. При мгновенном воспламенении вышедшего горючего продукта возникает пожар пролива.

5. При отсутствии мгновенного воспламенения вышедшего горючего продукта происходит испарение жидкости с поверхности пролива с возможностью образования взрывоопасного паровоздушного облака. Принимается, что испарение ЛВЖ с поверхности пролива приводит к образованию взрывоопасного паровоздушного облака только в случае безветрия (штиля).

6. Последующее воспламенение, если отсутствует мгновенное воспламенение, приводит к взрыву образовавшегося паровоздушного облака или его сгоранию в режиме пожара-вспышки. Последующее воспламенение при условии отсутствия мгновенного воспламенения и наличии ветра приводит к пожару пролива.

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРЕЧНЯ ПОЖАРООПАСНЫХ СИТУАЦИЙ И СЦЕНАРИЕВ ИХ РАЗВИТИЯ

Частота реализации инициирующих пожароопасные ситуации событий на оборудовании, частоты утечек из технологических трубопроводов – принимались в соответствии с приложением 1 методики [3] и приложением 2 [4].

Пожар пролива

Вариант 1.

Условная вероятность возникновения: P=0,035.

Частота возникновения: $Q=Q_{ав.с.}\cdot P=5\cdot10^{-4}\cdot0,035=1,75\cdot10^{-5}$ год$^{-1}$.

Вариант 2.

Условная вероятность возникновения:

$$P=(1-0,035)\cdot0,036\cdot(1-0,03)=0,0336978.$$

Частота возникновения: $Q=Q_{ав.с.}\cdot P=5\cdot10^{-4}\cdot0,0336978=1,685\cdot10^{-5}$ год$^{-1}$.

Взрыв ТВС

Условная вероятность возникновения:

$$P = (1 - 0,035) \cdot 0,036 \cdot 0,03 \cdot 0,24 = 0,00025013.$$

Частота возникновения:

$$Q = Q_{ав.с.} \cdot P = 5 \cdot 10^{-4} \cdot 0,00025013 = 1,251 \cdot 10^{-7}\ год^{-1}.$$

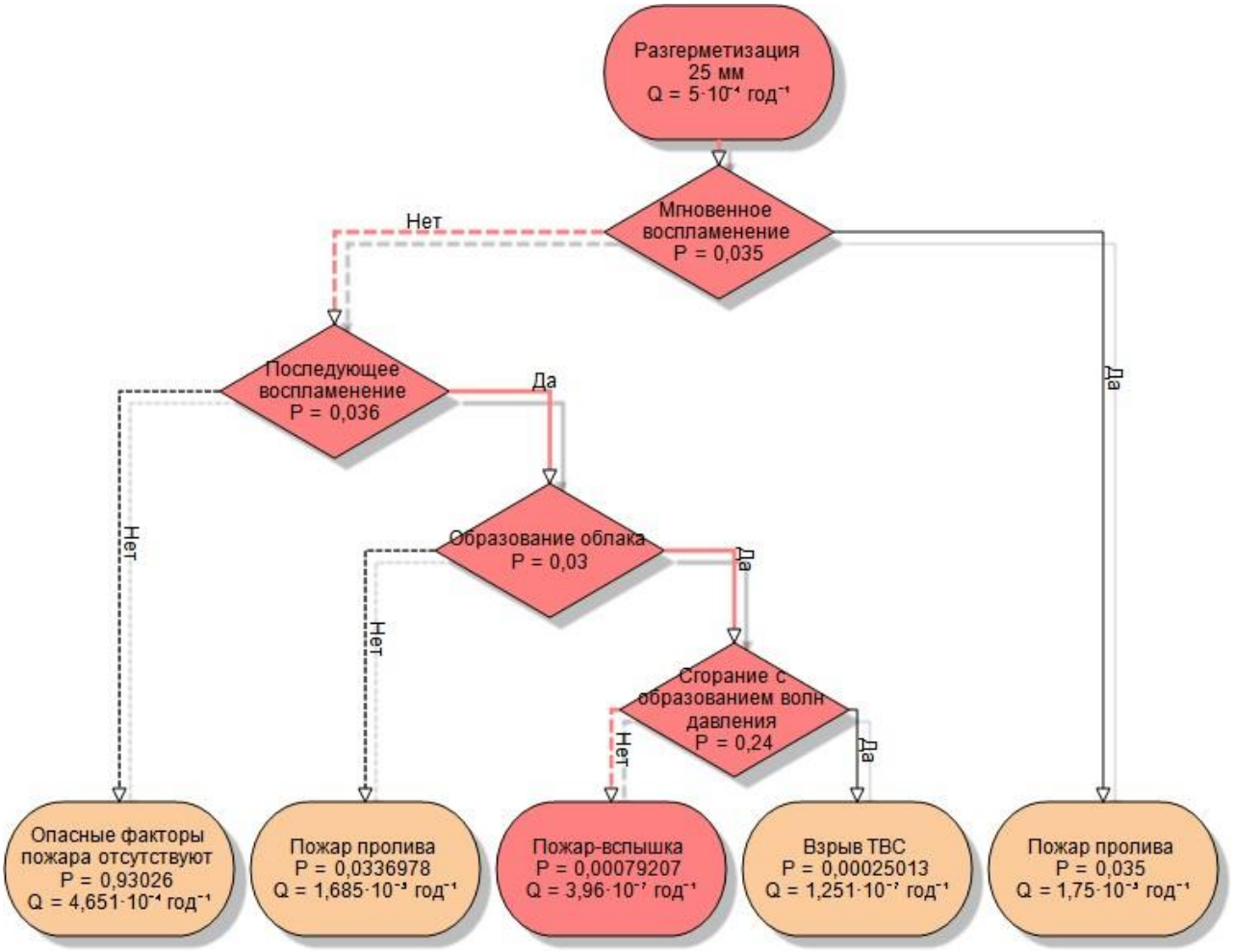
Пожар-вспышка

Условная вероятность возникновения:

