

Отчёт
по определению расчетных величин пожарного риска
на производственном объекте

АЗС № 125
Южная дом 1

Расчет выполнил:

Иванов Иван Иванович

подпись « ____ » _____ 20__ г.

							Лист
							1
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

Содержание

Содержание	2
Введение.....	3
Исходные данные для проведения расчета по оценке пожарного риска	5
Наименование использованной методики расчета по оценке пожарного риска.....	8
Значения расчетных величин пожарного риска для объекта защиты.....	41
Расчет значений потенциального риска для объекта "ТРК (ЛВЖ и ГЖ)"	41
Расчет значений потенциального риска для объекта "Автоцистерна"	75
Вывод о соответствии/несоответствии расчетных величин пожарного риска соответствующим нормативным значениям пожарных рисков	96
Литература	97

							Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		2

Введение

Оценка пожарного риска проводится в целях определения соответствия объекта защиты требованиям пожарной безопасности в порядке, установленном Федеральным законом от 22.07.2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» и нормативными правовыми актами Российской Федерации.

Оценка пожарного риска проводится путем определения расчетных величин пожарного риска на объекте защиты и сопоставления их с соответствующими нормативными значениями пожарных рисков, установленными Федеральным законом от 22.07.2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».

Расчетные величины пожарного риска являются количественной мерой возможности реализации пожарной опасности объекта защиты и ее последствий для людей и материальных ценностей. Расчет пожарного риска производится в соответствии с «Методикой определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах», утвержденной приказом МЧС России от 26 июня 2024 г. № 533 «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах»

Результаты расчётного обоснования величины пожарного риска на объекте защиты: «АЗС № 125 по адресу: Южная дом 1» распространяются только на решения и мероприятия, описанные в представленной технической документации. Ответственность за достоверность представленной технической документации для разработки расчётного обоснования величин пожарных рисков на объекте защиты: «АЗС № 125 по адресу: Южная дом 1», несёт Заказчик.

В случае внесения Заказчиком изменений и дополнений в проектные материалы или при отступлениях от проектных решений, настоящее расчётное обоснование величины пожарного риска на объект защиты:

							Лист
							3
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

«АЗС № 125 по адресу: Южная дом 1» утрачивает свою силу и подлежит переработке с учётом внесённых изменений и дополнений.

Результаты расчётов, изложенные в данном документе, распространяются только на «АЗС № 125 по адресу: Южная дом 1».

							Лист
							4
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

Исходные данные для проведения расчета по оценке пожарного риска

Таблица 1 – Характеристики территории объекта

Параметр	Значение
Город	Москва
Адрес	Южная дом 1
Класс загроможденности пространства	4

Таблица 2 – Характеристики климатической зоны

Направление	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
Вероятность, %	17.0	10.0	10.0	8.0	6.0	11.0	16.0	22.0
Скорость ветра, м/с	3.8	2.9	3.0	3.4	3.4	3.3	3.4	3.9

Максимальная температура воздуха, соответствующая выбранному региону: 38 °С.
Вероятность шпиль: 12.0 %.

Таблица 3 – Характеристики объекта (ТРК (ЛВЖ и ГЖ))

Параметр	Значение
Тип объекта	ТРК (ЛВЖ или ГЖ)
Расход жидкости	4,8 м³/час
Время аварийного отключения	120 с
Внутренний радиус отводящего трубопровода	0.01 м
Вероятность срабатывания системы пожаротушения	0,6
Вероятность срабатывания системы пожарной сигнализации	0,8
Макс. температура содержимого вещества	37 °С
Коэффициент разлива	150

Таблица 4 – Раздаточные рукава (ТРК (ЛВЖ и ГЖ))

Вещество	Количество рукавов
Бензин АИ-100	1
Бензин АИ-95	1
Бензин АИ-93 (летний) (ГОСТ 2084-67)	1
Дизельное топливо Л (ГОСТ 305-73)	1

Таблица 5 – Характеристики объекта (Автоцистерна)

Параметр	Значение
Тип объекта	Автоцистерна (Резервуар для хранения ЛВЖ и горючих жидкостей при давлении, близком к атмосферному)
Объем	25 м³
Высота столба жидкости	1 м
Вероятность срабатывания системы пожаротушения	0
Вероятность срабатывания системы пожарной сигнализации	0
Содержимое вещество	Бензин АИ-93 (летний) (ГОСТ 2084-67)
Макс. температура содержимого вещества	37 °С

								Лист
								5
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата			

Подземный	Нет
-----------	-----

Таблица 6 – Характеристики вещества Бензин АИ-100

Параметр	Значение
Название	Бензин АИ-100
Тип	Жидкость
Молярная масса	101.1кг*кмоль ⁻¹
Температура вспышки	-34 °С
Константа антуана А	5.64511
Константа антуана В	890.461
Константа антуана Са	302.468
Плотность	780кг/м ³
НКПР	0.83 %(об)
Класс чувствительности	3
Корректировочный параметр	1
Тип в соответствии с таблицей ПЗ.4 приказа 533	Бензин

Таблица 7 – Характеристики вещества Бензин АИ-95

Параметр	Значение
Название	Бензин АИ-95
Тип	Жидкость
Молярная масса	99.1кг*кмоль ⁻¹
Температура вспышки	-35 °С
Константа антуана А	4.89158
Константа антуана В	691.456
Константа антуана Са	267.89
Плотность	756кг/м ³
НКПР	0.92 %(об)
Класс чувствительности	3
Корректировочный параметр	1
Тип в соответствии с таблицей ПЗ.4 приказа 533	Бензин

Таблица 8 – Характеристики вещества Бензин АИ-93 (летний) (ГОСТ 2084-67)

Параметр	Значение
Название	Бензин АИ-93 (летний) (ГОСТ 2084-67)
Тип	Жидкость
Молярная масса	98.2кг*кмоль ⁻¹
Температура вспышки	-36 °С
Константа антуана А	4.12311
Константа антуана В	664.976
Константа антуана Са	221.695
Плотность	745кг/м ³
НКПР	1.06 %(об)
Класс чувствительности	3
Корректировочный параметр	1
Тип в соответствии с таблицей ПЗ.4 приказа 533	Бензин

							Лист
							6
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

Таблица 9 – Характеристики вещества Дизельное топливо Л (ГОСТ 305-73)

Параметр	Значение
Название	Дизельное топливо Л (ГОСТ 305-73)
Тип	Жидкость
Молярная масса	203.6кг*кмоль ⁻¹
Температура вспышки	65 °С
Константа антуана А	5.00109
Константа антуана В	1314.04
Константа антуана Са	192.473
Плотность	824кг/м ³
НКПР	0.52 %(об)
Класс чувствительности	4
Корректировочный параметр	0.99
Тип в соответствии с таблицей ПЗ.4 приказа 533	Дизельное топливо

Таблица 10 – Представители профессий пребывающих на территории

Профессия	Количество рабочих дней в году	Инд. риск в зданиях
Оператор	247	0
Водитель автоцистерны	247	0

Вероятность присутствия работника в зоне на территории определяется как соотношение рабочих часов в течение года к общему количеству часов в году. Расчетom принято, что в году 8760 часов (365 дней по 24 часа).

Таблица 11 – Вероятность присутствия работников в зоне на территории

Зона	Профессия	Время присутствия на территории, часов в сутки	Вероятность присутствия
А	Оператор	1	0,028
В	Водитель автоцистерны	1	0,028

Таблица 12 – Список объектов, находящихся в селитебной зоне

Название	Количество людей	Время пребывания (часов в сутки)
Жилой дом	100	24

Таблица 13 – Матрица расстояний до соц. объектов

Название соц. объекта	Название тех. установки	Расстояние
Жилой дом	ТРК (ЛВЖ и ГЖ) (С)	102
Жилой дом	ТРК (ЛВЖ и ГЖ) (А)	90
Жилой дом	Автоцистерна (В)	113

							Лист
							7
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

Наименование использованной методики расчета по оценке пожарного риска

Расчет пожарного риска проведен в соответствии с Методикой определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах, утвержденной приказом МЧС России от 26 июня 2024 г. № 533 “Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах”

I. Общие положения

1. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах (далее - Методика) устанавливает порядок расчета величин пожарного риска на производственных объектах класса функциональной пожарной опасности Ф5 (за исключением стоянок легковых автомобилей без технического обслуживания и ремонта, а также стоянок легковых автомобилей, входящих в состав производственного объекта), включая здания иных классов функциональной пожарной опасности, входящие в состав производственного объекта (далее - объект).

Класс функциональной пожарной опасности зданий, сооружений и пожарных отсеков (далее - здания) определяется в соответствии со статьей 32 Федерального закона от 22 июля 2008 г. N 123-ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" (далее - Федеральный закон N 123-ФЗ).

Положения Методики не распространяются на определение расчетных величин пожарного риска для производственных объектов специального назначения: объектов военного назначения, объектов производства, переработки, хранения взрывчатых веществ и материалов,

							Лист
							8
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

объектов уничтожения и хранения химического оружия и средств взрывания, наземных космических объектов и стартовых комплексов, горных выработок, объектов, расположенных в лесах.

2. Определение расчетных величин пожарного риска на производственном объекте производится на следующих основаниях:

- а) анализ пожарной опасности объекта;
- б) определение частоты возникновения пожара (частоты реализации пожароопасных ситуаций);
- в) построение полей опасных факторов пожара для различных сценариев его развития;
- г) оценка последствий воздействия опасных факторов пожара на людей для различных сценариев его развития;
- д) оценка влияния состава системы обеспечения пожарной безопасности зданий;
- е) оценка степени опасности для группы людей в результате воздействия опасных факторов пожара, ведущих к гибели 10 человек и более, при проведении расчета по оценке социального пожарного риска.

3. Количественной мерой возможности реализации пожарной опасности объекта является риск гибели людей в результате воздействия опасных факторов пожара, в том числе:

- а) риск гибели работника объекта;
- б) риск гибели посетителей объекта;
- в) риск гибели людей, находящихся в жилой зоне, общественно-деловой зоне или зоне рекреационного назначения вблизи объекта.

4. Риск гибели людей в результате воздействия опасных факторов пожара на объекте характеризуется числовыми значениями индивидуального и социального пожарных рисков.

Величина индивидуального пожарного риска в зданиях и на территориях производственных объектов не должна превышать одну

							Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		9

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.

Величина индивидуального пожарного риска в результате воздействия опасных факторов пожара на производственном объекте для людей, находящихся в жилой зоне, общественно-деловой зоне или зоне рекреационного назначения вблизи объекта, не должна превышать одну стомиллионную в год. Для производственных объектов, на которых для людей, находящихся в жилой зоне, общественно-деловой зоне или зоне рекреационного назначения вблизи объекта, обеспечение величины индивидуального пожарного риска одной стомиллионной в год и (или) величины социального пожарного риска одной десятимиллионной в год невозможно в связи со спецификой функционирования технологических процессов, допускается увеличение индивидуального пожарного риска до одной миллионной в год и (или) социального пожарного риска до одной сотысячной в год соответственно. При этом должны быть предусмотрены средства оповещения людей, находящихся в жилой зоне, общественно-деловой зоне или зоне рекреационного назначения, о пожаре на производственном объекте, а также дополнительные инженерно-технические и организационные мероприятия по обеспечению их пожарной безопасности и социальной защите.

К объектам с наличием указанной специфики функционирования технологических процессов относятся, в том числе, опасные производственные объекты в соответствии с пунктом 1 приложения 1 к

							Лист
							10
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

Федеральному закону от 21 июля 1997 г. N 116-ФЗ "О промышленной безопасности опасных производственных объектов", производственные объекты, включающие здания (помещения) категорий А и (или) Б по взрывопожарной и пожарной опасности, наружные установки категорий АН и (или) БН по пожарной опасности, производственные объекты, на которых обращаются горючие вещества и материалы, нагретые выше температуры самовоспламенения, атомные электростанции (далее - АЭС).

5. Определение расчетных величин пожарного риска должно проводиться для подтверждения условия соответствия объекта требованиям пожарной безопасности, предусмотренного пунктом 2 части 1 статьи 6 Федерального закона N 123-ФЗ, при невыполнении требований нормативных документов по пожарной безопасности, учитываемых Методикой, или для подтверждения эффективности мероприятий, разработанных (разрабатываемых) в рамках специальных технических условий или комплекса необходимых инженерно-технических и организационных мероприятий по обеспечению пожарной безопасности.

При определении расчетных величин пожарного риска допускается учитывать результаты исследований и (или) испытаний, выполненные в соответствии с требованиями пункта 5 части 1 статьи 6 Федерального закона N 123-ФЗ.

II. Анализ пожарной опасности объекта

6. Анализ пожарной опасности объекта должен предусматривать:

- а) анализ пожарной опасности технологической среды и параметров технологических процессов на объекте;
- б) определение пожароопасных аварийных ситуаций и параметров для каждого технологического процесса;
- в) определение для каждого технологического процесса причин,

							Лист
							11
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

возникновение которых позволяет характеризовать ситуацию как пожароопасную;

г) построение сценариев возникновения и развития пожаров, влекущих за собой гибель людей.

7. При проведении анализа необходимо учитывать место расположения объекта, график работы объекта, данные о режиме рабочего времени персонала объекта, а также иные сведения, используемые при проведении расчета.

8. Анализ пожарной опасности технологических процессов предусматривает сопоставление показателей пожарной опасности веществ и материалов, обращающихся в технологическом процессе, с параметрами технологического процесса.

Состав потенциальных источников зажигания пожароопасной технологической среды определяется путем сопоставления параметров технологического процесса и иных источников зажигания с показателями пожарной опасности веществ и материалов.

В случае отсутствия исходных данных по свойствам горючих веществ и материалов, необходимых для расчета динамики развития пожара, используются нормативные документы, проектная и иная документация здания, а также научные статьи, монографии, справочники, методические рекомендации, учебники, пособия, материалы конференций, диссертации, авторефераты диссертаций, отчеты о научно-исследовательских работах, отчеты об опытно-конструкторских работах (далее - справочные источники информации) или данные из экспериментальных исследований.

9. Определение пожароопасных аварийных ситуаций и параметров для каждого технологического процесса должно осуществляться на основе анализа пожарной опасности каждого из технологических процессов и предусматривает выбор ситуаций, при реализации которых возникает

							Лист
							12
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

опасность поражения людей опасными факторами пожара и вторичными последствиями воздействия опасных факторов пожара.

К пожароопасным ситуациям не относятся ситуации, в результате которых не возникает опасность для жизни и здоровья людей. Эти ситуации не учитываются при расчете пожарного риска.

10. Для каждой пожароопасной ситуации на производственном объекте должно быть приведено описание причин возникновения и развития пожароопасных ситуаций, места их возникновения и факторов пожара, представляющих опасность для жизни и здоровья людей в местах их пребывания.

11. Для определения причин возникновения пожароопасных ситуаций должны рассматриваться события, реализация которых может привести к образованию горючей среды и появлению источника зажигания.

12. Наиболее вероятные события, которые могут являться причинами пожароопасных ситуаций на объектах:

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

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

в) механическое повреждение оборудования в результате ошибок

							Лист
							13
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

работника, падения предметов, некачественного проведения ремонтных и регламентных работ (в том числе разгерметизация оборудования или выход из строя элементов его защиты в результате повреждения при ремонте или столкновения с железнодорожным или автомобильным транспортом).

13. На основе анализа пожарной опасности объекта при необходимости проводится определение комплекса дополнительных мероприятий, изменяющих параметры технологического процесса до уровня, обеспечивающего допустимый пожарный риск.

14. Для выявления пожароопасных ситуаций осуществляется деление технологического оборудования (технологических систем) на участки. Указанное деление выполняется исходя из возможности раздельной герметизации этих участков при возникновении аварии. Рассматриваются пожароопасные ситуации как на основном, так и вспомогательном технологическом оборудовании. Также учитывается возможность возникновения пожара в зданиях различного назначения, расположенных на территории объекта.

В составе пожароопасных ситуаций применительно к каждому участку, технологической установке, зданию объекта выделяются группы пожароопасных ситуаций, которым соответствуют одинаковые модели процессов возникновения и развития.

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).

III. Определение частоты реализации пожароопасных ситуаций

							Лист
							14
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

13. Для определения частоты реализации пожароопасных ситуаций на объекте используется информация:

- а) об отказах оборудования, используемого на объекте;
- б) о параметрах надежности используемого на объекте оборудования;
- в) об ошибочных действиях работника объекта;
- г) о гидрометеорологической обстановке в районе размещения объекта;
- д) о географических особенностях местности в районе размещения объекта.

16. Для определения частоты реализации пожароопасных ситуаций, как правило, должны использоваться статистические данные по аварийности или расчетные данные по надежности технологического оборудования, соответствующие специфике рассматриваемого объекта, приведенные в справочных источниках информации. При отсутствии указанных данных информация о частотах реализации пожароопасных ситуаций (в том числе возникших в результате ошибок работника), необходимая для оценки риска, берется из данных о функционировании исследуемого объекта или из данных о функционировании других подобных объектов или используются сведения по частотам реализации иницирующих пожароопасные ситуации событий для некоторых типов оборудования объектов, частотам утечек из технологических трубопроводов, а также частотам возникновения пожаров в зданиях, указанные в приложении N 1 к Методике.

17. Если расчет величины пожарного риска проводится для подтверждения условия соответствия объекта требованиям пожарной безопасности, предусмотренного пунктом 2 части 1 статьи 6 Федерального закона N 123-ФЗ, при невыполнении требований нормативных документов по пожарной безопасности, учитываемых Методикой, рассматриваются

							Лист
							15
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

сценарии пожара, при которых учитываются параметры и характеристики производственного объекта, обуславливающие наличие указанных отступлений.

18. Если расчет величины пожарного риска проводится для подтверждения эффективности мероприятий, разработанных (разрабатываемых) в рамках специальных технических условий или комплекса необходимых инженерно-технических и организационных мероприятий по обеспечению пожарной безопасности, рассматриваются сценарии пожара, при которых учитываются параметры и характеристики производственного объекта, связанные с указанными мероприятиями.

19. Для определения возможных сценариев возникновения и развития пожаров должен использоваться метод логических деревьев событий (далее - логическое дерево), в котором сценарий возникновения и развития пожароопасной ситуации (пожара) на логическом дереве отражается в виде последовательности событий от исходного до конечного события (далее - ветвь дерева событий). Последовательность построения логических деревьев возникновения и развития пожароопасных ситуаций и пожаров приведена в приложении N 2 к Методике.

20. При построении логического дерева используются:

а) условная вероятность реализации различных ветвей логического дерева и перехода пожароопасной ситуации или пожара на ту или иную стадию развития;

б) вероятность эффективного срабатывания соответствующих средств предотвращения или локализации пожароопасной ситуации или пожара исходя из статистических данных или справочных источников информации, а также в соответствии с условием соответствия объекта требованиям пожарной безопасности, предусмотренным пунктом 5 части 1 статьи 6 Федерального закона N 123-ФЗ;

в) вероятность поражения расположенного в зоне пожара

							Лист
							16
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

технологического оборудования и зданий объекта в результате воздействия на них опасных факторов пожара, взрыва.

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

а) возможность возникновения пожароопасной ситуации или пожара на любом участке производственного объекта, характеризующаяся обращением горючих веществ и материалов в любом из помещений;

б) возможность возникновения пожароопасной ситуации или пожара на любом из пожароопасных участков каждого помещения;

в) возможность возникновения и развития пожароопасных ситуаций и (или) пожаров при различных сочетаниях успешного и неуспешного выполнения функций различными элементами системы обеспечения пожарной безопасности.

22. Выбранные для расчетов 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 места на практике при эксплуатации схожих производственных объектов.

23. При построении логических деревьев должна учитываться реализация событий, которые приводят к вариантности развития пожароопасных ситуаций (пожаров), то есть точка ветвления дерева событий (далее - ключевое событие), к которым могут относиться:

а) изменение режима ведения технологических процессов и эксплуатации здания;

б) влияние на развитие пожароопасных ситуаций и пожаров технических средств и мероприятий по обеспечению пожарной безопасности.

IV. Построение полей опасных факторов пожара

							Лист
							17
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

для различных сценариев его развития

24. При построении полей опасных факторов пожара для различных сценариев его развития должны учитываться:

- а) тепловое излучение при факельном горении, пожарах проливов горючих веществ на поверхность и реализации огненных шаров;
- б) избыточное давление и импульс волны давления при сгорании газопаровоздушной или пылевоздушной смеси;
- в) избыточное давление и импульс волны давления при разрыве сосуда (резервуара) в результате воздействия на него очага пожара;
- г) задымление атмосферы помещения;
- д) концентрация кислорода, токсичных продуктов горения и термического разложения в помещении;
- е) температура в помещении;
- ж) расширяющиеся продукты сгорания при реализации пожара-вспышки.

25. Оценка величин опасных факторов пожара, указанных в пункте 24 Методики, проводится на основе анализа физических явлений, протекающих при пожароопасных ситуациях, пожарах, взрывах с оценкой влияния особенностей эксплуатации технологического оборудования и свойств обращающихся горючих веществ и материалов, полученных из справочных источников информации или экспериментальных исследований, в том числе по определению показателей пожарной опасности.

26. Рассматриваются следующие процессы, возникающие при реализации пожароопасных ситуаций и пожаров или являющиеся их последствиями, в зависимости от типа оборудования и обращающихся на объекте горючих веществ (при необходимости также рассматриваются иные процессы, которые могут иметь место при возникновении

							Лист
							18
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

пожароопасных ситуаций и пожаров):

- а) истечение жидкости из отверстия;
- б) истечение газа из отверстия;
- в) двухфазное истечение из отверстия;
- г) растекание жидкости при разрушении оборудования;
- д) выброс газа при разрушении оборудования;
- е) формирование зон загазованности;
- ж) сгорание газопаровоздушной или пылевоздушной смеси в открытом пространстве;
- з) разрушение сосуда с перегретой легковоспламеняющейся жидкостью (далее - ЛВЖ), горючей жидкостью (далее - ГЖ) или сжиженным горючим газом;
- и) тепловое излучение от пожара пролива или огненного шара;
- к) реализация пожара-вспышки;
- л) испарение жидкости из пролива;
- м) факельное горение струи жидкости и (или) газа;
- н) образование газопаровоздушного или пылевоздушного облака;
- о) сгорание газопаровоздушной или пылевоздушной смеси в технологическом оборудовании или помещении;
- п) пожар в помещении;
- р) тепловое излучение горящего оборудования.

27. Методы оценки параметров процессов, возникающих при реализации пожароопасных ситуаций и пожаров или являющихся их последствиями, а также опасных факторов пожара, приведены в приложении N 3 к Методике. В случае отсутствия в справочных источниках информации необходимых для расчетов данных о свойствах, обращающихся и применяемых горючих веществ и материалов, следует использовать результаты экспериментальных исследований.

V. Оценка последствий воздействия опасных факторов пожара

							Лист
							19
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

на людей для различных сценариев его развития

28. 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 территории объекта и прилегающей к нему территории и информации о критических для жизни и здоровья людей значениях опасных факторов пожара, взрыва. Для этого используются критерии поражения людей опасными факторами пожара, взрыва.

29. При оценке последствий воздействия опасных факторов пожара, взрыва на людей для различных сценариев развития пожароопасных ситуаций предусматривается определение числа людей, попавших в зону поражения опасными факторами пожара, взрыва.

Для оценки пожарного риска используют, как правило, вероятностные критерии поражения людей опасными факторами пожара, взрыва. Детерминированные критерии используются при невозможности применения вероятностных критериев.

На объектах наиболее опасными поражающими факторами пожара являются волна давления и расширяющиеся продукты сгорания при различных режимах сгорания газо-, паро- или пылевоздушного облака, а также тепловое излучение пожара.

Детерминированные критерии показывают значения параметров опасного фактора пожара, при которых наблюдается тот или иной уровень поражения людей.

В случае использования детерминированных критериев условная вероятность поражения принимается равной 1, если значение критерия превышает предельно допустимый уровень, и равной 0, если значение критерия не превышает предельно допустимый уровень поражения людей.

Вероятностные критерии показывают, какова условная вероятность поражения людей при заданном значении опасного фактора пожара.

							Лист
							20
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

Критерии оценки поражающего действия волны давления на здания и людей, а также теплового излучения на людей и горючие материалы приведены в приложении N 4 к Методике.

VI. Оценка влияния состава системы обеспечения пожарной безопасности зданий

30. При анализе влияния систем обеспечения пожарной безопасности на расчетные величины пожарного риска должны рассматриваться следующие мероприятия по обеспечению пожарной безопасности:

- а) мероприятия, направленные на предотвращение пожара;
- б) мероприятия по противопожарной защите;
- в) организационно-технические мероприятия по обеспечению пожарной безопасности.

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

VII. Определение значений индивидуального и социального пожарных рисков

32. Расчет значений индивидуального и социального пожарных рисков в зданиях и на территории объекта, а также в жилой зоне, общественно-деловой зоне или зоне рекреационного назначения вблизи объекта проводится с использованием в качестве промежуточной величины значения соответствующего потенциального пожарного риска.

33. Величина потенциального пожарного риска $P(a)$ (год⁻¹) (далее -

							Лист
							21
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

потенциальный риск) в определенной точке (а) как на территории объекта, так и в жилой зоне, общественно-деловой зоне или зоне рекреационного назначения вблизи объекта определяется по формуле:

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

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

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

Q_j - частота реализации в течение года j-го сценария развития пожароопасных ситуаций, год⁻¹.

Условные вероятности поражения человека $Q_{dj}(a)$ определяются по критериям поражения людей опасными факторами пожара, взрыва.

При расчете риска рассматриваются различные метеорологические условия с типичными направлениями ветров и ожидаемой частотой их возникновения.

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

$$Q_j = F_i \prod_{k=1}^{K_j} E_k, (2)$$

где F_i - частота реализации в течение года i-го начального события, год⁻¹;

K_j - число ключевых событий при развитии j-го сценария пожара,

							Лист
							22
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

связанного с возникновением i -ого начального события;

E_k - условная вероятность реализации k -го ключевого события.

34. В качестве начальных событий рассматриваются пожароопасные ситуации или пожары, возникающие вследствие:

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

б) появления источника зажигания, способного инициировать пожар горючих веществ и материалов, обращающихся на участке территории объекта, наружной установке, в здании.

35. Определение состава начальных событий осуществляется для каждого из участков территории объекта, наружной установки, здания (помещения) на основе объемно-планировочных и конструктивных решений, характера размещения технологического оборудования, свойств и характера размещения обращающихся и применяемых горючих веществ и материалов, возможности раздельной герметизации отдельных участков технологических систем, за исключением случаев, предусмотренных пунктом 41 настоящей Методики.

36. При проведении расчета риска рассматриваются различные пожароопасные ситуации, определяются зоны поражения опасными факторами пожара, взрыва и частоты реализации указанных пожароопасных ситуаций, за исключением случаев, предусмотренных пунктом 40 настоящей Методики. Для удобства расчетов территория местности разделяется на зоны, внутри которых величины $P(a)$ полагаются одинаковыми и равными максимальному значению величины $P(a)$ в этих зонах.

37. В необходимых случаях оценка условной вероятности поражения человека проводится с путем оценки совместного воздействия более чем одного опасного фактора. Для расчета условной вероятности поражения человека при реализации сценария, связанного с взрывом резервуара с

							Лист
							23
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

ЛВЖ под давлением, находящегося в очаге пожара, необходимо учитывать, кроме теплового излучения огненного шара, воздействие волны давления.

38. Условная вероятность поражения человека $Q_{dj}(a)$ от совместного независимого воздействия несколькими опасными факторами в результате реализации j -го сценария развития пожароопасных ситуаций определяется по формуле:

$$Q_{dj}(a) = 1 - \prod_{k=1}^h [1 - Q_k \cdot Q_{djk}(a)], \quad (3)$$

где h - число рассматриваемых опасных факторов;

Q_k - вероятность реализации k -го опасного фактора;

$Q_{djk}(a)$ - условная вероятность поражения k -ым опасным фактором.

39. Величина потенциального риска P_n (год⁻¹) в n -ом помещении определяется по формуле:

$$P_n = \sum_{j=1}^J Q_j \cdot L_{nj}, \quad (4)$$

где J - число расчетных сценариев развития пожара в здании;

Q_j - частота реализации в течение года j -го сценария пожара, год⁻¹;

L_{nj} - условная вероятность поражения человека при его нахождении в n -ом помещении при реализации j -го сценария пожара.

40. Для здания (помещения) в качестве расчетного допускается рассматривать один наиболее неблагоприятный сценарий пожара. При этом расчетная частота этого сценария пожара должна приниматься равной суммарной частоте реализации всех возможных в здании (помещении) сценариев пожара.

К наиболее неблагоприятному сценарию пожара следует относить

							Лист
							24
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

сценарий пожара, характеризующийся максимальной условной вероятностью поражения человека по отношению к другим сценариям пожара в здании (помещении).

Для определения расчетных сценариев пожара для помещения или пожароопасного участка в пределах помещения допускается рассматривать одно начальное событие. При этом развитие этого события должно привести к реализации наиболее неблагоприятного сценария пожара с частотой реализации, соответствующей суммарной частоте всех сценариев 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.

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

а) системы автоматического обнаружения утечек горючих веществ и иных систем обнаружения пожароопасных ситуаций;

б) системы аварийного отключения технологического оборудования, сброса избыточного давления, опорожнения оборудования и трубопроводов;

в) системы предотвращения образования взрывоопасных смесей горючих газов (паров);

г) средства ограничения распространения пожара и его опасных факторов;

							Лист
							25
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

д) установки водяного орошения;

е) системы противодымной защиты (далее - ПДЗ) рассматриваемого помещения и путей эвакуации совместно с системой пожарной сигнализации (далее - СПС);

ж) системы оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре (далее - СОУЭ) совместно с СПС;

з) автоматические установки пожаротушения (далее - АУП) в помещении очага пожара (совместно с СПС, в случае если предусматривается только принудительный пуск АУП при срабатывании СПС);

и) иные технические средства и мероприятия по обеспечению пожарной безопасности, учитывающие специфику здания (помещения).

42. При определении расчетных величин пожарного риска для находящихся в здании (помещении) людей должны учитываться технические средства и мероприятия, направленные на обеспечение пожарной безопасности находящихся (эвакуирующихся) из здания (помещения) людей, при этом может быть рассмотрен отказ только от одного из технических средств и мероприятий по обеспечению пожарной безопасности, перечисленных в подпунктах "е", "з" пункта 41 Методики и установленных нормативными документами по пожарной безопасности.

При определении условной вероятности поражения людей, находящихся в помещении очага пожара, не следует учитывать наличие в этом помещении СПС и СОУЭ (за исключением случаев, когда пожар не может быть обнаружен одновременно всеми находящимися в помещении людьми, при этом учитывается время, необходимое для срабатывания СОУЭ при оценке времени начала эвакуации), а также АУП, срабатывание которых допускается только после эвакуации находящихся в защищаемом помещении людей (в частности, при наличии установок газового пожаротушения).

							Лист
							26
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

43. При рассмотрении сценариев пожаров на АЭС требуется рассматривать сценарии пожара в блочном пункте управления АЭС (блочном щите управления) и эвакуации оперативного персонала на центральный щит управления (резервный щит управления), резервный пункт управления (блочный пункт управления).

44. На объектах с обращением радиоактивных веществ расчет пожарного риска в зоне их обращения (зона контролируемого доступа) должен проводиться с оценкой времени, затрачиваемого на эвакуацию через шлюзы и двери. Время эвакуации через шлюз определяется экспериментально.

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

$$L_{nj} = (1 - E_{nj}) \cdot (1 - S_{nj}) \cdot (1 - D_{nj}), (5)$$

где E_{nj} - вероятность эвакуации людей, находящихся в n -ом помещении, по эвакуационным путям при реализации j -го сценария пожара;

D_{nj} - вероятность эффективной работы технических средств по обеспечению пожарной безопасности n -го помещения при реализации j -го сценария;

S_{nj} - вероятность выхода людей, находящихся в n -ом помещении, через аварийные или иные выходы при реализации j -го сценария пожара.

При отсутствии данных вероятность S_{nj} следует принимать равной 0,03 при наличии аварийных или иных выходов и 0,001 при их отсутствии.

Вероятность эвакуации по эвакуационным путям E_{nj} определяется по формуле:

							Лист
							27
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

$$E_{nj} = \begin{cases} \frac{0,8 \cdot t_{\text{бл}nj} - t_{\text{п}nj}}{t_{\text{Н.Э}nj}}, & \text{если } t_{\text{п}nj} < 0,8 \cdot t_{\text{бл}nj} < t_{\text{п}nj} + t_{\text{Н.Э}nj} \\ 0,999, & \text{если } (t_{\text{п}nj} + t_{\text{Н.Э}nj} \leq 0,8 \cdot t_{\text{бл}nj}) \\ 0,001, & \text{если } t_{\text{п}nj} \geq 0,8 \cdot t_{\text{бл}nj} \end{cases}, \quad (6)$$

Вероятность эвакуации E_{nj} из помещений категорий ВЗ, В4, Г и Д по пожарной опасности, входящих в состав зданий или пожарных отсеков, площадь которых соответствует требованиям нормативных документов по пожарной безопасности допускается рассчитывать по формулам:

$$E_{nj} = 1 - \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{-\gamma_{nj}} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) dx, \quad (7)$$

$$\gamma_{nj} = \frac{0,8t_{\text{бл}nj} - t_{\text{п}nj} - t_{\text{Н.Э}nj}}{\sqrt{\sigma_{1nj}^2 + \sigma_{2nj}^2}}, \quad (8)$$

где $t_{\text{бл}nj}$ - 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), с;

$t_{\text{п}nj}$ - расчетное время эвакуации людей из n-го помещения при j-ом сценарии пожара, с;

$t_{\text{Н.Э}nj}$ - интервал времени от начала пожара до начала эвакуации людей из n-го помещения при j-ом сценарии пожара, с;

σ_{1nj} - стандартное отклонение расчетного времени эвакуации людей $t_{\text{п}nj}$ из n-го помещения при j-ом сценарии пожара, с;

							Лист
							28
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

σ_{1nj} - стандартное отклонение времени $t_{бл.nj}$ 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), с.

Стандартное отклонение σ_{1nj} определяется на основе имеющихся экспериментальных данных о стандартном отклонении расчетного времени эвакуации людей из зданий.

При отсутствии данных следует принимать σ_{1nj} равным:

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

0,3 $t_{р.nj}$ - в остальных случаях.

Стандартное отклонение σ_{2nj} определяется на основе анализа возможных в здании сценариев пожара с оценкой предусмотренного технологическим регламентом изменения параметров пожарной нагрузки как при ведении технологического процесса, так и проведении регламентных работ.

При отсутствии данных следует принимать σ_{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 в соответствии с пунктом 40 Методики;

0,3 $t_{бл.nj}$ - в остальных случаях.

Величина D_{nj} рассчитывается по формулам:

							Лист
							29
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

если пуск ПДЗ и СОУЭ предусматривается от СПС, а пуск АУП осуществляется независимо от СПС:

$$D_{nj} = 1 - (1 - D_{\text{АУП}}) \cdot \left[1 - D_{\text{СПС}} \cdot (1 - (1 - D_{\text{ПДЗ}}) \cdot (1 - D_{\text{СОУЭ}})) \right], \quad (9)$$

если пуск АУП, ПДЗ и СОУЭ предусматривается от СПС:

$$D_{nj} = D_{\text{СПС}} \cdot \left[1 - (1 - D_{\text{АУП}}) \cdot (1 - D_{\text{ПДЗ}}) \cdot (1 - D_{\text{СОУЭ}}) \right]. \quad (10)$$

Для более сложных схем пуска величину D_{nj} следует рассчитывать, используя метод логических деревьев.

46. При рассмотрении сценариев, связанных с факельным горением или пожаром пролива в помещении (помещениях), условная вероятность поражения человека L_{nj} в этом помещении принимается равной 1 в следующих случаях:

а) если длина пламени при факельном горении больше половины длины, ширины либо высоты помещения;

б) если площадь горящего пролива больше либо равна 50% площади помещения, или высота пламени больше либо равна высоте помещения.

В противном случае оценка условной вероятности поражения человека производится в соответствии с формулой (5) Методики.

47. При рассмотрении сценариев, связанных со сгоранием газо-, паро- или пылевоздушной смеси в помещении категории А или Б по взрывопожарной опасности, условная вероятность L_{nj} поражения человека в помещении здания принимается равной 1 при сгорании газо-, паро- или пылевоздушной смеси в этом помещении.

Размеры пламени при факельном горении и пожаре пролива определяются в соответствии с методами, указанными в приложении N 3 к

							Лист
							30
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

Методике.

При распространении опасных факторов пожара на пути эвакуации в зоне с обращением радиоактивных веществ вероятность поражения человека при эвакуации по этим путям принимается равной 1.

Интервал времени от начала пожара до начала эвакуации людей $t_{н.э}$ определяется по результатам исследования поведения людей при пожарах в зданиях конкретного назначения в зависимости от наличия и параметров СОУЭ. В качестве исследований допускается использовать выводы из результатов тренировок по эвакуации.

Если местом возникновения пожара является помещение, в котором отсутствуют препятствия (ограждения, технологическое оборудование, стеллажи, сложная геометрическая форма помещения и тому подобное), мешающие свободному визуальному осмотру всей площади помещения, где пожар может быть обнаружен одновременно всеми находящимися в нем людьми, время начала эвакуации людей ($t_{н.э}$) допускается принимать равным 0.

При наличии указанных препятствий время начала эвакуации необходимо принимать равным меньшему из значений времени начала эвакуации, полученных по формуле (11) и по формуле (12):

$$t_{н.э} = 5 + 0,01 \cdot F, (11)$$

где F - площадь помещения, m^2 .