$$P = (1 - 0,035) \cdot 0,036 \cdot 0,03 \cdot (1 - 0,24) = 0,00079207.$$

Частота возникновения:

$$Q = Q_{ав.с.} \cdot P = 5 \cdot 10^{-4} \cdot 0,00079207 = 3,96 \cdot 10^{-7}\ год^{-1}.$$



Дерево событий развития пожаровзрывоопасных ситуаций

Перечень пожароопасных ситуаций и сценариев их развития

Наименование пожароопасной ситуации	**Сценарий развития пожароопасной ситуации**	**Частота возникновения, год$^{-1}$**
Разгерметизация 25 мм	Пожар пролива	$1{,}75 \cdot 10^{-5}$
Разгерметизация 25 мм	Взрыв ТВС	$1{,}251 \cdot 10^{-7}$
Разгерметизация 25 мм	Пожар-вспышка	$3{,}96 \cdot 10^{-7}$
Разгерметизация 25 мм	Пожар пролива	$1{,}685 \cdot 10^{-5}$
Разрушение	Пожар пролива	$1{,}6 \cdot 10^{-6}$
Разрушение	Взрыв ТВС	$2{,}765 \cdot 10^{-8}$
Разрушение	Пожар-вспышка	$1{,}843 \cdot 10^{-8}$
Разрушение	Пожар пролива	$1{,}49 \cdot 10^{-6}$

4. КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА МАССЫ ГОРЮЧИХ ВЕЩЕСТВ, ПОСТУПАЮЩИХ В ОКРУЖАЮЩЕЕ ПРОСТРАНСТВО В РЕЗУЛЬТАТЕ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПОЖАРООПАСНЫХ СИТУАЦИЙ

4.1. Разгерметизация 25 мм

Частота возникновения: $5 \cdot 10^{-4}$ год$^{-1}$.

Объемный расход истечения жидкости:

$$Q_ж = \mu \cdot \pi d^2/4 \cdot \sqrt{2gH_ж} = 0{,}7 \cdot \pi \cdot 25^2 \cdot 10^{-6}/4 \cdot \sqrt{2 \cdot 9{,}81 \cdot 2{,}8} = 0{,}0025 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Массовый расход истечения жидкости:

$$G_ж = Q_ж \cdot \rho_ж = 0{,}0025 \cdot 745 = 1{,}897 \text{ кг/с}.$$

Время испарения до появления источника зажигания: 3600 сек.

Объем вылившейся жидкости:

$$V_ж = 0{,}0025 \cdot 3600 = 0{,}0025 \cdot 3600 = 9{,}169 \text{ м}^3.$$

Максимальная площадь пролива для данного объема жидкости:

$$F_П = f_Р \cdot V_ж = 20 \cdot 9{,}169 = 183{,}4 \text{ м}^2.$$

Площадь пролива ограничивается обвалованием и составляет 120,1 м^2.

Масса вылившейся жидкости:

$$m_ж = V_ж \cdot \rho_ж = 9{,}169 \cdot 745 = 6830{,}5 \text{ кг}.$$

Давление насыщенных паров при температуре 34 °С составляет $P_Н$=36,565 кПа.

Интенсивность испарения с поверхности пролива:

$$W = 10^{-6} \cdot \eta \cdot \sqrt{M} \cdot P_Н = 10^{-6} \cdot 1 \cdot \sqrt{95{,}3} \cdot 36{,}565 = 3{,}57 \cdot 10^{-4} \text{ кг/(с} \cdot \text{м}^2).$$

Масса образовавшихся паров:

$$m_п = W \cdot F_П \cdot 3600 = 3{,}57 \cdot 10^{-4} \cdot 120{,}1 \cdot 3600 = 154{,}3 \text{ кг}.$$

4.2. Разрушение

Частота возникновения: $8 \cdot 10^{-6}$ год$^{-1}$.

Объем вылившейся жидкости принимается равным объему емкости: $V_ж$=50 м^3.

Имеется обвалование. При высоте столба жидкости 2,8 м и высоте обвалования (ограждения) 0,8 м доля жидкости, перелившейся через обвалование, составит 0,41.

Максимальная площадь пролива для данного объема жидкости:

$$F_{перелив.}=V_ж \cdot 0,41 \cdot f_Р=50\ м^3 \cdot 0,41 \cdot 20=410\ м^2.$$

Площадь пролива составляет сумму площади обвалования и площади перелива:

$$F_П=F_{обв.}+F_{перелив.}=120,1+410=530,1\ м^2.$$

Масса вылившейся жидкости:

$$m_ж=V_ж \cdot \rho_ж=50 \cdot 745=37250\ кг.$$

Время испарения до появления источника зажигания: 3600 с.