Время начала эвакуации для зданий, оборудованных СПС (или АУП, выполняющими функцию СПС) и СОУЭ, определяется по формуле:

$$t_{н.э} = t_{пор} + t_{инерц}^{обн} + t_{инерц}^{СОУЭ} + t_{предв}, (12)$$

							Лист
							31
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

где $t_{\text{пор}}$ - время достижения порогового значения величины опасного фактора, порогового для срабатывания пожарного извещателя, с;

$t_{\text{инерц}}^{\text{обн}}$ - время задержки, связанное с инерционностью системы обнаружения пожара, с;

$t_{\text{инерц}}^{\text{СОУЭ}}$ - время задержки, связанное с задержкой оповещения людей при пожаре, с. Принимается равным нулю при одновременном оповещении людей в здании или определяется алгоритмом оповещения при поэтапном оповещении;

$t_{\text{предв}}$ - время проведения предварительных действий, предшествующих началу эвакуации, включающее время, необходимое на проведение регламентных операций при пожаре. Определяется в соответствии с должностными обязанностями персонала при пожаре. При отсутствии данных значение $t_{\text{предв}}$ следует принимать равным 30 с.

Определение времени достижения порогового значения срабатывания пожарного извещателя $t_{\text{пор}}$ и времени задержки, связанного с инерционностью системы обнаружения пожара $t_{\text{инерц}}^{\text{обн}}$, производится по методике определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и пожарных отсеках различных классов функциональной пожарной опасности, утвержденной приказом МЧС России от 14 ноября 2022 г. N 1140 <1> (далее - методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и пожарных отсеках различных классов функциональной пожарной опасности).

<1> Зарегистрирован Министерством юстиции Российской Федерации 20 марта 2023 г., регистрационный N 72633.

В случае отсутствия необходимых для расчета по формуле (12) данных величина $t_{\text{н.э}}$ принимается по таблице 1.

							Лист
							32
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

Время начала эвакуации из помещений

Для помещений при реализации сценариев пожара		
При срабатывании СОУЭ, мин	С отказом СОУЭ/при отсутствии СОУЭ	
	Для помещений на этаже пожара, мин	Для помещений на остальных этажах, мин
0,5	0,5	2,0

В случае, если для эвакуирующихся предусмотрено надевание и включение в средства индивидуальной защиты органов дыхания (далее - СИЗОД), то ко времени начала эвакуации следует прибавлять время, требуемое для надевания и включения в СИЗОД. Время, требуемое для надевания и включения в СИЗОД, принимается в соответствии с принятыми инструкциями и нормативами, а также может быть определено экспериментально. При отсутствии данных следует принимать это время равным 60 с.

48. Методы определения критической продолжительности пожара по опасным факторам пожара и расчетного времени эвакуации приведены в приложении N 5 к Методике.

Расчетное время эвакуации $t_{рнj}$ рассчитывается при максимально возможной расчетной численности людей в здании, определяемой на основе решений по организации эксплуатации здания. Допускается при расчете времени эвакуации принимать размещение людей в наиболее удаленной от эвакуационных выходов точке помещения.

Допускается определять расчетное время эвакуации на основе экспериментальных данных или использовать иные методы, содержащиеся в методике определения расчетных величин пожарного риска в зданиях,

сооружениях и пожарных отсеках различных классов функциональной пожарной опасности.

49. Время $t_{блнj}$ 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:

$$t_{блнj} = \min \{ t_{KP}^T, t_{KP}^{П.В.}, t_{KP}^{O_2}, t_{KP}^{Т.Г.} \}, \quad (13)$$

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;

$t_{KP}^{O_2}$ - 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.

Критические продолжительности пожара определяют по результатам расчета значений опасных факторов пожара на эвакуационных путях в различные моменты времени по методам, приведенным в приложении N 5 к Методике.

50. Индивидуальный пожарный риск (далее - индивидуальный риск)

							Лист
							34
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

для работников и посетителей (для объектов, где это обусловлено спецификой их функционирования, в частности, автозаправочные станции) объекта оценивается частотой поражения определенного работника и посетителя объекта опасными факторами пожара, взрыва в течение года.

Области, на которые разбита территория объекта, нумеруются:

$i = 1, \dots, I$.

Работники (посетители) объекта нумеруются:

$m = 1, \dots, M$.

Номер работника (посетителя) m однозначно определяет наименование должности работника, его категорию и другие особенности его профессиональной деятельности (действий посетителя), необходимой для оценки пожарной безопасности. Допускается проводить расчет индивидуального риска для работника объекта, относя его к одной категории наиболее опасной профессии, и для посетителя, относя его к группе посетителей, для которых угроза при нахождении на объекте максимальна.

51. Величина индивидуального риска R_m (год⁻¹) для работника (посетителя) m объекта при его нахождении на территории объекта определяется по формуле:

$$R_m = \sum_{i=1}^I q_{im} \cdot P(i), \quad (14)$$

где $P(i)$ - величина потенциального риска в i -ой области территории объекта, год⁻¹;

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

52. Величина индивидуального риска R_m (год⁻¹) для работника (посетителя) m при его нахождении в здании объекта, обусловленная

							Лист
							35
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

опасностью пожаров в здании, определяется по формуле:

$$R_m = \sum_{n=1}^N P_n \cdot q_{nm}, \quad (15)$$

где P_n - величина потенциального риска в n -ом помещении, год⁻¹;

q_{nm} - вероятность присутствия работника (посетителя) m в n -ом помещении;

N - число помещений в здании.

53. Индивидуальный риск работника (посетителя) m объекта определяется как сумма величин индивидуального риска при нахождении работника (посетителя) на территории и в зданиях объекта, определенных по формулам (14) и (15).

Индивидуальный риск работника (посетителя) m объекта при его нахождении в нескольких зданиях объекта определяется как сумма величин индивидуального риска при нахождении работника (посетителя) в каждом из зданий объекта, определенных по формуле (15).

54. Вероятности q_{im} и q_{nm} определяются исходя из доли времени нахождения рассматриваемого человека в i -ой области территории и (или) в n -ом помещении здания в течение года на основе решений по организации эксплуатации и технического обслуживания оборудования и зданий объекта.

55. Для людей, находящихся в жилой зоне, общественно-деловой зоне или зоне рекреационного назначения вблизи объекта, индивидуальный риск принимается на основе потенциального риска в этих зонах и доли времени присутствия людей в зданиях, прочих открытых территориях, расположенных в жилой, общественно-деловой или рекреационной зонах вблизи производственного объекта и вычисляется по формуле:

							Лист
							36
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

$$R_i = P_i \cdot q_i, (16)$$

где P_i - величина потенциального риска в месте расположения указанных зданий, а также прочих открытых территорий в жилой, общественно-деловой или рекреационной зонах, год⁻¹;

q_i - доля времени присутствия, принимаемая:

для зданий класса функциональной пожарной опасности Ф1 - 1;

для зданий классов функциональной пожарной опасности Ф2, Ф3, Ф4 и Ф5 - доля времени присутствия людей в соответствии с организационно-распорядительными документами для этих зданий;

для прочих открытых территорий в общественно-деловой или рекреационных зонах определяется на основе времени нахождения в них людей, а при отсутствии сведений ее следует принимать равной 1.

Социальный пожарный риск (далее - социальный риск) принимается равным частоте возникновения событий, ведущих к гибели 10 и более человек.

Для людей, находящихся в жилой, общественно-деловой или рекреационной зонах вблизи объекта, социальный риск S (год⁻¹;) определяется по формуле:

$$S = \sum_{j=1}^L Q_j, (17)$$

где L - число сценариев развития пожароопасных ситуаций (пожаров), для которых выполняется условие $N_j \geq 10$;

N_j - среднее число погибших людей в жилой, общественно-деловой или рекреационной зонах вблизи объекта в результате реализации j -го сценария в результате воздействия опасных факторов пожара, взрыва.

							Лист
							37
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

56. Величина N_j определяется по формуле:

$$N_j = \sum_{i=1}^I Q_{dij} \cdot n_i, (18)$$

где I - количество областей, на которые разделена территория, прилегающая к объекту (i - номер области);

Q_{dij} - условная вероятность поражения человека, находящегося в i -ой области, опасными факторами при реализации j -го сценария;

n_i - среднее число людей, находящихся в i -ой области.

57. Величина потенциального риска $P(r)$ (год^{-1}) в определенной точке на расстоянии r от оси магистрального трубопровода определяется по формуле:

$$P(r) = \sum_{j=1}^{J_0} \sum_{k=1}^{K_0} \lambda_j(m) Q_{jk} \int_{x_{1jk}}^{x_{2jk}} Q_{nopjk}(x, r) dx, (19)$$

где $\lambda_j(m)$ - удельная частота разгерметизации линейной части магистрального трубопровода для j -го типа разгерметизации на участке m магистрального трубопровода, $\text{год}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$;

K_0 - число сценариев развития пожароопасной ситуации или пожара. При этом подлежат рассмотрению для каждого типа разгерметизации следующие сценарии: факельное горение, пожар пролива (для истечения жидкой фазы), пожар-вспышка, сгорание газопаровоздушной смеси в открытом пространстве;

J_0 - число рассматриваемых типов разгерметизации;

Q_{jk} - условная вероятность реализации k -го сценария развития пожароопасной ситуации (пожара) для j -го типа разгерметизации;

$Q_{nopjk}(x, r)$ - условная вероятность поражения человека в

							Лист
							38
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

рассматриваемой точке на расстоянии r от оси магистрального трубопровода в результате реализации k -го сценария развития пожароопасной ситуации (пожара), произошедшей на участке магистрального трубопровода с координатой x , расположенной в пределах участка влияния k -го сценария развития пожара для j -го типа разгерметизации;

X_{1jk} , X_{2jk} - координаты начала и окончания участка влияния. Границы участка влияния определяются для k -го сценария развития пожароопасной ситуации (пожара) из условия, что зона поражения опасными факторами пожара (взрыва) при аварии на магистральном трубопроводе за пределами этого участка не достигает рассматриваемой точки на расстоянии r от оси магистрального трубопровода. Допускается интегрирование проводить по всей длине трубопровода.

Метод определения удельных частот различных типов разгерметизации магистрального трубопровода приведен в приложении N 6 к Методике.

Число рассматриваемых сценариев развития пожароопасной ситуации (пожара) при разгерметизации линейной части магистрального трубопровода, условные вероятности Q_{jk} и $Q_{порjk}(x, r)$ определяются в зависимости от специфики пожарной опасности магистрального трубопровода и транспортируемого вещества.

58. Индивидуальный риск для работников, обслуживающих линейную часть магистрального трубопровода, определяется в соответствии с пунктом 32 Методики.

Для людей, находящихся в жилой, общественно-деловой или рекреационной зонах вблизи линейной части магистрального трубопровода, индивидуальный риск определяется в соответствии с пунктом 55 Методики.

59. Для людей, находящихся в жилой, общественно-деловой зоне или

							Лист
							39
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

рекреационной зоне вблизи линейной части магистрального трубопровода, социальный риск S (год⁻¹) определяется по формуле:

$$S = \max\{S_1, S_2, \dots, S_p, \dots, S_Q\}, \quad (20)$$

где S_1, S_2, S_p, S_Q - величины социального риска для различных потенциально опасных участков линейной части магистрального трубопровода, (год⁻¹), определяемые в соответствии с пунктами 55 и 56 Методики;

Q - количество потенциально опасных участков линейной части магистрального трубопровода.

Количество потенциально опасных участков линейной части магистрального трубопровода определяется на основе анализа плана трассы магистрального трубопровода и прилегающей к ней территории. Границы потенциально опасных участков линейной части магистрального трубопровода определяются из условия расположения вблизи них территорий городских и сельских поселений, зданий, не относящихся к магистральному трубопроводу, расположенных на расстоянии менее значений, регламентированных нормативными документами по пожарной безопасности.

							Лист
							40
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

Значения расчетных величин пожарного риска для объекта защиты

Расчет значений потенциального риска для объекта "ТРК (ЛВЖ и ГЖ)"

Раздаточный рукав с веществом Бензин АИ-100



Рисунок 1 – Дерево развития пожароопасных событий для инициирующего события Разгерметизация, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 5мм

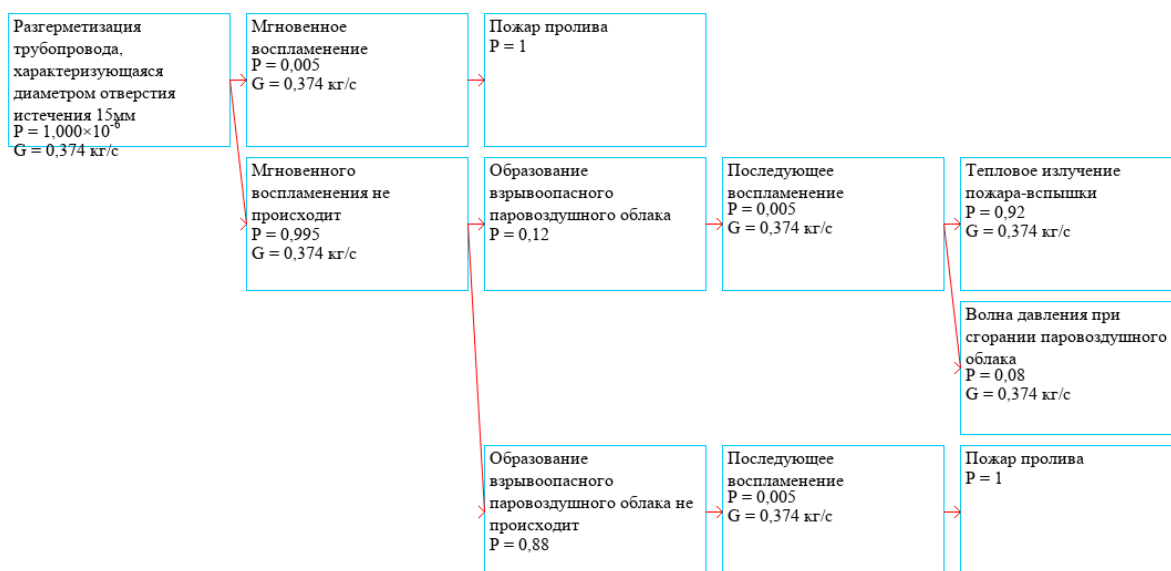


Рисунок 2 – Дерево развития пожароопасных событий для инициирующего события Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 15мм



Рисунок 3 – Дерево развития пожароопасных событий для инициирующего события Разрыв

Таблица 14 – Перечень пожароопасных ситуаций и пожаров и сценариев их развития (ТРК (ЛВЖ и ГЖ))

№ сценария	Иницирующие событие пожароопасной ситуации/пожара	Наименование пожароопасной ситуации/пожара	Учетные коэффициенты	Вероятность
A.1	Разгерметизация, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 5мм	Пожар пролива	$P_T=0.6$ $P_C=0.8$	$5,200 \times 10^{-9}$
A.2	Разгерметизация, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 5мм	Тепловое излучение пожара-вспышки	$P_C=0.8$	$1,428 \times 10^{-9}$
A.3	Разгерметизация, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 5мм	Волна давления при сгорании паровоздушного облака	$P_C=0.8$	$1,242 \times 10^{-10}$
A.4	Разгерметизация, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 5мм	Пожар пролива	$P_T=0.6$ $P_C=0.8$	$4,553 \times 10^{-9}$
A.5	Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 15мм	Пожар пролива	$P_T=0.6$ $P_C=0.8$	$4,000 \times 10^{-10}$
A.6	Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 15мм	Тепловое излучение пожара-вспышки	$P_C=0.8$	$1,098 \times 10^{-10}$

A.7	Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 15мм	Волна давления при сгорании паровоздушного облака	$P_c=0.8$	$9,552 \times 10^{-12}$
A.8	Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 15мм	Пожар пролива	$P_T=0.6$ $P_c=0.8$	$3,502 \times 10^{-10}$
A.9	Разрыв	Пожар пролива	$P_T=0.6$ $P_c=0.8$	$1,120 \times 10^{-7}$
A.10	Разрыв	Тепловое излучение пожара-вспышки	$P_c=0.8$	$2,535 \times 10^{-8}$
A.11	Разрыв	Волна давления при сгорании паровоздушного облака	$P_c=0.8$	$8,004 \times 10^{-9}$
A.12	Разрыв	Пожар пролива	$P_T=0.6$ $P_c=0.8$	$9,783 \times 10^{-8}$

где P_T – вероятность эффективного срабатывания системы пожаротушения, P_c – вероятность эффективного срабатывания системы пожарной сигнализации.

Расчет необходимых параметров для сценариев с инициирующим событием Разгерметизация, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 5мм

Общая площадь отверстия истечения (с учетом площади сечения трубопровода и образовавшегося отверстия) определялась по формуле:

$$S_{об} = \pi R_T^2 + \pi (D_{hol}/2)^2 \quad (1)$$

где R_T – внутренний радиус трубопровода, м;
 D_{hol} – диаметр образовавшегося отверстия.

$$S_{об} = 3,14 \cdot 0,01^2 + 3,14 \cdot (5/1000/2)^2 = 3,338 \times 10^{-4} \text{ м}^2$$

Таким образом, расход жидкости из образовавшегося отверстия будет равняться:

$$q_{от} = q/S_{об} \cdot \pi (D_{hol}/2)^2 \quad (2)$$

$$q_{от} = 4,8/3,338 \times 10^{-4} \times 3,14 \cdot (5/1000/2)^2 = 0,282 \text{ м}^3/\text{час}$$

Объем поступившей жидкости из трубопровода до его отключения

							Лист
							43
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

определялся по формуле А.9 [3]:

$$V_1 = qT \quad (3)$$

где q – расход жидкости, $\text{м}^3 \times \text{час}^{-1}$;
 T – время аварийного отключения, с.

$$V_1 = 0,282/3600 \times 120 = 0,16 \text{ м}^3$$

Объем вещества, вышедшего из трубопровода после его отключения, определялся по формуле:

$$V_2 = \pi R^2 L \quad (4)$$

где R – внутренний радиус трубопровода, м^2 ;
 L – длина трубопровода, м.

$$V_2 = 3,14 \times 0,01^2 \times 4 = 0,001 \text{ м}^3$$

Общий объем поступившего вещества определялся по формуле А.8 [3]:

$$V = V_{1T} + V_{2T} \quad (5)$$

$$V = 0,16 + 0,001 = 0,161 \text{ м}^3$$

Площадь пролива определялась по формуле ПЗ.27 [2]:

$$F_{\text{ПР}} = f_p V_{\text{ж}} \quad (6)$$

где f - удельная площадь розлива, $\text{м}^2/\text{литр}$;
 $V_{\text{ж}}$ - объем вышедшей жидкости, м^3 .

$$F_{\text{п}} = 150 \times 0,161 = 24,188 \text{ м}^2$$

Масса, пролива при расчетной аварии определялась по формуле П.3.23 [2]:

$$m_a = \rho_L \times V_R \quad (7)$$

$$m_{\text{п}} = 0,161 \times 780 = 125,78 \text{ кг}$$

Давление насыщенного пара при расчетной температуре жидкости

							Лист
							44
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

определялась по формуле П.4.68.1 [4]:

$$P_H = 10^{A-B/(T_p+Ca)} \quad (8)$$

где А, В, Са - константа уравнения Антуана;
Т_р - расчётная температура, °С.

$$P_H = 10^{5,645-890,461/(38+302,468)} = 1070,797 \text{ кПа}$$

Интенсивность испарения W определяется по формуле П.3.68 [2]:

$$W = 10^{-6} * \eta \sqrt{M} \times P_H \quad (9)$$

где η - коэффициент, принимаемый по таблице А.2 в зависимости от скорости и температуры воздушного потока над поверхностью испарения;
Р_н - давление насыщенного пара при расчетной температуре жидкости, кПа.

$$W = 10^{-6} \times 1 \times 101,1^{0.5} \times 1070,797 = 0,011$$

Время полного испарения жидкости определялась по формуле:

$$T = m/(F_{\text{и}} W) \quad (10)$$

$$T = 125,78/(24,188 \times 0,011) = 482,971 \text{ с}$$

Масса испарившейся жидкости определялась по формуле А.12 [3]:

$$m = W F_{\text{и}} T \quad (11)$$

$$m = 0,011 \times 24,188 \times 482,971 = 125,78 \text{ кг}$$

Расчет необходимых параметров для сценариев с иницирующим событием Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 15мм

$$S_{\text{об}} = 3,14 \times 0,01^2 + 3,14 \times (15/1000/2)^2 = 4,909 \times 10^{-4} \text{ м}^2$$

$$q_{\text{от}} = 4,8/4,909 \times 10^{-4} \times 3,14 \times (15/1000/2)^2 = 1,728 \text{ м}^3/\text{час}$$

$$V_1 = 1,728/3600 \times 120 = 0,16 \text{ м}^3$$

$$V_2 = 3,14 \times 0,01^2 \times 4 = 0,001 \text{ м}^3$$

$$V = 0,16 + 0,001 = 0,161 \text{ м}^3$$

$$F_{\text{п}} = 150 \times 0,161 = 24,188 \text{ м}^2$$

$$m_{\text{п}} = 0,161 \times 780 = 125,78 \text{ кг}$$

							Лист
							45
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

$$P_H = 10^{5,645-890,461/(38+302,468)} = 1070,797 \text{ кПа}$$

$$W = 10^{-6} \times 1 \times 101,1^{0.5} \times 1070,797 = 0,011$$

$$T = 125,78 / (24,188 \times 0,011) = 482,971 \text{ с}$$

$$m = 0,011 \times 24,188 \times 482,971 = 125,78 \text{ кг}$$

Расчет необходимых параметров для сценариев с иницирующим событием Разрыв

$$S_{об} = 3,14 \times 0,01^2 + 3,14 \times (20/1000/2)^2 = 6,283 \times 10^{-4} \text{ м}^2$$

$$q_{от} = 4,8 / 6,283 \times 10^{-4} \times 3,14 \times (20/1000/2)^2 = 2,4 \text{ м}^3/\text{час}$$

$$V_1 = 2,4 / 3600 \times 120 = 0,16 \text{ м}^3$$

$$V_2 = 3,14 \times 0,01^2 \times 4 = 0,001 \text{ м}^3$$

$$V = 0,16 + 0,001 = 0,161 \text{ м}^3$$

$$F_H = 150 \times 0,161 = 24,188 \text{ м}^2$$

$$m_H = 0,161 \times 780 = 125,78 \text{ кг}$$

$$P_H = 10^{5,645-890,461/(38+302,468)} = 1070,797 \text{ кПа}$$

$$W = 10^{-6} \times 1 \times 101,1^{0.5} \times 1070,797 = 0,011$$

$$T = 125,78 / (24,188 \times 0,011) = 482,971 \text{ с}$$

$$m = 0,011 \times 24,188 \times 482,971 = 125,78 \text{ кг}$$

Определение интенсивности теплового излучения пожара пролива (сценарий № А.1, А.4, А.5, А.8, А.9, А.12)

Принята максимальная скорость ветра, соответствующая выбранному региону: 3,9 м/с.

Скорость ветра: 3,9 м/с.

Плотность насыщенных паров топлива при температуре кипения определялась по уравнению Менделеева-Клапейрона:

$$\rho_p = p \times M / (R \times T_{кип}) \quad (12)$$

где p - атмосферное давление, кПа;

M - молярная масса г/моль;

R - универсальная газовая постоянная (8,31 Дж/(моль $\times$ К));

$T_{кип}$ - температура кипения вещества, К.

							Лист
							46
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

$$\rho_{\text{п}} = 101,3 \times 101,1 / (8,31 \times (273,15 + 68)) = 3,613 \text{ кг/м}^3.$$

Эффективный диаметр пролива d определялся по формуле ПЗ.58 [2]:

$$d = \sqrt{\frac{4 \times F}{\pi}} \quad (13)$$

где F - площадь пролива, м.

$$d = (4 \times 24,188 / 3,14)^{0,5} = 5,551 \text{ м.}$$

Значения среднеповерхностной интенсивности теплового излучения пламени E_f и удельной массовой скорости выгорания m' принимались путем интерполяции значений таблицы ПЗ.4 [1]:

$$m' = 0,06 \text{ кг/(м}^2 \times \text{с)};$$

$$E_f = 60 \text{ кВт/м}^2.$$

Параметр u_* определялся по формуле ПЗ.60 [2]:

$$u_* = \frac{w_0}{\sqrt[3]{\frac{m' \times g \times d}{\rho_{\text{п}}}}} \quad (14)$$

где $\rho_{\text{п}}$ - плотность насыщенных паров топлива при температуре кипения, кг/м³;

w_0 - скорость ветра м/с;

g - ускорение свободного падения (9,81 м/с²).

$$u_* = 3,9 / (0,06 \times 9,81 \times 5,551 / 3,613)^{1/3} = 4,033.$$

Плотность окружающего воздуха ρ определялась по уравнению Менделеева-Клайперона:

$$\rho = p \times M / (R \times T) \quad (15)$$

где p - плотность атмосферное давление, кПа;

M - молярная масса г/моль (для воздуха 28,98);

R - универсальная газовая постоянная (8,31 Дж/(моль $\times$ К));

T - температура окружающей среды, К.

$$\rho_a = 101,3 \times 28,98 / (8,31 \times (273,15 + 38)) = 1,135 \text{ кг/м}^3.$$

Так как $u_* \geq 1$ длина пламени L определялась по формуле ПЗ.59 [2]:

							Лист
							47
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

$$L = 55 \times d \left(\frac{m'}{\rho_a \sqrt{g \times d}} \right)^{0,67} \times u_*^{-0,21} \quad (16)$$

где ρ_a - плотность окружающего воздуха, кг/м³.

$$L = 55 \times 5,551 \times (0,06 / (1,135 \times (9,81 \times 5,551)^{0,5})^{0,67}) \times 4,033^{-0,21} = 8,325 \text{ м.}$$

Угол отклонения пламени по вертикали определялся по формуле ПЗ.61 [2]:

$$\cos \theta = \begin{cases} 1, \text{ при } u_* < 1 \\ u_*^{-0,5}, \text{ при } u_* \geq 1 \end{cases} \quad (17)$$

$$\theta = \arccos(u_*^{-0,5}) = 1,05 \text{ рад.}$$

Время выгорания горючего вещества:

$$T_b = 125.78017690792 / 0.06 / 24.188495559215 = 86.666666666667 \text{ с.}$$

Параметр а определялся по формуле ПЗ.57 [2]:

$$a = \frac{2 \times L}{d} \quad (18)$$

Параметр b определялся по формуле ПЗ.57.1 [2]:

$$b = \frac{2 \times X}{d} \quad (19)$$

Параметр А определялся по формуле ПЗ.57.2 [2]:

$$A = \sqrt{(a^2 + (b + 1)^2 - 2 \times a \times (b + 1) \times \sin \theta)} \quad (20)$$

Параметр В определялся по формуле ПЗ.57.3 [2]:

$$B = \sqrt{(a^2 + (b - 1)^2 - 2 \times a \times (b - 1) \times \sin \theta)} \quad (21)$$

Параметр С определялся по формуле ПЗ.57.4 [2]:

$$C = \sqrt{(1 + (b^2 - 1) \cos^2 \theta)} \quad (22)$$

Параметр D определялся по формуле ПЗ.57.5 [2]:

							Лист
							48
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

$$D = \sqrt{\left(\frac{b-1}{b+1}\right)} \quad (23)$$

Параметр E определялся по формуле ПЗ.57.6 [2]:

$$E = \frac{a \times \cos\theta}{b - a \times \sin\theta} \quad (24)$$

Параметр F определялся по формуле ПЗ.57.7 [2]:

$$F = \sqrt{(b^2 - 1)} \quad (25)$$

Коэффициент пропускания атмосферы τ для пожара пролива определялся по формуле ПЗ.62 [2]:

$$\tau = \exp[-7 \times 10^{-4}(X - 0,5 \times d)] \quad (26)$$

где X - расстояние от геометрического центра пролива до облучаемого объекта, м.

Фактор облученности для вертикальных площадок F_v определялся по формуле ПЗ.55 [2]:

$$F_v = \frac{1}{\pi} \times \left\{ -E \times \arctg D + E \times \left[\frac{a^2 + (b+1)^2 - 2 \times b \times (1 + a \times \sin\theta)}{A \times B} \right] \right. \quad (27)$$

$$\times \arctg\left(\frac{A \times D}{B}\right) + \frac{\cos\theta}{C}$$

$$\times \left[\arctg\left(\frac{a \times b - F^2 \times \sin\theta}{F \times C}\right) + \arctg\left(\frac{F^2 \times \sin\theta}{F \times C}\right) \right] \left. \right\}$$

Фактор облученности для горизонтальных площадок F_v определялся по формуле ПЗ.56 [2]:

							Лист
							49
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

$$F_H = \frac{1}{\pi} \times \left\{ \arctg\left(\frac{1}{D}\right) + \frac{\sin\theta}{C} \right. \\ \times \left[\arctg\left(\frac{a \times b - F^2 \times \sin\theta}{F \times C}\right) + \arctg\left(\frac{F^2 \times \sin\theta}{F \times C}\right) \right] \\ - \left[\frac{a^2 + (b+1)^2 - 2 \times (b+1 + a \times b \times \sin\theta)}{A \times B} \right] \\ \left. \times \arctg\left(\frac{A \times D}{B}\right) \right\} \quad (28)$$

Угловой коэффициент облученности F_q определялся по формуле ПЗ.54 [2]:

$$F_q = \sqrt{F_V^2 + F_H^2} \quad (29)$$

Интенсивность теплового излучения q , кВт/м² определялся по формуле ПЗ.52 [2]:

$$q = E_f \times F_q \times \tau \quad (30)$$

Интенсивность теплового излучения рассчитывалась до значения 1.4 кВт (Без негативных последствий в течение длительного времени).

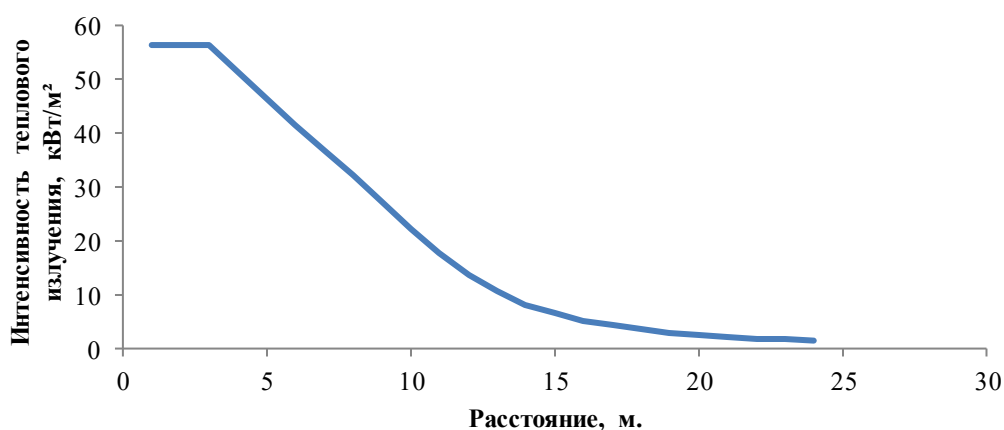


Рисунок 4 – График интенсивности теплового излучения

							Лист
							50
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

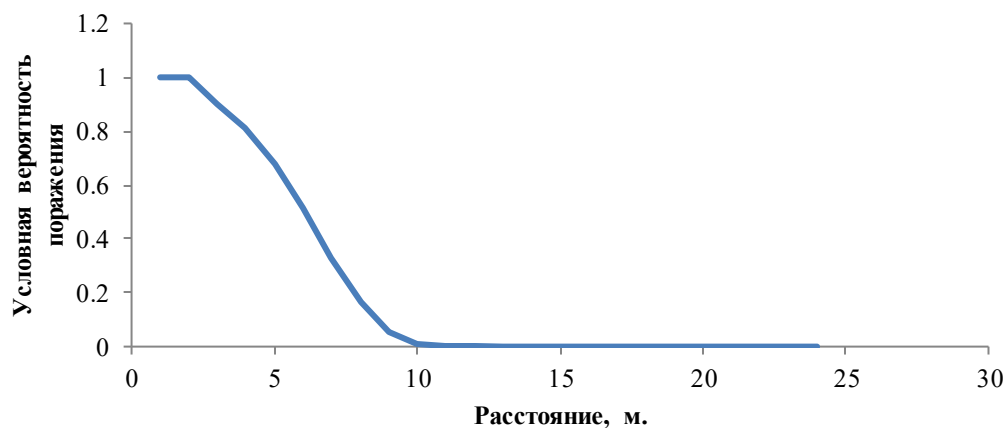


Рисунок 5 – Условная вероятность поражения от расстояния

Определение параметров волны давления при сгорании паровоздушного облака (сценарий № А.3,А.7,А.11)

Ожидаемый режим сгорания облака определялся согласно таблице ПЗ.3 [1]:

класс 5 - дефлаграция.

Видимая скорость фронта пламени U , определяется для рассматриваемого режима по формуле ПЗ.37 [2]:

$$u = k_1 \times M^{1/6} \quad (31)$$

где k_1 - константа, равная 26;

M - масса горючего вещества содержащегося в облаке, кг.

$$u = 43 \times 125,78^{1/6} = 96,251 \text{ м/с}$$

Удельное энерговыделение $E_{уд}$ определялось по формуле:

$$E_{уд} = \beta E_{уд0} \quad (32)$$

где β - корректировочный параметр;

$E_{уд0}$ - удельная теплота сгорания типичных углеводородов (44)

$$E_{уд} = 1 \times 44 = 44 \text{ МДж/кг}$$

Эффективный энергозапас, определялся с учетом удвоения энергозапаса, по формуле ПЗ.36 [2]:

$$E = M_T E_{уд} \times 2 \quad (33)$$

							Лист
							51
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

$$E = 44 \times 125,78 \times 10^6 \times 2 = 110 \times 10^8 \text{ Дж}$$

Безразмерное расстояние от центра облака R_x определялось по формуле ПЗ.39 [2]:

$$R_x = R / (E / P_0)^{1/3} \quad (34)$$

где R - расстояние от центра облака, м;
 P_0 - атмосферное давление, Па;
 E - эффективный энергозапас смеси, Дж.

Значение параметра W определялось по формуле ПЗ.46 [2]:

$$W = \frac{u}{C_0} \left(\frac{\sigma - 1}{\sigma} \right) \quad (35)$$

где σ - степень расширения продуктов сгорания (для газопаровоздушных смесей допускается принимать 7);
 u - видимая скорость фронта пламени, м/с;
 C_0 - скорость звука м/с.

Величины безразмерного давления P_{x1} определялись по формуле ПЗ.44 [2]:

$$P_{x1} = \left(\frac{u^2}{C_0^2} \right) \times \left(\frac{\sigma - 1}{\sigma} \right) \times \left(\frac{0,83}{R_x} - \frac{0,14}{R_x^2} \right) \quad (36)$$

Величины безразмерного давления I_{x1} определялись по формуле ПЗ.45 [2]:

$$I_{x1} = W \times (1 - 0,4 \times W) \times \left(\frac{0,06}{R_x} + \frac{0,01}{R_x^2} - \frac{0,0025}{R_x^3} \right) \quad (37)$$

Величины безразмерного давления P_{x2} определялось по формуле ПЗ.40 [2]:

$$\ln(P_{x2}) = -0.9278 - 1.5415 \ln(R_x) + 0.1953 (\ln(R_x))^2 - 0.4818 (\ln(R_x))^3 \quad (38)$$

Величины безразмерного давления I_{x2} определялись по формуле ПЗ.41 [2]:

							Лист
							52
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

$$\ln(I_{x2}) = \begin{cases} -3,3228 - 1,3689 \cdot \ln(R_x) - 0,9057 \cdot \ln(R_x)^2 - 0,4818 \cdot \ln(R_x)^3, & R_x \in [0,2; 0,8]; \\ -3,2656 - 0,9641 \cdot \ln(R_x) - 0,0108 \cdot \ln(R_x)^2, & R_x \in [0,8; 50]. \end{cases} \quad (39)$$

Окончательные значения P_x и I_x выбираются из условий:

$$P_x = \min(P_{x1}, P_{x2}); I_x = \min(I_{x1}, I_{x2}) \quad (40)$$

Размерная величина избыточного давления P определялась по формуле ПЗ.42 [2]:

$$\Delta P = P_x P_0 \quad (41)$$

Размерная величина импульса фазы сжатия I^+ определялась по формуле ПЗ.43 [2]:

$$I^+ = I_x P_0^{2/3} E^{1/3} / C_0 \quad (42)$$

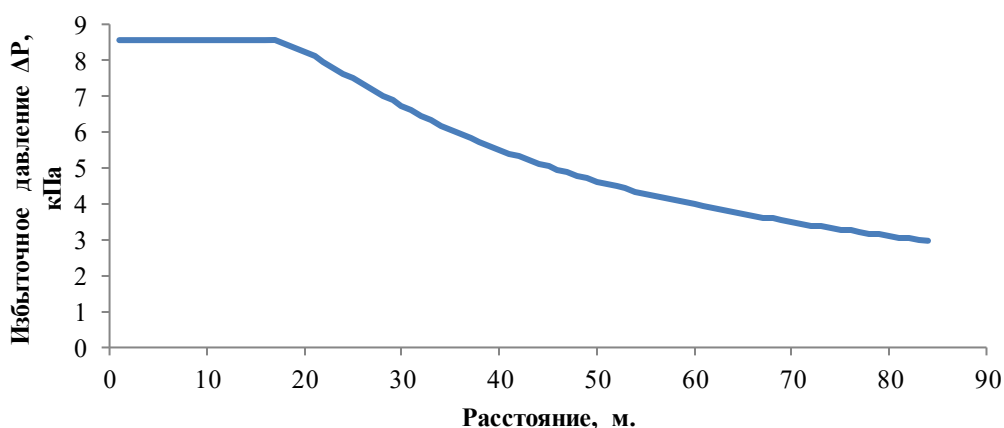


Рисунок 6 – График параметров сгорания паровоздушного облака с избыточным давлением