Давление насыщенных паров при температуре 34 °С составляет $Р_Н$=36,565 кПа.

Интенсивность испарения с поверхности пролива:

$$W=10^{-6} \cdot \eta \cdot \sqrt{M} \cdot P_Н=10^{-6} \cdot 1 \cdot \sqrt{95,3} \cdot 36,565=3,57 \cdot 10^{-4}\ кг/(с \cdot м^2).$$

Масса образовавшихся паров:

$$m_п=W \cdot F_П \cdot 3600=3,57 \cdot 10^{-4} \cdot 530,1 \cdot 3600=681,2\ кг.$$

5. ПОСТРОЕНИЕ ПОЛЕЙ ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ ПОЖАРА

5.1. Расчет теплового потока для пожара пролива при ветре 4,8 м/с

Ниже приведен расчет теплового потока для точки, расположенной на расстоянии 19,9 м от края пролива (края площади пожара) с подветренной стороны от очага пожара (значения теплового потока для точек, расположенных с наветренной стороны от очага пожара, принимаются равными соответствующим значениям при штиле).

Площадь пожара: $F_П$=120,1 м².

Эффективный диаметр пролива (площади пожара):

$$d=\sqrt{\frac{4}{F_П\cdot\pi}}=\sqrt{\frac{4}{120,1\cdot\pi}}=12,4 \text{ м.}$$

Параметр u_*:

$$u_*=\frac{w_0}{\sqrt[3]{\frac{m'\cdot g\cdot d}{\rho_П}}}=\frac{4,8}{\sqrt[3]{\frac{0,059\cdot 9,81\cdot 12,4}{3,403}}}=3,75.$$

При $u_*\geq 1$ принимается:

$$\cos\theta=u_*^{-0,5}=3,75^{-0,5}=0,517;$$

$$\sin\theta=\sqrt{1-\cos^2\theta}=\sqrt{1-0,517^2}=0,856.$$

Длина пламени:

$$L=55\cdot d\cdot\left(\frac{m'}{\rho_a\cdot\sqrt{g\cdot d}}\right)^{0,67}\cdot u_*^{0,21}=55\cdot 12,4\cdot\left(\frac{0,059}{1,15\cdot\sqrt{9,81\cdot 12,4}}\right)^{0,67}\cdot 3,75^{0,21}=24,6 \text{ м.}$$

Расстояние от геометрического центра пролива до облучаемого объекта:

$$X=r+0,5\cdot d=19,9+0,5\cdot 12,4=26,1 \text{ м.}$$

Расчетные величины:

$$a=\frac{2L}{d}=\frac{2\cdot 24,6}{12,4}=3,98;$$

$$b=\frac{2X}{d}=\frac{2\cdot 26,1}{12,4}=4,22;$$

$$A = \sqrt{a^2 + (b+1)^2 - 2a(b+1) \cdot \sin\theta} =$$

$$= \sqrt{3,98^2 + (4,22+1)^2 - 2 \cdot 3,98 \cdot (4,22+1) \cdot 0,856} = 2,74;$$

$$B = \sqrt{a^2 + (b-1)^2 - 2a(b-1) \cdot \sin\theta} =$$

$$= \sqrt{3,98^2 + (4,22-1)^2 - 2 \cdot 3,98 \cdot (4,22-1) \cdot 0,856} = 2,06;$$

$$C = \sqrt{1 + (b^2 - 1) \cdot \cos^2\theta} = \sqrt{1 + (4,22^2 - 1) \cdot 0,517^2} = 2,34;$$

Фактор облученности для вертикальной площадки:

$$F_V = \frac{1}{\pi} \cdot \{-E \cdot \arctan D + E \cdot [\frac{a^2+(b+1)^2-2 \cdot b \cdot (1+a \cdot \sin\theta)}{A \cdot B}] \times$$

$$\times \arctan(\frac{A \cdot D}{B}) + \frac{\cos\theta}{C} \cdot [\arctan(\frac{a \cdot b - F^2 \cdot \sin\theta}{F \cdot C}) + \arctan(\frac{F^2 \cdot \sin\theta}{F \cdot C})]\} =$$

$$= \frac{1}{\pi} \cdot \{-2,51 \cdot \arctan(0,79) + 2,51 \cdot [\frac{3,98^2+(4,22+1)^2-2 \cdot 4,22 \cdot (1+3,98 \cdot 0,856)}{2,74 \cdot 2,06}] \times$$

$$\times \arctan(\frac{2,74 \cdot 0,79}{2,06}) + \frac{0,517}{2,34} \cdot [\arctan(\frac{3,98 \cdot 4,22 - 4,1^2 \cdot 0,856}{4,1 \cdot 2,34}) + \arctan(\frac{4,1^2 \cdot 0,856}{4,1 \cdot 2,34})]\} =$$

$$= 0,226.$$

Фактор облученности для горизонтальной площадки:

$$F_H = \frac{1}{\pi} \cdot \{\arctan(\frac{1}{D}) + \frac{\sin\theta}{C} \cdot [\arctan(\frac{a \cdot b - F^2 \cdot \sin\theta}{F \cdot C}) + \arctan(\frac{F^2 \cdot \sin\theta}{F \cdot C})] -$$

$$- [\frac{a^2+(b+1)^2-2 \cdot b \cdot (1+a \cdot \sin\theta)}{A \cdot B}] \cdot \arctan(\frac{A \cdot D}{B})\} =$$

$$= \frac{1}{\pi} \cdot \{\arctan(\frac{1}{0,79}) + \frac{0,856}{2,34} \cdot [\arctan(\frac{3,98 \cdot 4,22 - 4,1^2 \cdot 0,856}{4,1 \cdot 2,34}) + \arctan(\frac{4,1^2 \cdot 0,856}{4,1 \cdot 2,34})] -$$

$$- [\frac{3,98^2+(4,22+1)^2-2 \cdot 4,22 \cdot (1+3,98 \cdot 0,856)}{2,74 \cdot 2,06}] \cdot \arctan(\frac{2,74 \cdot 0,79}{2,06})\} =$$

$$= 0,401.$$

Угловой коэффициент облученности:

$$F_q = \sqrt{F_V^2 + F_H^2} = \sqrt{0,226^2 + 0,401^2} = 0,46.$$

Коэффициент пропускания атмосферы:

$$r = \exp(-7 \cdot 10^{-4} \cdot (X - 0,5 \cdot d)) = \exp(-7 \cdot 10^{-4} \cdot (26,1 - 0,5 \cdot 12,4)) = 0,986.$$

Среднеповерхностная интенсивность теплового излучения пламени принимается по таблице П3.4 [3] и при $d = 12,4$ м составляет 56,9 кВт/м^2.

Интенсивность теплового излучения:

$$q = E_f \cdot F_q \cdot r = 56,9 \cdot 0,46 \cdot 0,986 = 25,82 \text{ кВт/м}^2.$$

*Аналогичным образом были получены величины плотности теплового потока на различных расстояниях от края пролива (края площади пожара). * – *при использовании расчетных программ*.

5.2. Взрыв ТВС

Бензин АИ-93 (зимний) (ГОСТ 2084-67) по степени своей чувствительности к возбуждению взрывных процессов относится к классу 3 ([3], табл. П3.1).

Класс загроможденности пространства – III - средне загроможденное пространство.

Ожидаемый режим сгорания облака – 4.

Удельное энерговыделение:

$$E_{\text{УД}} = E_{\text{УД0}} \cdot \beta = 44 \cdot 1 = 44 \text{ МДж}.$$

Масса горючего вещества, содержащегося в облаке, с концентрацией между нижним и верхним концентрационными пределами распространения пламени:

$$M_{\text{Т}} = m_{\text{п}} \cdot Z = 154{,}3 \cdot 0{,}1 = 15{,}434 \text{ кг}.$$

Эффективный энергозапас горючей смеси:

$$E = M_{\text{Т}} \cdot E_{\text{УД}} = 15{,}434 \cdot 44 \text{ МДж} = 679{,}09 \text{ МДж}.$$

При расчете параметров сгорания облака, расположенного на поверхности земли, величина эффективного энергозапаса удваивается:

$$E = 679{,}09 \cdot 2 = 1358{,}19 \text{ МДж}.$$

Видимая скорость фронта пламени:

$$u = 43 \cdot M^{1/6} = 43 \cdot 154{,}3^{1/6} = 99{,}6 \text{ м/с}.$$

Скорость фронта пламени принимается максимальной для данного режима сгорания облака: $u = 200$ м/с.

Ниже приведен расчет избыточного давления взрыва и импульса фазы сжатия для точки, расположенной на расстоянии 22,5 м от центра облака.

Безразмерное расстояние:

$$R_x = \frac{R}{(E/P_0)^{1/3}} = \frac{22{,}5}{(1358{,}19 \cdot 10^6/101000)^{1/3}} = 0{,}95.$$

Избыточное давление взрыва:

$$\Delta P = \left(\frac{u^2}{C_0^2}\right) \cdot \left(\frac{\sigma - 1}{\sigma}\right) \cdot \left(\frac{0{,}83}{\bar{R}_x} - \frac{0{,}14}{\bar{R}_x^2}\right) \cdot P_0 =$$

$$= \left(\frac{200^2}{340^2}\right) \cdot \left(\frac{7-1}{7}\right) \cdot \left(\frac{0{,}83}{0{,}95} - \frac{0{,}14}{0{,}95^2}\right) \cdot 101000 = 2{,}159 \cdot 10^4 \text{ Па}.$$

Безразмерный импульс:

$$I_{x1} = W \cdot (1 - 0{,}4 \cdot W) \cdot (\frac{0{,}06}{R_x} + \frac{0{,}01}{R_x^2} - \frac{0{,}0025}{R_x^3}) =$$

$$= 0{,}504 \cdot (1 - 0{,}4 \cdot 0{,}504) \cdot (\frac{0{,}06}{0{,}95} + \frac{0{,}01}{0{,}95^2} - \frac{0{,}0025}{0{,}95^3}) = 0{,}029;$$

$$W = \frac{u}{C_0} \cdot \frac{\sigma - 1}{\sigma} = \frac{200}{340} \cdot \frac{7 - 1}{7} = 0{,}504.$$

Импульс фазы сжатия:

$$I^+ = \frac{I_{x1} \cdot P_0^{2/3} \cdot E^{1/3}}{C_0} = \frac{0{,}029 \cdot 101000^{2/3} \cdot (1358{,}19 \cdot 10^6)^{1/3}}{340} = 203{,}7 \text{ Па} \cdot \text{с}.$$

*Аналогичным образом были получены величины избыточного давления и импульса фазы сжатия волны давления на различных расстояниях от центра облака. * – *при использовании расчетных программ*.