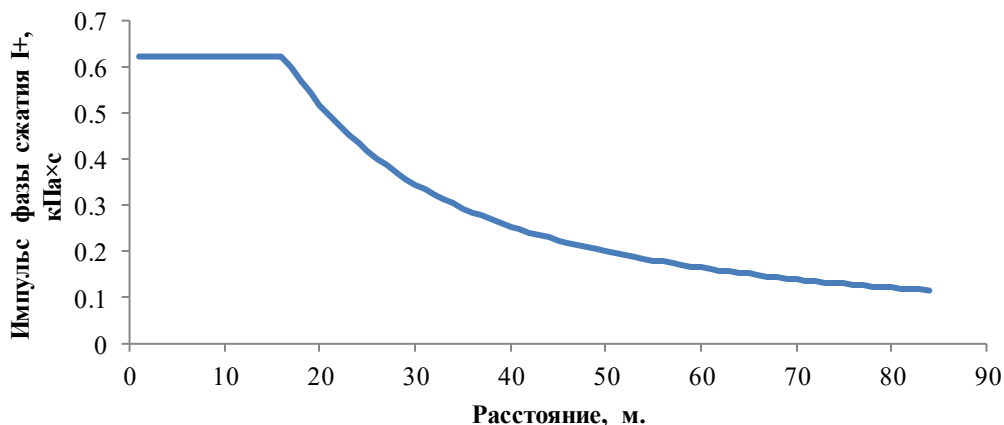


Рисунок 7 – График параметров сгорания паровоздушного облака с избыточным давлением

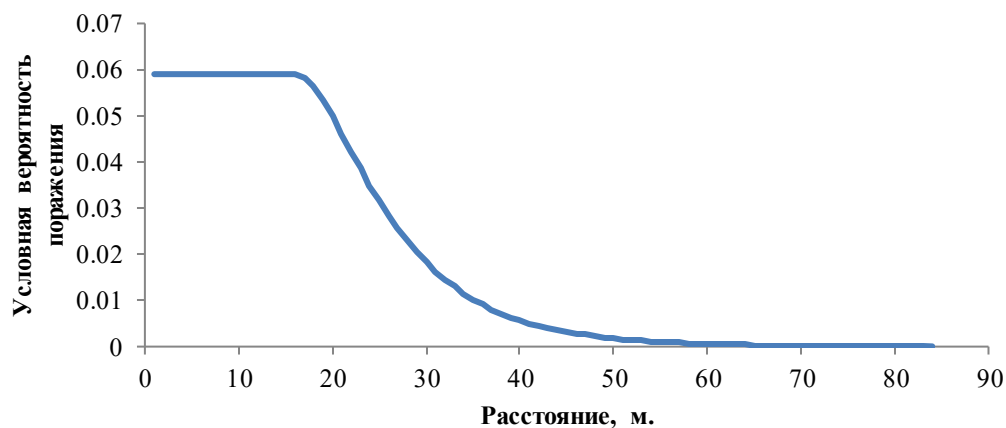


Рисунок 8 – Условная вероятность поражения от расстояния

Расчет радиуса воздействия продуктов сгорания паровоздушного облака в случае воздействия пожара-вспышки (сценарий № А.2,А.6,А.10)

Плотность вещества ρ при расчетной температуре и атмосферном давлении вычислялась по формуле А.2 [3]:

$$\rho = \frac{M}{V_0 \times (1 + 0,00367 \times t_p)} \quad (43)$$

где M – молярная масса, $\text{м}^3 \times \text{кмоль}^{-1}$;
 V_0 – мольный объем, равный $22,413 \text{ м}^3 \times \text{кмоль}^{-1}$;
 t_p – расчетная температура, $^{\circ}\text{C}$.

$$\rho = 101,1/22,413 \times (1+0,00367 \times 38)) = 3,959 \text{ кг} \times \text{м}^{-3}$$

Радиус $R_{\text{НКПР}}$, ограничивающий область концентраций, превышающих нижний концентрационный предел распространения племени, определялся по формуле ПЗ.32 [2]:

$$R_{\text{НКПР}} = 7,8 \left(\frac{m}{\rho \times C_{\text{НКПР}}} \right)^{0,33} \quad (44)$$

где m - масса вещества поступившего в открытое пространство при пожароопасной ситуации, кг;
 ρ - плотность горючего газа при расчетной температуре и атмосферном давлении, $\text{кг}/\text{м}^3$;
 $C_{\text{НКПР}}$ - нижний концентрационный предел распространения пламени, % об.

$$R_{\text{НКПР}} = 7,8 \times (125,78/3,959/0,83)^{0,33} = 25,97 \text{ м.}$$

							Лист
							54
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

Высота $Z_{\text{НКПР}}$ ограничивающая область концентраций, превышающих нижний концентрационный предел распространения племени, определялась по формуле ПЗ.33 [2]:

$$Z_{\text{НКПР}} = 0,26 \times \left(\frac{m}{\rho \times C_{\text{НКПР}}} \right)^{0,33} \quad (45)$$

где m - масса вещества поступившего в открытое пространство при пожароопасной ситуации, кг;

ρ - плотность ГГ или паров ЛВЖ при расчетной температуре и атмосферном давлении, кг/м³;

$C_{\text{НКПР}}$ - нижний концентрационный предел распространения пламени, % об.

$$Z_{\text{НКПР}} = 0,26 \times (125,78 / 3,959 / 0,83)^{0,33} = 0,87 \text{ м.}$$

Радиус воздействия высокотемпературных продуктов сгорания при пожаре вспышке R_F определялся по формуле:

$$R_F = 1,2 R_{\text{НКПР}} \quad (46)$$

$$R_F = 1,2 \times 25,97 = 31,16 \text{ м.}$$

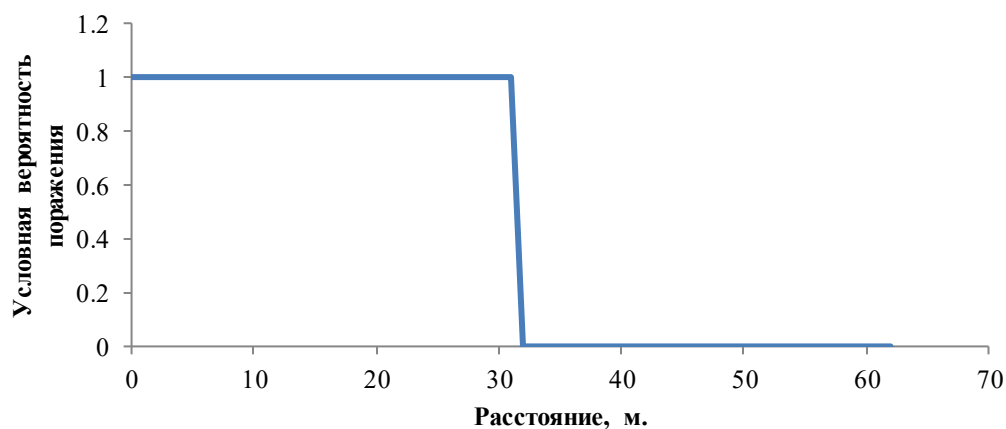


Рисунок 9 – Условная вероятность поражения от расстояния

							Лист
							55
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

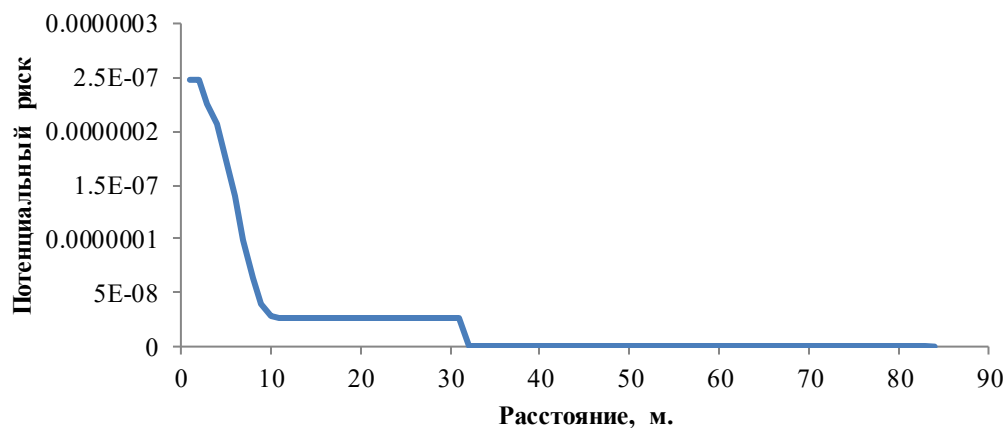


Рисунок 10 – График потенциального риска для объекта ТРК (ЛВЖ и ГЖ) (раздаточный рукав с веществом Бензин АИ-100)

Раздаточный рукав с веществом Бензин АИ-95

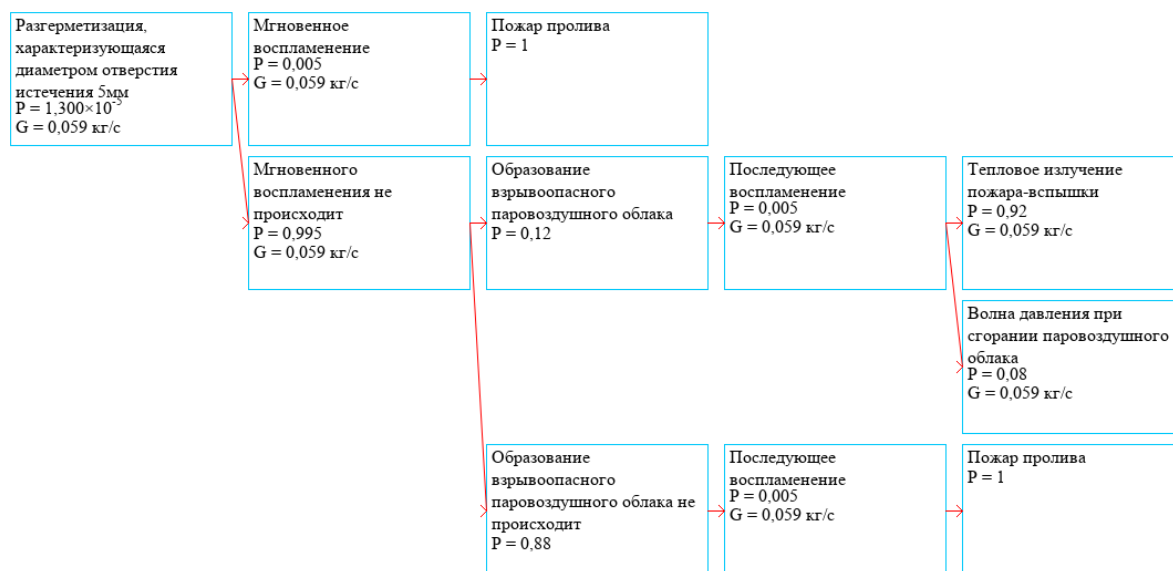


Рисунок 11 – Дерево развития пожароопасных событий для инициирующего события Разгерметизация, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 5мм

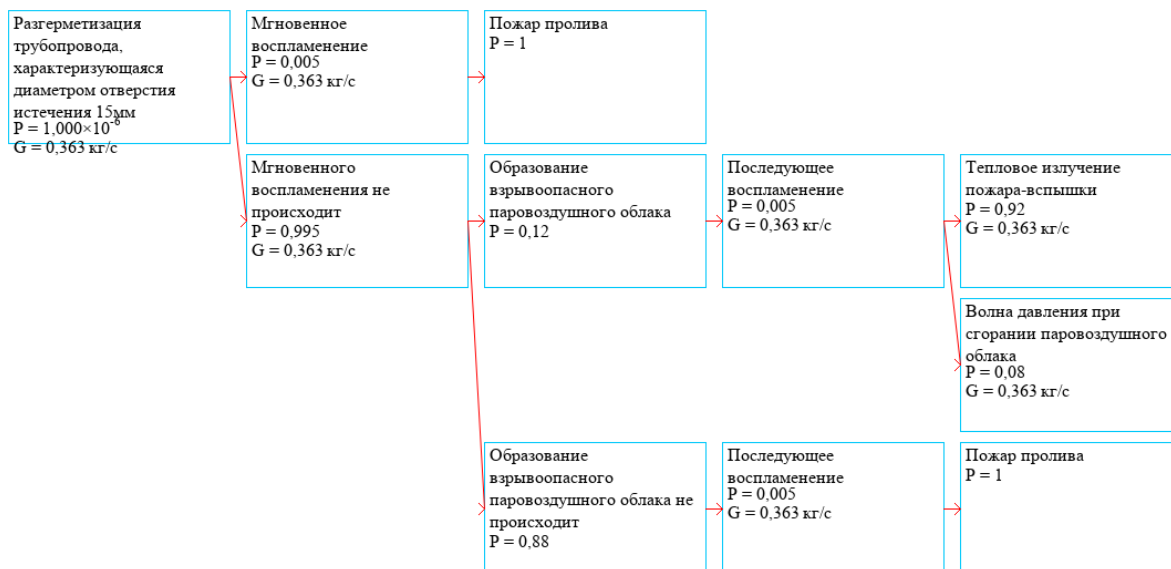


Рисунок 12 – Дерево развития пожароопасных событий для инициирующего события Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 15мм

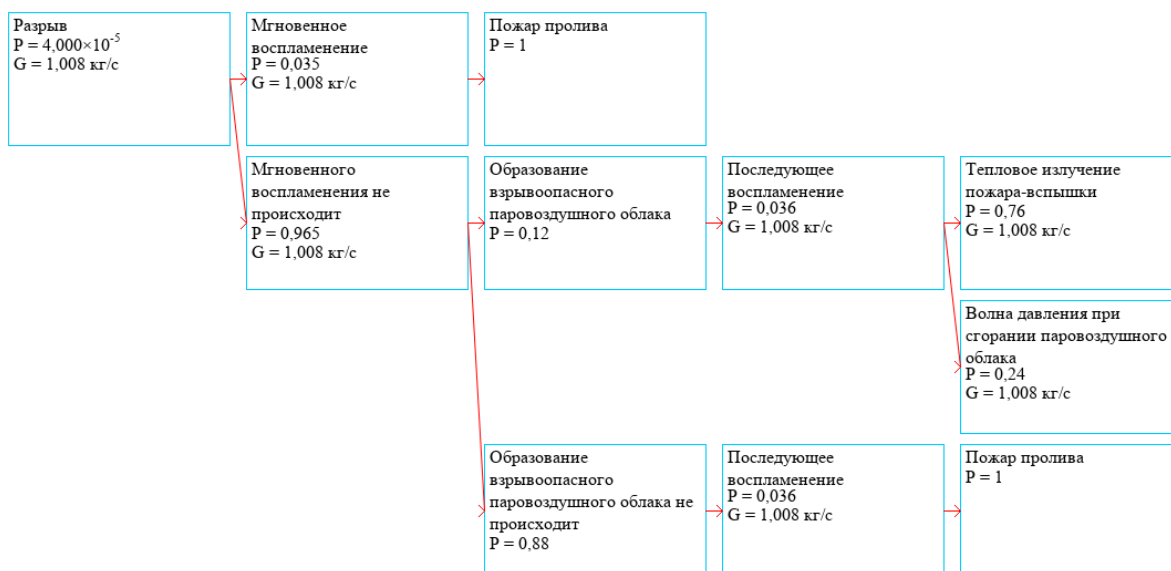


Рисунок 13 – Дерево развития пожароопасных событий для инициирующего события Разрыв

Таблица 15 – Перечень пожароопасных ситуаций и пожаров и сценариев их развития (ТРК (ЛВЖ и ГЖ))

№ сценария	Иницирующие событие пожароопасной ситуации/пожара	Наименование пожароопасной ситуации/пожара	Учетные коэффициенты	Вероятность
A.13	Разгерметизация, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 5мм	Пожар пролива	$P_T=0.6$ $P_C=0.8$	$5,200 \times 10^{-9}$
A.14	Разгерметизация, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 5мм	Тепловое излучение пожара-вспышки	$P_C=0.8$	$1,428 \times 10^{-9}$

A.15	Разгерметизация, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 5мм	Волна давления при сгорании паровоздушного облака	$P_c=0.8$	$1,242 \times 10^{-10}$
A.16	Разгерметизация, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 5мм	Пожар пролива	$P_T=0.6$ $P_c=0.8$	$4,553 \times 10^{-9}$
A.17	Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 15мм	Пожар пролива	$P_T=0.6$ $P_c=0.8$	$4,000 \times 10^{-10}$
A.18	Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 15мм	Тепловое излучение пожара-вспышки	$P_c=0.8$	$1,098 \times 10^{-10}$
A.19	Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 15мм	Волна давления при сгорании паровоздушного облака	$P_c=0.8$	$9,552 \times 10^{-12}$
A.20	Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 15мм	Пожар пролива	$P_T=0.6$ $P_c=0.8$	$3,502 \times 10^{-10}$
A.21	Разрыв	Пожар пролива	$P_T=0.6$ $P_c=0.8$	$1,120 \times 10^{-7}$
A.22	Разрыв	Тепловое излучение пожара-вспышки	$P_c=0.8$	$2,535 \times 10^{-8}$
A.23	Разрыв	Волна давления при сгорании паровоздушного облака	$P_c=0.8$	$8,004 \times 10^{-9}$
A.24	Разрыв	Пожар пролива	$P_T=0.6$ $P_c=0.8$	$9,783 \times 10^{-8}$

где P_T – вероятность эффективного срабатывания системы пожаротушения, P_c – вероятность эффективного срабатывания системы пожарной сигнализации.

Расчет необходимых параметров для сценариев с инициирующим событием Разгерметизация, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 5мм

$$S_{об} = 3,14 \cdot 0,01^2 + 3,14 \cdot (5/1000/2)^2 = 3,338 \times 10^{-4} \text{ м}^2$$

$$q_{от} = 4,8 / 3,338 \times 10^{-4} \times 3,14 \cdot (5/1000/2)^2 = 0,282 \text{ м}^3/\text{час}$$

							Лист
							58
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

$$V_1 = 0,282/3600 \times 120 = 0,16 \text{ м}^3$$

$$V_2 = 3,14 \times 0,01^2 \times 4 = 0,001 \text{ м}^3$$

$$V = 0,16 + 0,001 = 0,161 \text{ м}^3$$

$$F_{\pi} = 150 \times 0,161 = 24,188 \text{ м}^2$$

$$m_{\pi} = 0,161 \times 756 = 121,91 \text{ кг}$$

$$P_H = 10^{4,892-691,456/(38+267,89)} = 427,669 \text{ кПа}$$

$$W = 10^{-6} \times 1 \times 99,1^{0.5} \times 427,669 = 0,004$$

$$T = 121,91 / (24,188 \times 0,004) = 1183,822 \text{ с}$$

$$m = 0,004 \times 24,188 \times 1183,822 = 121,91 \text{ кг}$$

**Расчет необходимых параметров для сценариев с
инициирующим событием Разгерметизация трубопровода,
характеризующаяся диаметром отверстия истечения 15мм**

$$S_{об} = 3,14 \times 0,01^2 + 3,14 \times (15/1000/2)^2 = 4,909 \times 10^{-4} \text{ м}^2$$

$$q_{от} = 4,8 / 4,909 \times 10^{-4} \times 3,14 \times (15/1000/2)^2 = 1,728 \text{ м}^3/\text{час}$$

$$V_1 = 1,728/3600 \times 120 = 0,16 \text{ м}^3$$

$$V_2 = 3,14 \times 0,01^2 \times 4 = 0,001 \text{ м}^3$$

$$V = 0,16 + 0,001 = 0,161 \text{ м}^3$$

$$F_{\pi} = 150 \times 0,161 = 24,188 \text{ м}^2$$

$$m_{\pi} = 0,161 \times 756 = 121,91 \text{ кг}$$

$$P_H = 10^{4,892-691,456/(38+267,89)} = 427,669 \text{ кПа}$$

$$W = 10^{-6} \times 1 \times 99,1^{0.5} \times 427,669 = 0,004$$

$$T = 121,91 / (24,188 \times 0,004) = 1183,822 \text{ с}$$

$$m = 0,004 \times 24,188 \times 1183,822 = 121,91 \text{ кг}$$

**Расчет необходимых параметров для сценариев с
инициирующим событием Разрыв**

$$S_{об} = 3,14 \times 0,01^2 + 3,14 \times (20/1000/2)^2 = 6,283 \times 10^{-4} \text{ м}^2$$

$$q_{от} = 4,8 / 6,283 \times 10^{-4} \times 3,14 \times (20/1000/2)^2 = 2,4 \text{ м}^3/\text{час}$$

$$V_1 = 2,4/3600 \times 120 = 0,16 \text{ м}^3$$

$$V_2 = 3,14 \times 0,01^2 \times 4 = 0,001 \text{ м}^3$$

							Лист
							59
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

$$V = 0,16 + 0,001 = 0,161 \text{ м}^3$$

$$F_{\text{п}} = 150 \times 0,161 = 24,188 \text{ м}^2$$

$$m_{\text{п}} = 0,161 \times 756 = 121,91 \text{ кг}$$

$$P_{\text{H}} = 10^{4,892-691,456/(38+267,89)} = 427,669 \text{ кПа}$$

$$W = 10^{-6} \times 1 \times 99,1^{0,5} \times 427,669 = 0,004$$

$$T = 121,91 / (24,188 \times 0,004) = 1183,822 \text{ с}$$

$$m = 0,004 \times 24,188 \times 1183,822 = 121,91 \text{ кг}$$

Определение интенсивности теплового излучения пожара пролива (сценарий № А.13, А.16, А.17, А.20, А.21, А.24)

Принята максимальная скорость ветра, соответствующая выбранному региону: 3,9 м/с.

Скорость ветра: 3,9 м/с.

$$\rho_{\text{п}} = 101,3 \times 99,1 / (8,31 \times (273,15 + 68)) = 3,541 \text{ кг/м}^3.$$

$$d = (4 \times 24,188 / 3,14)^{0,5} = 5,551 \text{ м.}$$

Значения среднеповерхностной интенсивности теплового излучения пламени $E_{\text{ф}}$ и удельной массовой скорости выгорания m' принимались путем интерполяции значений таблицы ПЗ.4 [1]:

$$m' = 0,06 \text{ кг/(м}^2 \times \text{с)};$$

$$E_{\text{ф}} = 60 \text{ кВт/м}^2.$$

$$u_* = 3,9 / (0,06 \times 9,81 \times 5,551 / 3,541)^{1/3} = 4,006.$$

$$\rho_{\text{а}} = 101,3 \times 28,98 / (8,31 \times (273,15 + 38)) = 1,135 \text{ кг/м}^3.$$

$$L = 55 \times 5,551 \times (0,06 / (1,135 \times (9,81 \times 5,551)^{0,5})^{0,67}) \times 4,006^{-0,21} = 8,337$$

м.

$$\theta = \arccos(u_*^{-0,5}) = 1,048 \text{ рад.}$$

Время выгорания горючего вещества:

$$T_{\text{в}} = 121,91001761845 / 0,06 / 24,188495559215 = 84 \text{ с.}$$

Интенсивность теплового излучения рассчитывалась до значения 1.4 кВт (Без негативных последствий в течение длительного времени).

							Лист
							60
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

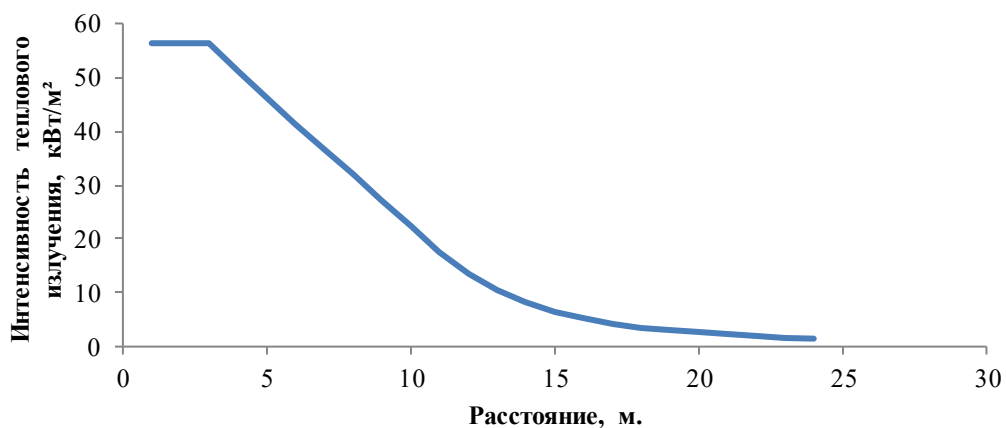


Рисунок 14 – График интенсивности теплового излучения

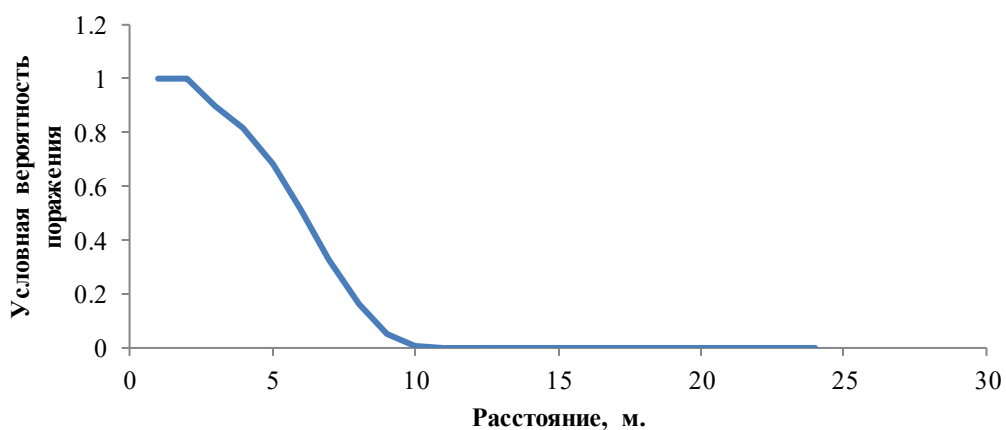


Рисунок 15 – Условная вероятность поражения от расстояния

Определение параметров волны давления при сгорании паровоздушного облака (сценарий № А.15,А.19,А.23)

Ожидаемый режим сгорания облака определялся согласно таблице ПЗ.3 [1]:

класс 5 - дефлаграция.

$$u = 43 \times 121,91^{1/6} = 95,751 \text{ м/с}$$

$$E_{уд} = 1 \times 44 = 44 \text{ МДж/кг}$$

$$E = 44 \times 121,91 \times 10^6 \times 2 = 107 \times 10^8 \text{ Дж}$$

							Лист
							61
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

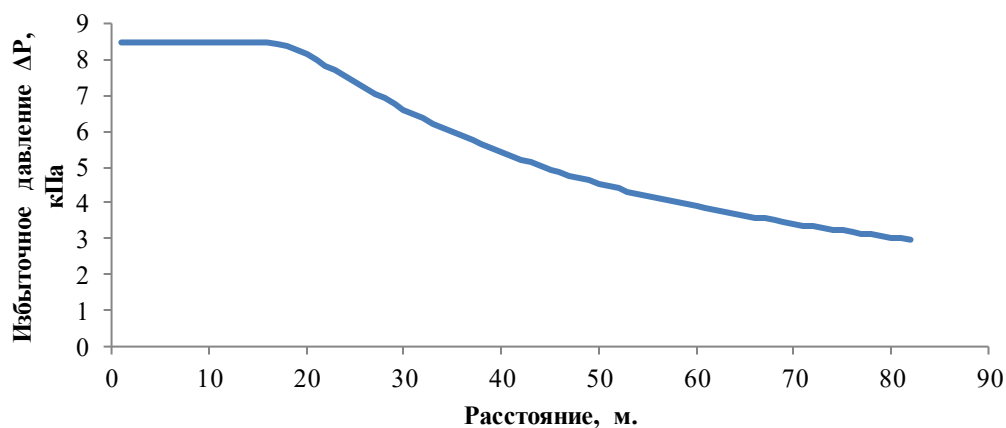


Рисунок 16 – График параметров сгорания паровоздушного облака с избыточным давлением

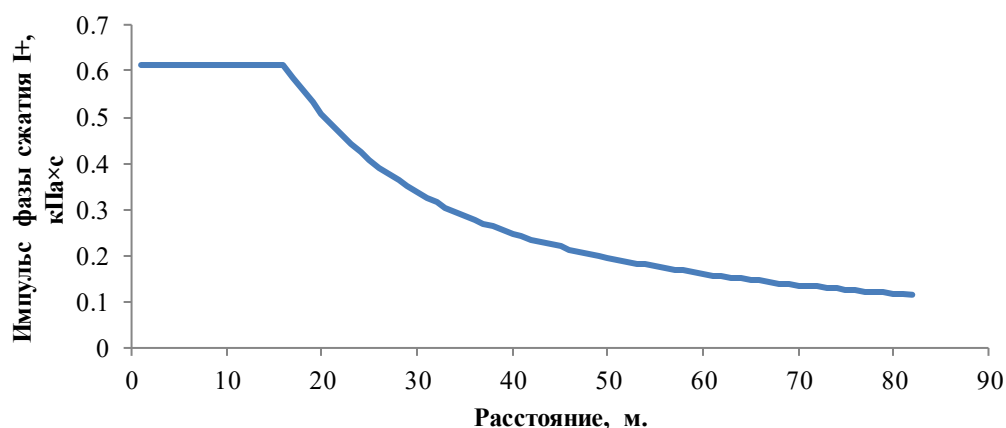


Рисунок 17 – График параметров сгорания паровоздушного облака с избыточным давлением

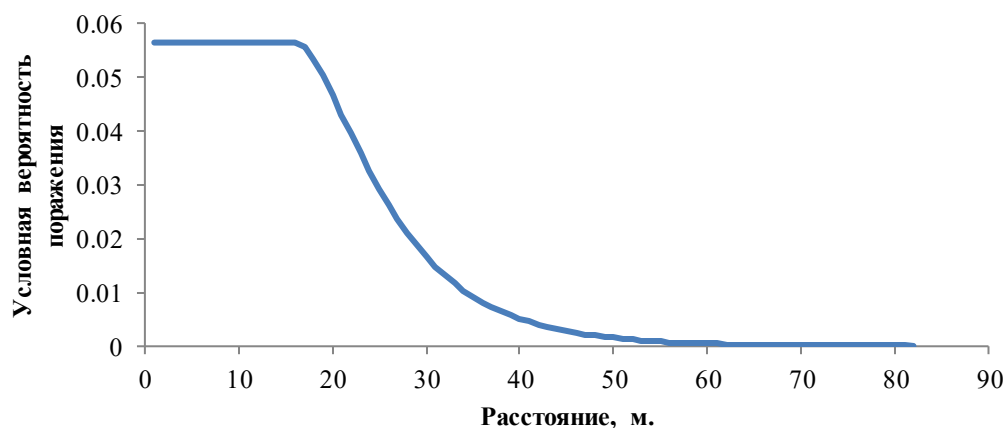


Рисунок 18 – Условная вероятность поражения от расстояния

Расчет радиуса воздействия продуктов сгорания паровоздушного облака в случае воздействия пожара-вспышки (сценарий № А.14,А.18,А.22)

$$\rho = 99,1/22,413 \times (1+0,00367 \times 38)) = 3,88 \text{ кг}\times\text{м}^{-3}$$

							Лист
							62
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

$$R_{\text{НКПР}} = 7,8 \times (121,91/3,88/0,92)^{0,33} = 25,01 \text{ м.}$$

$$Z_{\text{НКПР}} = 0,26 \times (121,91/3,88/0,92)^{0,33} = 0,83 \text{ м.}$$

$$R_F = 1,2 \times 25,01 = 30,01 \text{ м.}$$

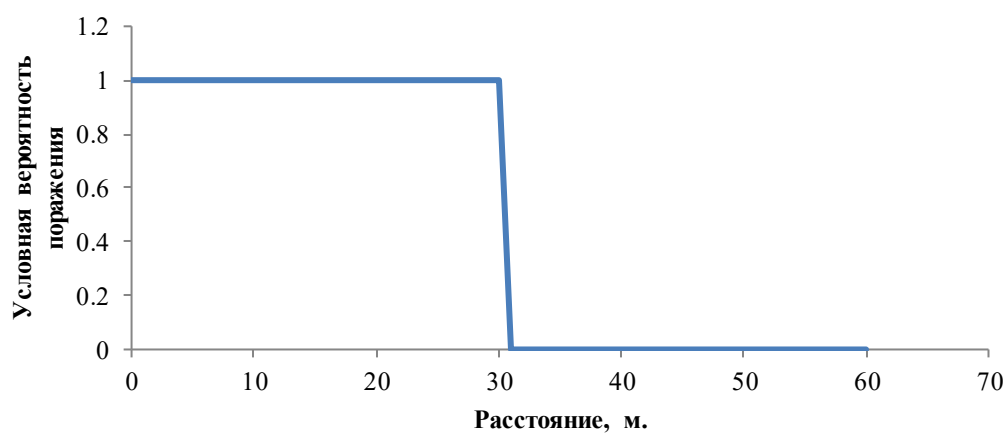


Рисунок 19 – Условная вероятность поражения от расстояния

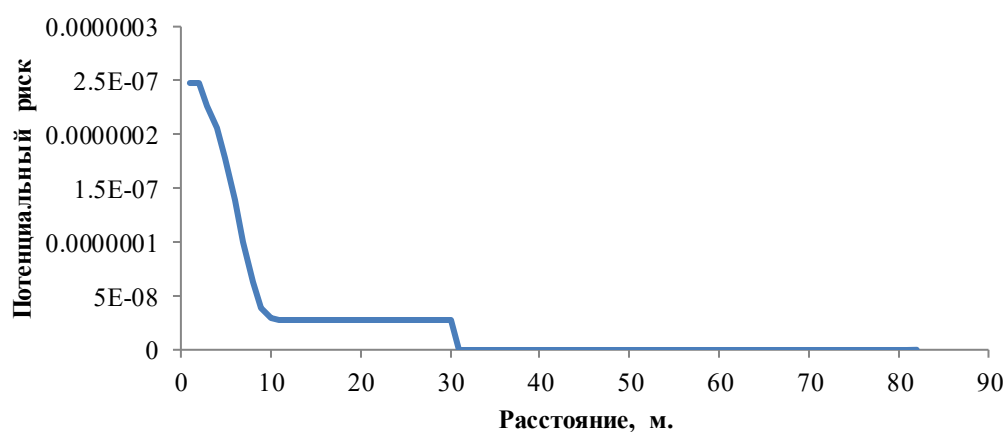


Рисунок 20 – График потенциального риска для объекта ТРК (ЛВЖ и ГЖ) (раздаточный рукав с веществом Бензин АИ-95)

Раздаточный рукав с веществом Бензин АИ-93 (летний) (ГОСТ 2084-67)

							Лист
							63
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

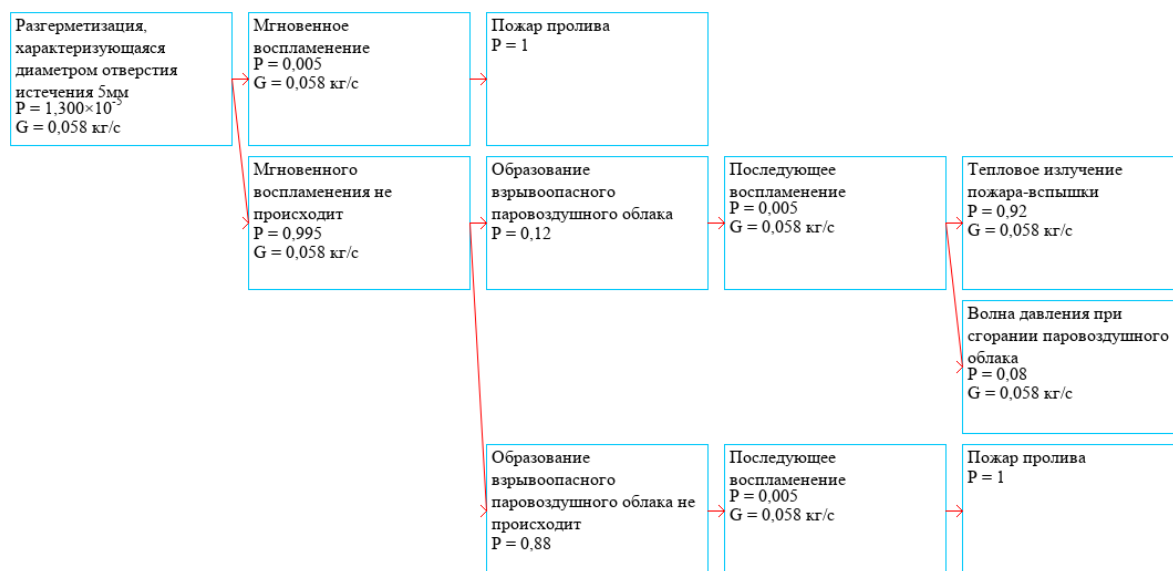


Рисунок 21 – Дерево развития пожароопасных событий для инициирующего события
Разгерметизация, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 5мм