5.3. Пожар-вспышка

Плотность паров ЛВЖ при расчетной температуре 34 °С составляет $\rho_{\text{п}} = 3{,}78$ кг/м^3.

Радиус зоны, ограничивающей область концентраций, превышающих нижний концентрационный предел распространения пламени (далее - НКПР), составляет:

$$R_{\text{НКПР}} = 7{,}8 \cdot (\frac{m_{\text{п}}}{\rho_{\text{п}} \cdot C_{\text{НКПР}}})^{0{,}33} = 7{,}8 \cdot (\frac{154{,}3}{3{,}78 \cdot 1{,}1})^{0{,}33} = 25{,}7 \text{ м}.$$

Высота зоны:

$$Z_{\text{НКПР}} = 0{,}26 \cdot (\frac{m_{\text{п}}}{\rho_{\text{п}} \cdot C_{\text{НКПР}}})^{0{,}33} = 0{,}26 \cdot (\frac{154{,}3}{3{,}78 \cdot 1{,}1})^{0{,}33} = 0{,}86 \text{ м}.$$

6. ОЦЕНКА ПОСЛЕДСТВИЙ ВОЗДЕЙСТВИЯ ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ ПОЖАРА НА ЛЮДЕЙ

6.1. Пожар пролива

Расчет условной вероятности поражения человека тепловым излучением пожара при ветре 4,8 м/с.

Ниже приведен расчет условной вероятности поражения человека для точки, расположенной на расстоянии $r'=19,9$ м от края пролива (края площади пожара) с подветренной стороны от очага пожара (условные вероятности поражения для точек, расположенных с наветренной стороны от очага пожара, принимаются равными соответствующим значениям при штиле).

Интенсивность теплового излучения в рассматриваемой точке составляет 25,82 кВт/м².

Расстояние от рассматриваемой точки до зоны, где интенсивность теплового излучения не превышает безопасное значение (4 кВт/м^2) составляет:

$$x=r_4-r'=102,8-19,9=82,9 \text{ м.}$$

Величина эффективного времени экспозиции:

$$t=t_0+\frac{x}{u}=5+\frac{82,9}{5}=21,6 \text{ с.}$$

Значение пробит-функции составляет:

$$Pr=-12,8+2,56\cdot\ln(t\cdot q^{4/3})=-12,8+2,56\cdot\ln(21,6\cdot 25,82^{4/3})=6,159.$$

Условная вероятность поражения человека тепловым излучением в рассматриваемой точке:

$$Q_d=\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_{-\infty}^{6,159-5}\exp\left(-\frac{U^2}{2}\right)\cdot dU=0,877784.$$

*Аналогичным образом были получены величины условных вероятностей поражения человека тепловым излучением на различных расстояниях от края пролива (края площади пожара). * – *при использовании расчетных программ*.

6.2. Взрыв ТВС

Ниже приведен расчет условной вероятности поражения человека волной давления при взрыве для точки, расположенной на расстоянии 22,5 м от центра облака.

Избыточное давление взрыва в рассматриваемой точке составляет $\Delta P = 2{,}159 \cdot 10^4$ Па, импульс фазы сжатия $I^+ = 203{,}7$ Па·с.

Величина параметра V составляет:

$$V = \left(\frac{17500}{\Delta P}\right)^{8,4} + \left(\frac{290}{I^+}\right)^{9,3} = \left(\frac{17500}{2{,}159 \cdot 10^4}\right)^{8,4} + \left(\frac{290}{203{,}7}\right)^{9,3} = 26{,}892.$$

Значение пробит-функции составляет:

$$Pr = 5\text{-}0{,}26 \cdot \ln V = 5\text{-}0{,}26 \cdot \ln 26{,}892 = 4{,}144$$

Условная вероятность поражения человека волной давления в рассматриваемой точке:

$$Q_d = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{4,144-5} \exp\left(-\frac{U^2}{2}\right) \cdot dU = 0{,}195607.$$

*Аналогичным образом были получены величины условных вероятностей поражения человека волной давления на различных расстояниях от центра облака. * – *при использовании расчетных программ*.

6.3. Пожар-вспышка

Для пожара-вспышки принимается, что условная вероятность поражения человека, попавшего в зону воздействия высокотемпературными продуктами сгорания газопаровоздушного облака, равна 1, за пределами этой зоны условная вероятность поражения человека принимается равной 0.

Радиус воздействия высокотемпературных продуктов сгорания газопаровоздушного облака при пожаре-вспышке составляет:

$$R_F = 1{,}2 \cdot R_{НКПР} = 1{,}2 \cdot 25{,}7 \text{ м} = 30{,}8 \text{ м}.$$

7. ВЫЧИСЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ ВЕЛИЧИН ПОЖАРНОГО РИСКА

7.1. Потенциальный риск от оборудования объекта

Величина потенциального пожарного риска в определенной точке как на территории объекта, так и в селитебной зоне вблизи объекта определяется по формуле:

$$P(a) = \sum_{j=1}^{J} Q_{dj}(a) \cdot Q_j,$$

где J — число сценариев развития пожароопасных ситуаций (пожаров, ветвей логического дерева событий);

$Q_{dj}(a)$ — условная вероятность поражения человека в определенной точке территории (a) в результате реализации j-го сценария развития пожароопасных ситуаций, отвечающего определенному инициирующему аварию событию;

Q_j — частота реализации в течение года j-го сценария развития пожароопасных ситуаций, $год^{-1}$.

Ниже приведены поля потенциального пожарного риска, обусловленного возникновением пожароопасных ситуаций в оборудовании объекта.

Путем суммирования полученных полей потенциального риска в каждой точке объекта получено поле суммарного потенциального риска, обусловленного возникновением пожароопасных ситуаций на всем оборудовании объекта.

7.2. Вероятность нахождения людей на территории объекта

Вероятности нахождения людей на участках территории объекта и в зданиях приведены в таблице.

Вероятность нахождения людей

Категория людей	**Группа людей**	**Здание, область территории**	q_{im}
Персонал объекта			
	Группа людей_01	Граница объекта	0,16918
		ост. часть территории	0,16918

7.3. Индивидуальный пожарный риск на территории объекта

Индивидуальный пожарный риск в зданиях и на территории объекта определяется для каждой группы людей с учетом вероятности их нахождения в каждой области территории или здании по формуле:

$$R_m = \sum_{i=1}^{I} q_{im} \cdot P(i),$$

где $P(i)$ — интегрированная по площади величина потенциального риска в i-ой области территории объекта, год$^{-1}$;

q_{im} — вероятность присутствия работника m в i-ой области территории объекта.

Результаты расчетов приведены в таблице.

Расчет индивидуального пожарного риска в зданиях и на территории объекта

q_{im}	$P(i)$ (мин. … макс.), год$^{-1}$	$R_m(i)$, год$^{-1}$
0,16918	$1{,}507 \cdot 10^{-8} \ldots 8{,}436 \cdot 10^{-5}$	$1{,}659 \cdot 10^{-6}$

8. ВЫВОД

Вы результате проведенных расчетов получены следующие значения пожарных рисков:

- Индивидуальный пожарный риск в зданиях, сооружениях и на территориях объекта составляет $1{,}659 \cdot 10^{-6}$ год$^{-1}$, что **превышает** нормативное значение 10^{-6} год$^{-1}$, установленное п. 1 ст. 93 федерального закона № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [1]. Согласно п. 3 ст. 93 [1], для производственных объектов, на которых 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. При этом должны быть предусмотрены меры по обучению персонала действиям при пожаре и по социальной защите работников, компенсирующие их работу в условиях повышенного риска;

- Индивидуальный пожарный риск в результате воздействия опасных факторов пожара на объекте для людей, находящихся в селитебной зоне составляет 0 год$^{-1}$, что **не превышает** нормативное значение 10^{-8} год$^{-1}$, установленное п. 4 ст. 93 федерального закона № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [1];

Приложение 4.

Пример оформление графической части работы, в случае использования расчетных программ