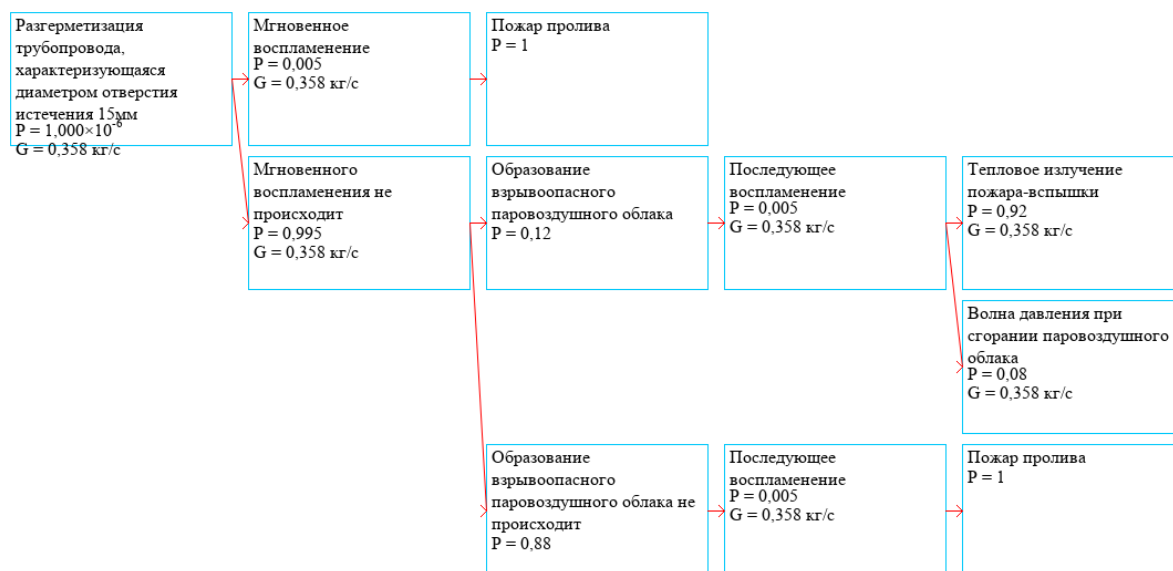


Рисунок 22 – Дерево развития пожароопасных событий для инициирующего события
Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 15мм

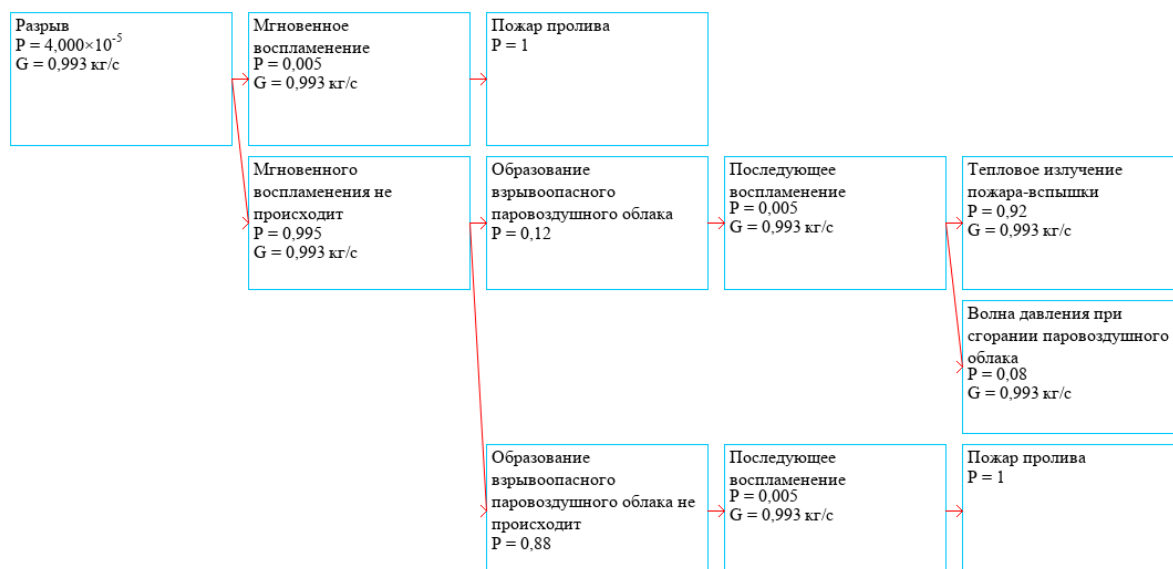


Рисунок 23 – Дерево развития пожароопасных событий для инициирующего события Разрыв

Таблица 16 – Перечень пожароопасных ситуаций и пожаров и сценариев их развития (ТРК (ЛВЖ и ГЖ))

№ сценария	Иницирующие событие пожароопасной ситуации/пожара	Наименование пожароопасной ситуации/пожара	Учетные коэффициенты	Вероятность
A.25	Разгерметизация, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 5мм	Пожар пролива	P _т =0.6 P _с =0.8	5,200×10 ⁻⁹
A.26	Разгерметизация, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 5мм	Тепловое излучение пожара-вспышки	P _с =0.8	1,428×10 ⁻⁹
A.27	Разгерметизация, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 5мм	Волна давления при сгорании паровоздушного облака	P _с =0.8	1,242×10 ⁻¹⁰
A.28	Разгерметизация, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 5мм	Пожар пролива	P _т =0.6 P _с =0.8	4,553×10 ⁻⁹
A.29	Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 15мм	Пожар пролива	P _т =0.6 P _с =0.8	4,000×10 ⁻¹⁰
A.30	Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 15мм	Тепловое излучение пожара-вспышки	P _с =0.8	1,098×10 ⁻¹⁰

A.31	Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 15мм	Волна давления при сгорании паровоздушного облака	$P_c=0.8$	$9,552 \times 10^{-12}$
A.32	Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 15мм	Пожар пролива	$P_T=0.6$ $P_c=0.8$	$3,502 \times 10^{-10}$
A.33	Разрыв	Пожар пролива	$P_T=0.6$ $P_c=0.8$	$1,600 \times 10^{-8}$
A.34	Разрыв	Тепловое излучение пожара-вспышки	$P_c=0.8$	$4,394 \times 10^{-9}$
A.35	Разрыв	Волна давления при сгорании паровоздушного облака	$P_c=0.8$	$3,821 \times 10^{-10}$
A.36	Разрыв	Пожар пролива	$P_T=0.6$ $P_c=0.8$	$1,401 \times 10^{-8}$

где P_T – вероятность эффективного срабатывания системы пожаротушения, P_c – вероятность эффективного срабатывания системы пожарной сигнализации.

Расчет необходимых параметров для сценариев с инициирующим событием Разгерметизация, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 5мм

$$S_{об} = 3,14 \times 0,01^2 + 3,14 \times (5/1000/2)^2 = 3,338 \times 10^{-4} \text{ м}^2$$

$$q_{от} = 4,8 / 3,338 \times 10^{-4} \times 3,14 \times (5/1000/2)^2 = 0,282 \text{ м}^3/\text{час}$$

$$V_1 = 0,282 / 3600 \times 120 = 0,16 \text{ м}^3$$

$$V_2 = 3,14 \times 0,01^2 \times 4 = 0,001 \text{ м}^3$$

$$V = 0,16 + 0,001 = 0,161 \text{ м}^3$$

$$F_{п} = 150 \times 0,161 = 24,188 \text{ м}^2$$

$$m_{п} = 0,161 \times 745 = 120,136 \text{ кг}$$

$$P_H = 10^{4,123-664,976/(38+221,695)} = 36,518 \text{ кПа}$$

$$W = 10^{-6} \times 1 \times 98,2^{0.5} \times 36,518 = 3,619 \times 10^{-4}$$

$$T = 120,136 / (24,188 \times 3,619 \times 10^{-4}) = 13724,706 \text{ с}$$

Так как вышедшая масса более 20кг, $T = \min(T; 3600)$

$$T = 3600 \text{ с}$$

$$m = 3,619 \times 10^{-4} \times 24,188 \times 3600 = 31,512 \text{ кг}$$

							Лист
							66
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

**Расчет необходимых параметров для сценариев с
инициирующим событием Разгерметизация трубопровода,
характеризующаяся диаметром отверстия истечения 15мм**

$$S_{об} = 3,14 \cdot 0,01^2 + 3,14 \times (15/1000/2)^2 = 4,909 \times 10^{-4} \text{ м}^2$$

$$q_{от} = 4,8/4,909 \times 10^{-4} \times 3,14 \times (15/1000/2)^2 = 1,728 \text{ м}^3/\text{час}$$

$$V_1 = 1,728/3600 \times 120 = 0,16 \text{ м}^3$$

$$V_2 = 3,14 \times 0,01^2 \times 4 = 0,001 \text{ м}^3$$

$$V = 0,16 + 0,001 = 0,161 \text{ м}^3$$

$$F_{п} = 150 \times 0,161 = 24,188 \text{ м}^2$$

$$m_{п} = 0,161 \times 745 = 120,136 \text{ кг}$$

$$P_H = 10^{4,123-664,976/(38+221,695)} = 36,518 \text{ кПа}$$

$$W = 10^{-6} \times 1 \times 98,2^{0.5} \times 36,518 = 3,619 \times 10^{-4}$$

$$T = 120,136/(24,188 \times 3,619 \times 10^{-4}) = 13724,706 \text{ с}$$

Так как вышедшая масса более 20кг, $T = \min(T; 3600)$

$$T = 3600 \text{ с}$$

$$m = 3,619 \times 10^{-4} \times 24,188 \times 3600 = 31,512 \text{ кг}$$

**Расчет необходимых параметров для сценариев с
инициирующим событием Разрыв**

$$S_{об} = 3,14 \cdot 0,01^2 + 3,14 \times (20/1000/2)^2 = 6,283 \times 10^{-4} \text{ м}^2$$

$$q_{от} = 4,8/6,283 \times 10^{-4} \times 3,14 \times (20/1000/2)^2 = 2,4 \text{ м}^3/\text{час}$$

$$V_1 = 2,4/3600 \times 120 = 0,16 \text{ м}^3$$

$$V_2 = 3,14 \times 0,01^2 \times 4 = 0,001 \text{ м}^3$$

$$V = 0,16 + 0,001 = 0,161 \text{ м}^3$$

$$F_{п} = 150 \times 0,161 = 24,188 \text{ м}^2$$

$$m_{п} = 0,161 \times 745 = 120,136 \text{ кг}$$

$$P_H = 10^{4,123-664,976/(38+221,695)} = 36,518 \text{ кПа}$$

$$W = 10^{-6} \times 1 \times 98,2^{0.5} \times 36,518 = 3,619 \times 10^{-4}$$

$$T = 120,136/(24,188 \times 3,619 \times 10^{-4}) = 13724,706 \text{ с}$$

Так как вышедшая масса более 20кг, $T = \min(T; 3600)$

							Лист
							67
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

$$T = 3600 \text{ с}$$

$$m = 3,619 \times 10^{-4} \times 24,188 \times 3600 = 31,512 \text{ кг}$$

Определение интенсивности теплового излучения пожара пролива (сценарий № А.25,А.28,А.29,А.32,А.33,А.36)

Принята максимальная скорость ветра, соответствующая выбранному региону: 3,9 м/с.

Скорость ветра: 3,9 м/с.

$$\rho_{\text{п}} = 101,3 \times 98,2 / (8,31 \times (273,15 + 33)) = 3,91 \text{ кг/м}^3.$$

$$d = (4 \times 24,188 / 3,14)^{0,5} = 5,551 \text{ м.}$$

Значения среднеповерхностной интенсивности теплового излучения пламени E_f и удельной массовой скорости выгорания m' принимались путем интерполяции значений таблицы ПЗ.4 [1]:

$$m' = 0,06 \text{ кг/(м}^2 \times \text{с)};$$

$$E_f = 60 \text{ кВт/м}^2.$$

$$u_* = 3,9 / (0,06 \times 9,81 \times 5,551 / 3,91)^{1/3} = 4,141.$$

$$\rho_a = 101,3 \times 28,98 / (8,31 \times (273,15 + 38)) = 1,135 \text{ кг/м}^3.$$

$$L = 55 \times 5,551 \times (0,06 / (1,135 \times (9,81 \times 5,551)^{0,5}))^{0,67} \times 4,141^{-0,21} = 8,279$$

м.

$$\theta = \arccos(u_*^{-0,5}) = 1,057 \text{ рад.}$$

Время выгорания горючего вещества:

$$T_b = 120.13619461077 / 0.06 / 24.188495559215 = 82.777777777778 \text{ с.}$$

Интенсивность теплового излучения рассчитывалась до значения 1.4 кВт (Без негативных последствий в течение длительного времени).

							Лист
							68
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

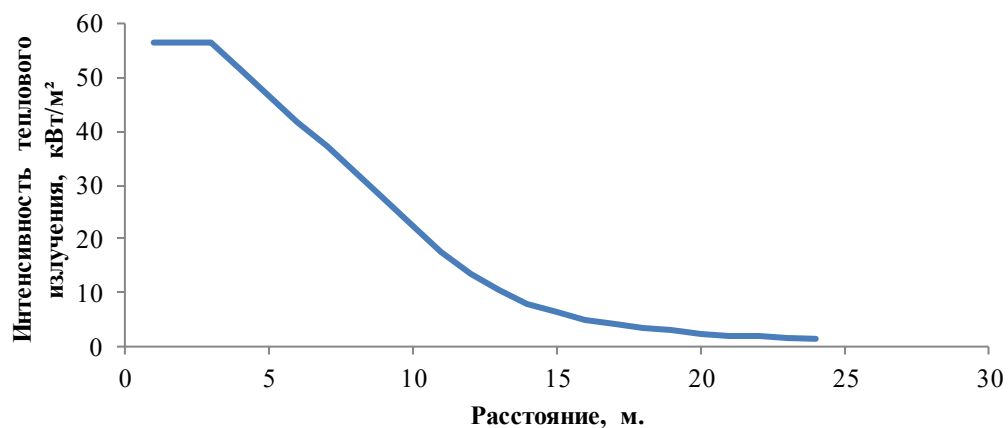


Рисунок 24 – График интенсивности теплового излучения

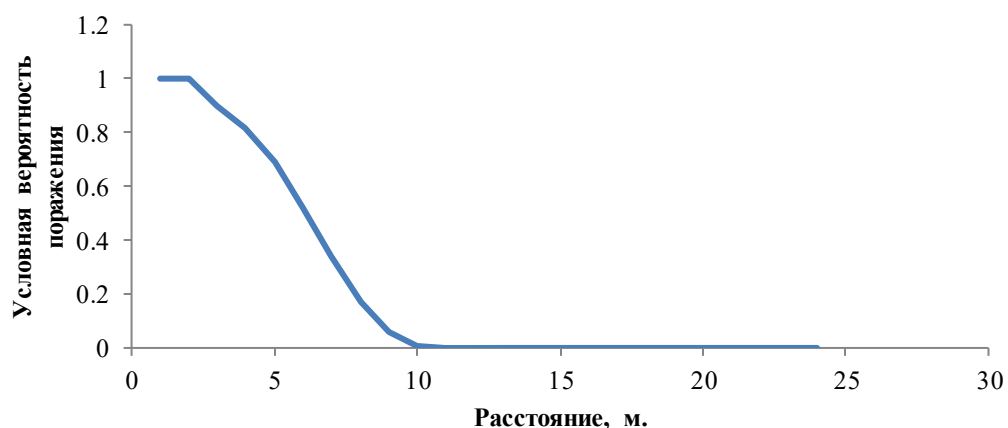


Рисунок 25 – Условная вероятность поражения от расстояния

Определение параметров волны давления при сгорании паровоздушного облака (сценарий № А.27,А.31,А.35)

Ожидаемый режим сгорания облака определялся согласно таблице ПЗ.3 [1]:

класс 5 - дефлаграция.

$$u = 43 \times 31,512^{1/6} = 76,421 \text{ м/с}$$

$$E_{уд} = 1 \times 44 = 44 \text{ МДж/кг}$$

$$E = 44 \times 31,512 \times 10^6 \times 2 = 277 \times 10^7 \text{ Дж}$$

							Лист
							69
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

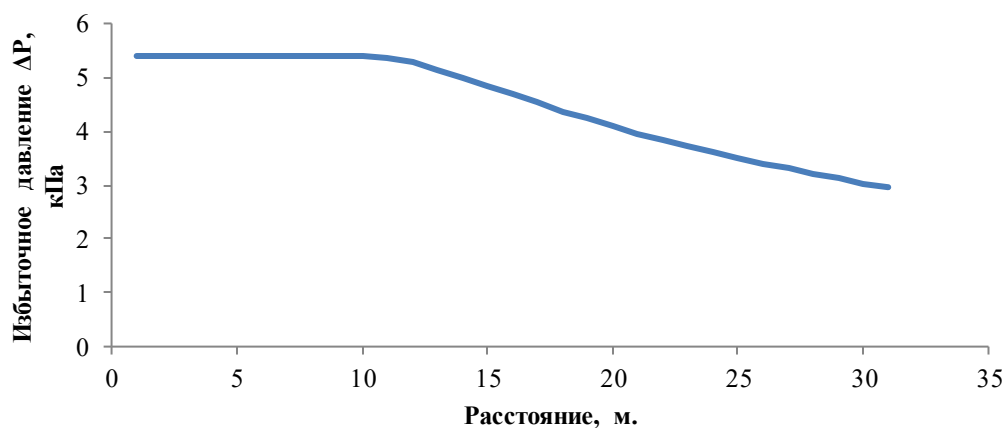


Рисунок 26 – График параметров сгорания паровоздушного облака с избыточным давлением

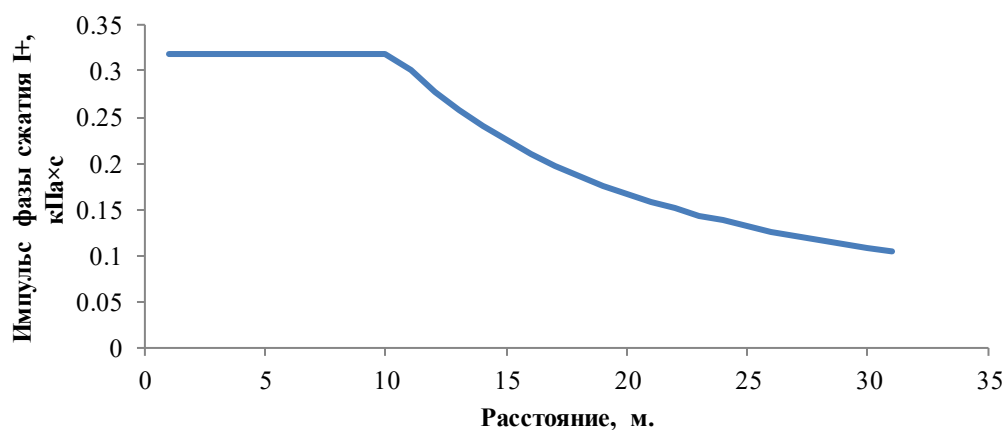


Рисунок 27 – График параметров сгорания паровоздушного облака с избыточным давлением