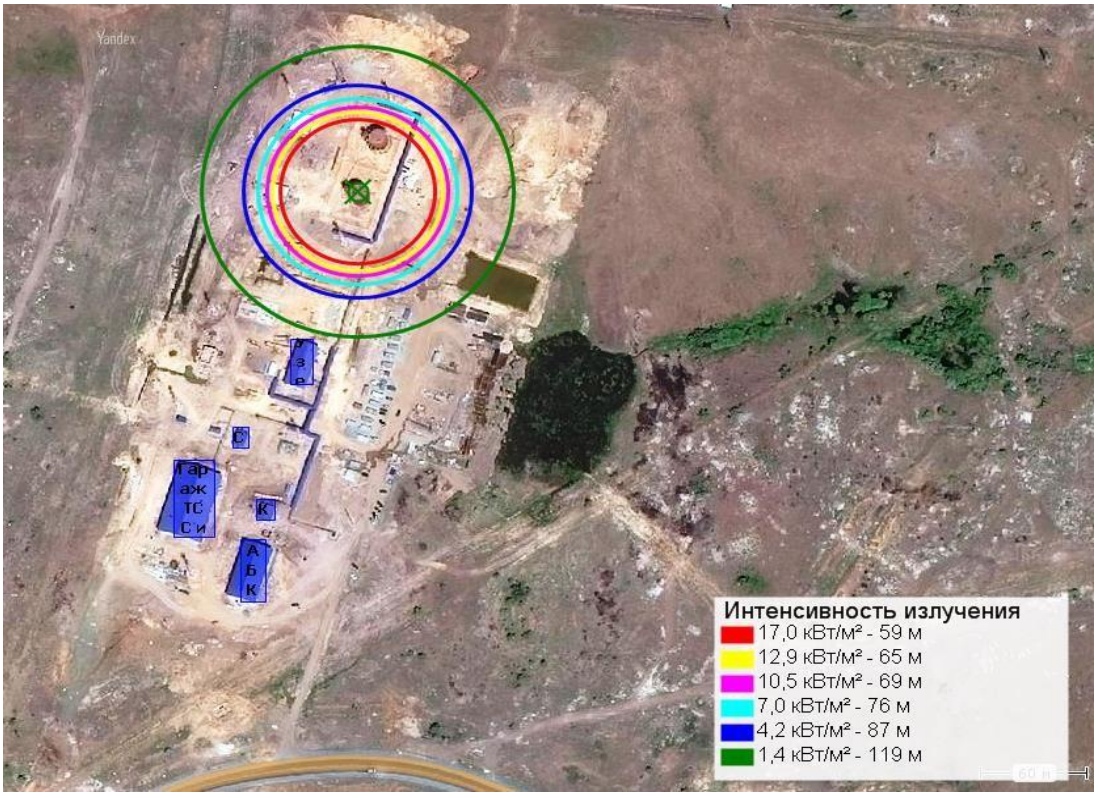


Рисунок 4.1. Зоны поражения для сценария.

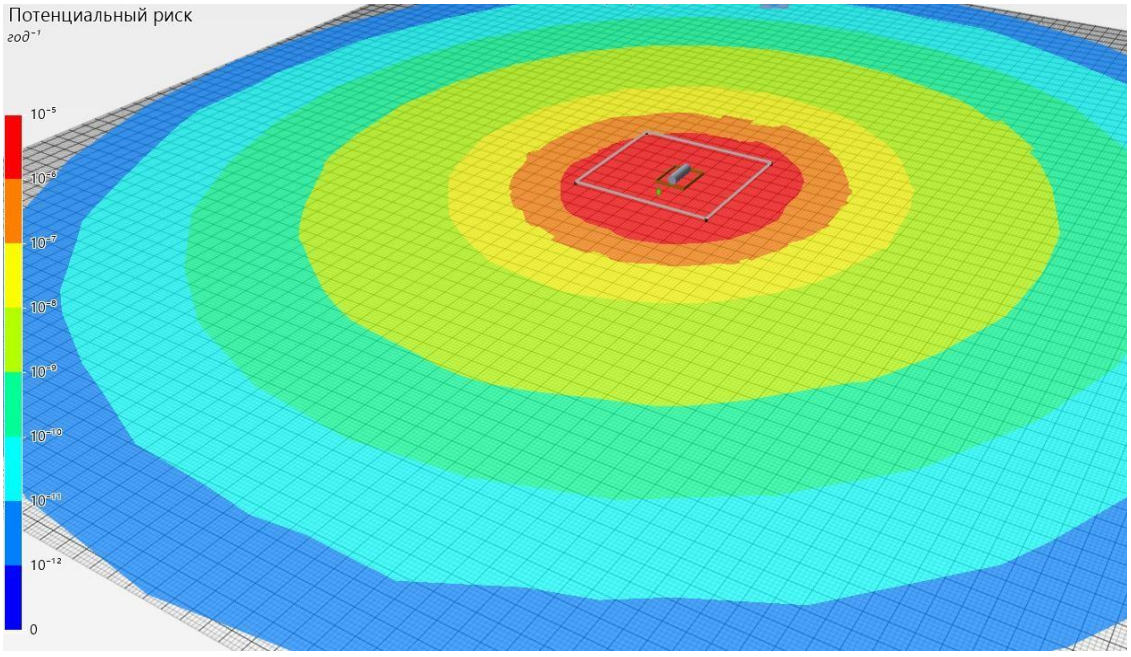


Рисунок 4.2. Поле величин потенциального пожарного риска

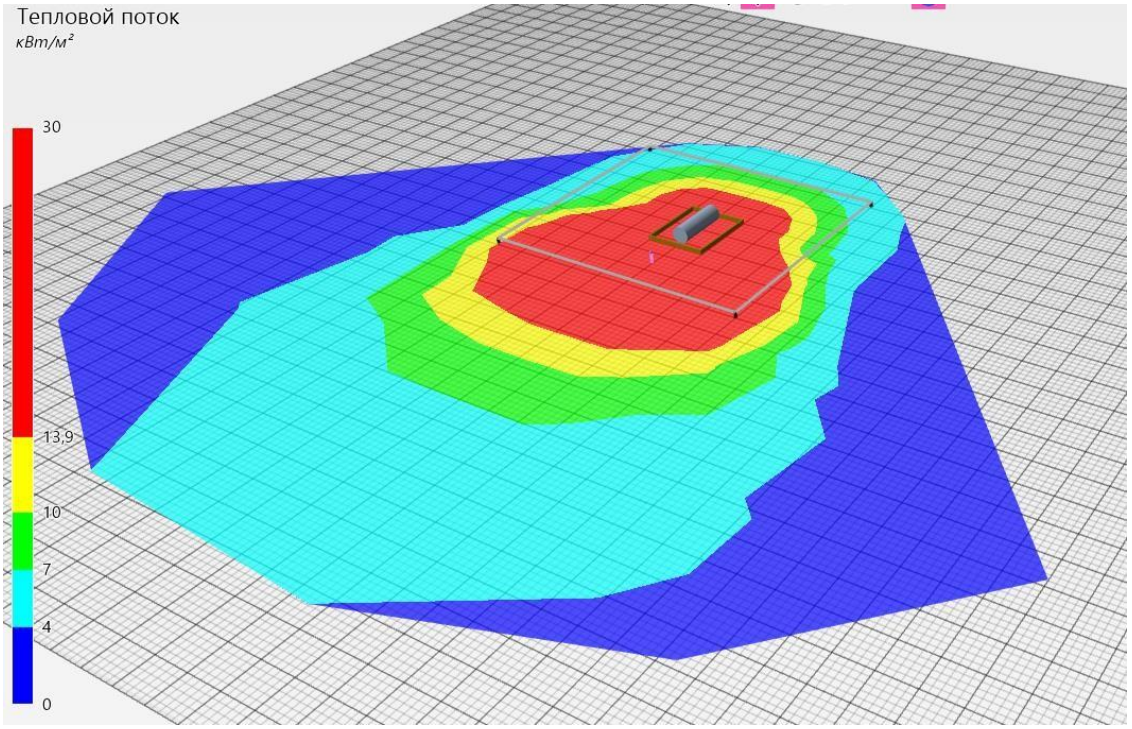


Рисунок 4.3. Поле величин теплового потока при пожаре пролива (разгерметизация 25 мм)

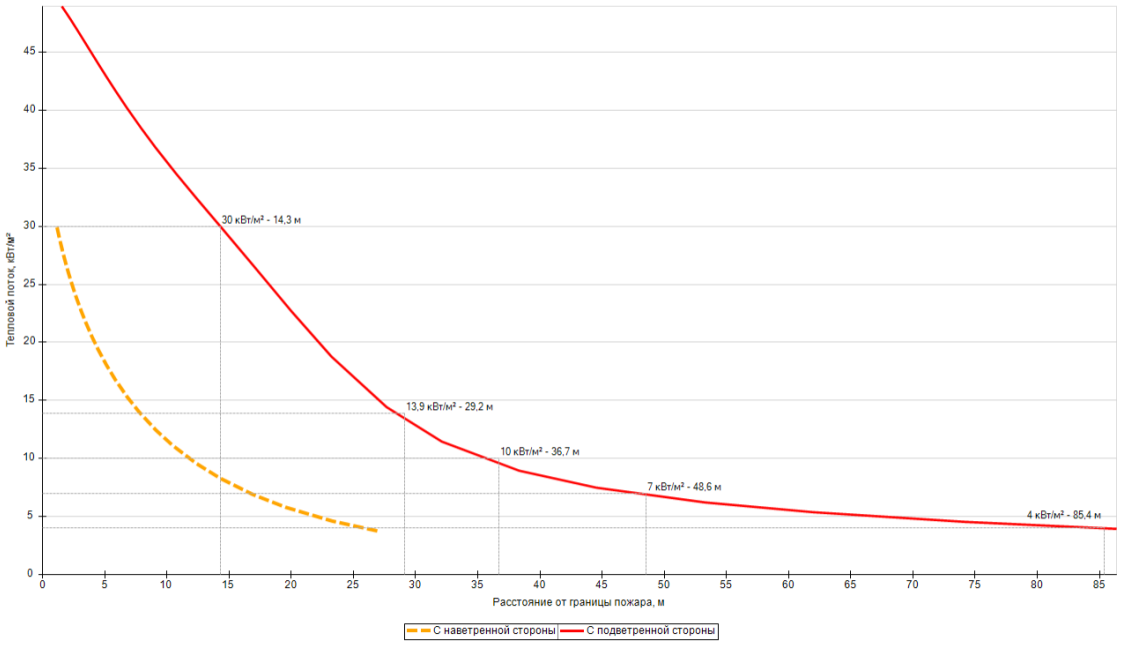


Рисунок 4.4. Зависимость величины теплового потока от расстояния при пожаре пролива (разгерметизация 25 мм)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральный закон Российской Федерации от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» с изменениями, внесенными Федеральным законом от 10 июля 2012 г. №117-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».

2. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах, утвержденная приказом МЧС России от 10 июля 2009 г. №404 «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах» зар. в Минюсте от 17 августа 2009 г. № 14541, с изменениями и дополнениями от 14 декабря 2010 г.

3. Пособие по определению расчетных величин пожарного риска для производственных объектов / *Д. М. Гордиенко, Ю. Н. Шебеко, А. Ю. Шебеко* и др. – М.: ВНИИПО, 2012. – 242 с.

4. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: Справ. изд.: в 2-х книгах; кн. 1 / *А. Н. Баратов, А. Я. Корольченко, Г. Н. Кравчук* и др. – М.: Химия, 1990. – 496 с; кн. 2 / *А. Н. Баратов, А. Я. Корольченко, Г. Н. Кравчук* и др. – М.: Химия, 1990. – 384 с.

5. СП 131.13330.2012. Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23.01-99*.

6. СНиП 2.01.01-82. Строительная климатология и геофизика.