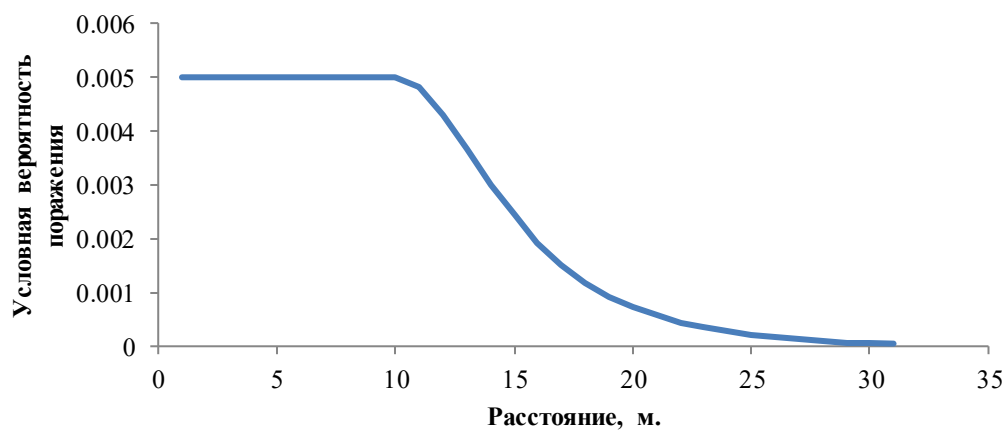


Рисунок 28 – Условная вероятность поражения от расстояния

Расчет радиуса воздействия продуктов сгорания паровоздушного облака в случае воздействия пожара-вспышки (сценарий № А.26,А.30,А.34)

$$\rho = 98,2/22,413 \times (1+0,00367 \times 38)) = 3,845 \text{ кг} \times \text{м}^{-3}$$

$$R_{\text{НКПР}} = 7,8 \times (31,512/3,845/1,06)^{0,33} = 15,32 \text{ м.}$$

$$Z_{\text{НКПР}} = 0,26 \times (31,512/3,845/1,06)^{0,33} = 0,51 \text{ м.}$$

$$R_F = 1,2 \times 15,32 = 18,38 \text{ м.}$$

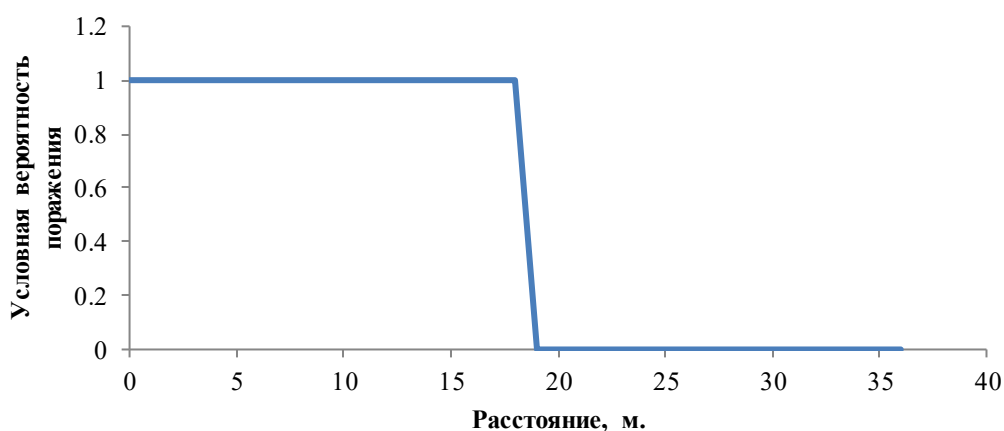


Рисунок 29 – Условная вероятность поражения от расстояния

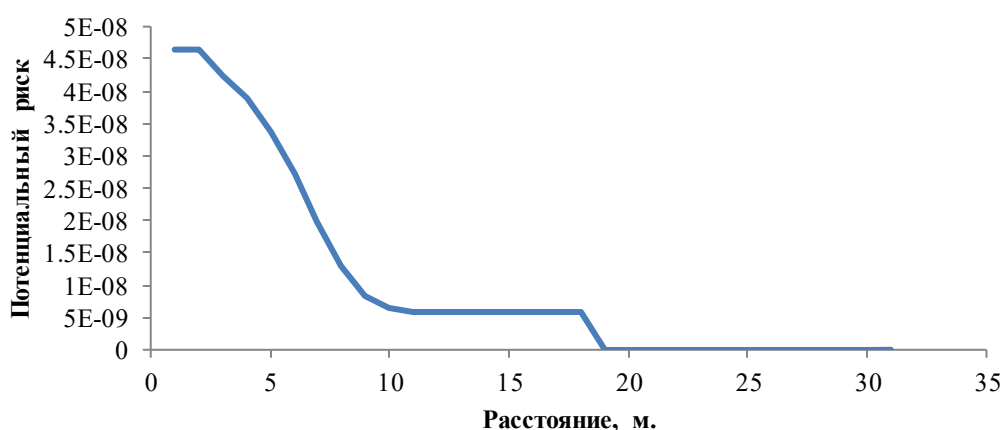


Рисунок 30 – График потенциального риска для объекта ТРК (ЛВЖ и ГЖ) (раздаточный рукав с веществом Бензин АИ-93 (летний) (ГОСТ 2084-67))

Раздаточный рукав с веществом Дизельное топливо Л (ГОСТ 305-73)

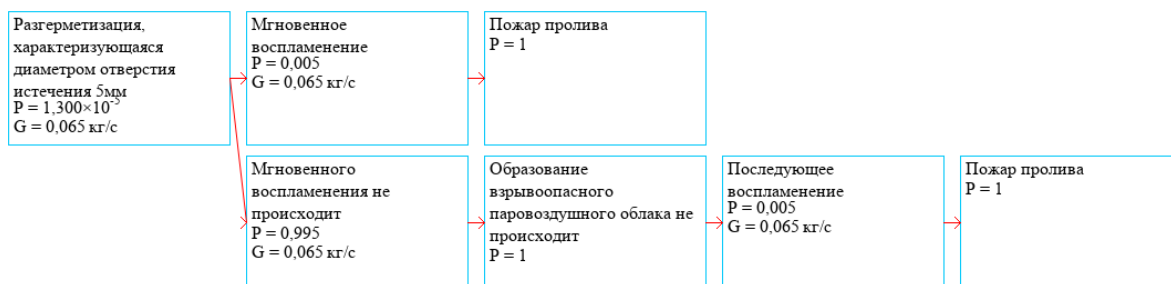


Рисунок 31 – Дерево развития пожароопасных событий для иницирующего события Разгерметизация, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 5мм

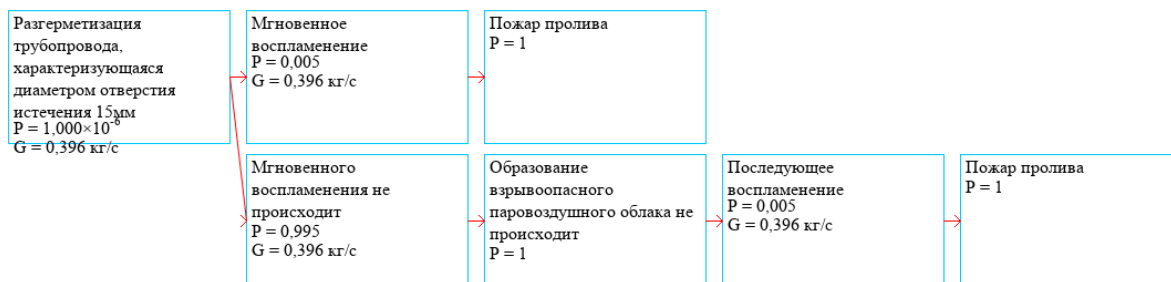


Рисунок 32 – Дерево развития пожароопасных событий для инициирующего события Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 15мм

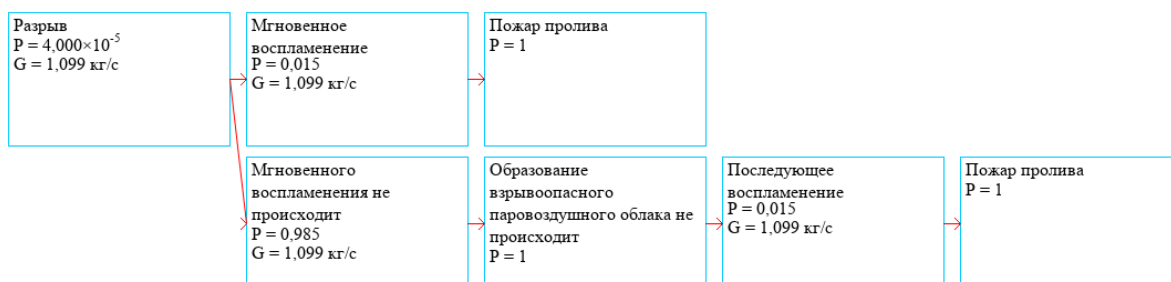


Рисунок 33 – Дерево развития пожароопасных событий для инициирующего события Разрыв

Таблица 17 – Перечень пожароопасных ситуаций и пожаров и сценариев их развития (ТРК (ЛВЖ и ГЖ))

№ сценария	Иницирующие событие пожароопасной ситуации/пожара	Наименование пожароопасной ситуации/пожара	Учетные коэффициенты	Вероятность
A.37	Разгерметизация, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 5мм	Пожар пролива	$P_T=0.6$ $P_c=0.8$	$5,200 \times 10^{-9}$
A.38	Разгерметизация, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 5мм	Пожар пролива	$P_T=0.6$ $P_c=0.8$	$5,174 \times 10^{-9}$
A.39	Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 15мм	Пожар пролива	$P_T=0.6$ $P_c=0.8$	$4,000 \times 10^{-10}$
A.40	Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 15мм	Пожар пролива	$P_T=0.6$ $P_c=0.8$	$3,980 \times 10^{-10}$
A.41	Разрыв	Пожар пролива	$P_T=0.6$ $P_c=0.8$	$4,800 \times 10^{-8}$
A.42	Разрыв	Пожар пролива	$P_T=0.6$ $P_c=0.8$	$4,728 \times 10^{-8}$

где P_T – вероятность эффективного срабатывания системы пожаротушения, P_c – вероятность эффективного срабатывания системы пожарной сигнализации.

Расчет необходимых параметров для сценариев с иницирующим событием Разгерметизация, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 5мм

$$S_{об} = 3,14 \cdot 0,01^2 + 3,14 \cdot (5/1000/2)^2 = 3,338 \times 10^{-4} \text{ м}^2$$

$$q_{от} = 4,8/3,338 \times 10^{-4} \times 3,14 \cdot (5/1000/2)^2 = 0,282 \text{ м}^3/\text{час}$$

$$V_1 = 0,282/3600 \times 120 = 0,16 \text{ м}^3$$

$$V_2 = 3,14 \cdot 0,01^2 \times 4 = 0,001 \text{ м}^3$$

$$V = 0,16 + 0,001 = 0,161 \text{ м}^3$$

$$F_{п} = 150 \times 0,161 = 24,188 \text{ м}^2$$

Расчет необходимых параметров для сценариев с иницирующим событием Разгерметизация трубопровода, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 15мм

$$S_{об} = 3,14 \cdot 0,01^2 + 3,14 \cdot (15/1000/2)^2 = 4,909 \times 10^{-4} \text{ м}^2$$

$$q_{от} = 4,8/4,909 \times 10^{-4} \times 3,14 \cdot (15/1000/2)^2 = 1,728 \text{ м}^3/\text{час}$$

$$V_1 = 1,728/3600 \times 120 = 0,16 \text{ м}^3$$

$$V_2 = 3,14 \cdot 0,01^2 \times 4 = 0,001 \text{ м}^3$$

$$V = 0,16 + 0,001 = 0,161 \text{ м}^3$$

$$F_{п} = 150 \times 0,161 = 24,188 \text{ м}^2$$

Расчет необходимых параметров для сценариев с иницирующим событием Разрыв

$$S_{об} = 3,14 \cdot 0,01^2 + 3,14 \cdot (20/1000/2)^2 = 6,283 \times 10^{-4} \text{ м}^2$$

$$q_{от} = 4,8/6,283 \times 10^{-4} \times 3,14 \cdot (20/1000/2)^2 = 2,4 \text{ м}^3/\text{час}$$

$$V_1 = 2,4/3600 \times 120 = 0,16 \text{ м}^3$$

$$V_2 = 3,14 \cdot 0,01^2 \times 4 = 0,001 \text{ м}^3$$

$$V = 0,16 + 0,001 = 0,161 \text{ м}^3$$

$$F_{п} = 150 \times 0,161 = 24,188 \text{ м}^2$$

Определение интенсивности теплового излучения пожара пролива (сценарий № А.37,А.38,А.39,А.40,А.41,А.42)

Принята максимальная скорость ветра, соответствующая

							Лист
							73
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

выбранному региону: 3,9 м/с.

Скорость ветра: 3,9 м/с.

$$\rho_{\pi} = 101,3 \times 203,6 / (8,31 \times (273,15 + 246)) = 4,781 \text{ кг/м}^3.$$

$$d = (4 \times 24,188 / 3,14)^{0,5} = 5,551 \text{ м.}$$

Значения среднеповерхностной интенсивности теплового излучения пламени E_f и удельной массовой скорости выгорания m' принимались путем интерполяции значений таблицы ПЗ.4 [1]:

$$m' = 0,04 \text{ кг/(м}^2 \times \text{с)};$$

$$E_f = 40 \text{ кВт/м}^2.$$

$$u_* = 3,9 / (0,04 \times 9,81 \times 5,551 / 4,781)^{1/3} = 5,068.$$

$$\rho_a = 101,3 \times 28,98 / (8,31 \times (273,15 + 38)) = 1,135 \text{ кг/м}^3.$$

$$L = 55 \times 5,551 \times (0,04 / (1,135 \times (9,81 \times 5,551)^{0,5}))^{0,67} \times 5,068^{-0,21} = 6,048 \text{ м.}$$

$$\theta = \arccos(u_*^{-0,5}) = 1,111 \text{ рад.}$$

Время выгорания горючего вещества:

$$T_b = 132.87546893862 / 0.04 / 24.188495559215 = 137.33333333333 \text{ с.}$$

Интенсивность теплового излучения рассчитывалась до значения 1.4 кВт (Без негативных последствий в течение длительного времени).

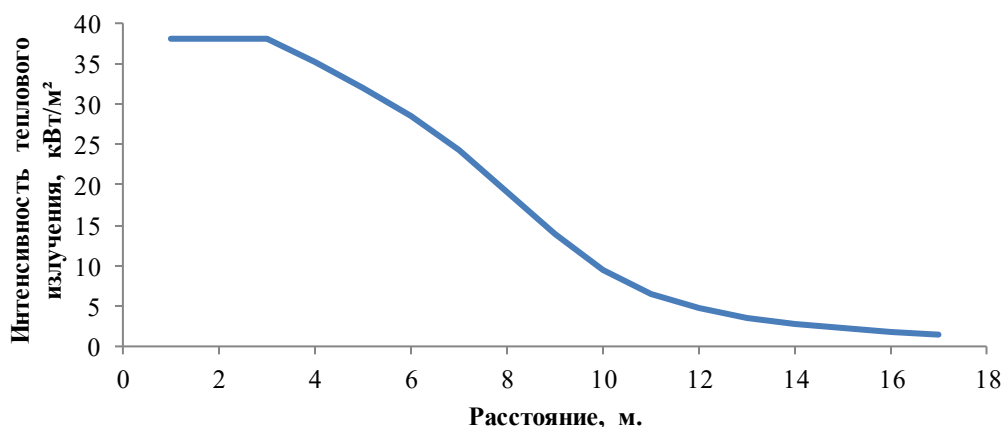


Рисунок 34 – График интенсивности теплового излучения

							Лист
							74
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

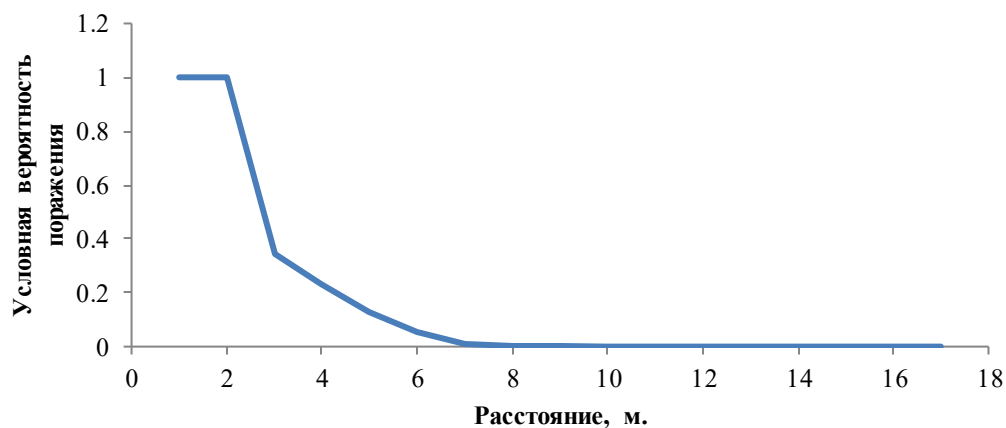


Рисунок 35 – Условная вероятность поражения от расстояния

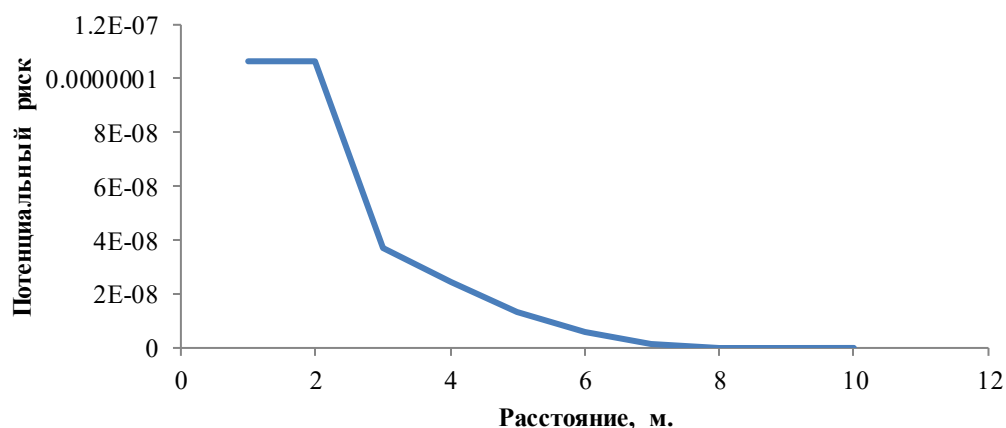


Рисунок 36 – График потенциального риска для объекта ТРК (ЛВЖ и ГЖ) (раздаточный рукав с веществом Дизельное топливо Л (ГОСТ 305-73))

Расчет значений потенциального риска для объекта "Автоцистерна"



Рисунок 37 – Дерево развития пожароопасных событий для инициирующего события Разгерметизация, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 25мм

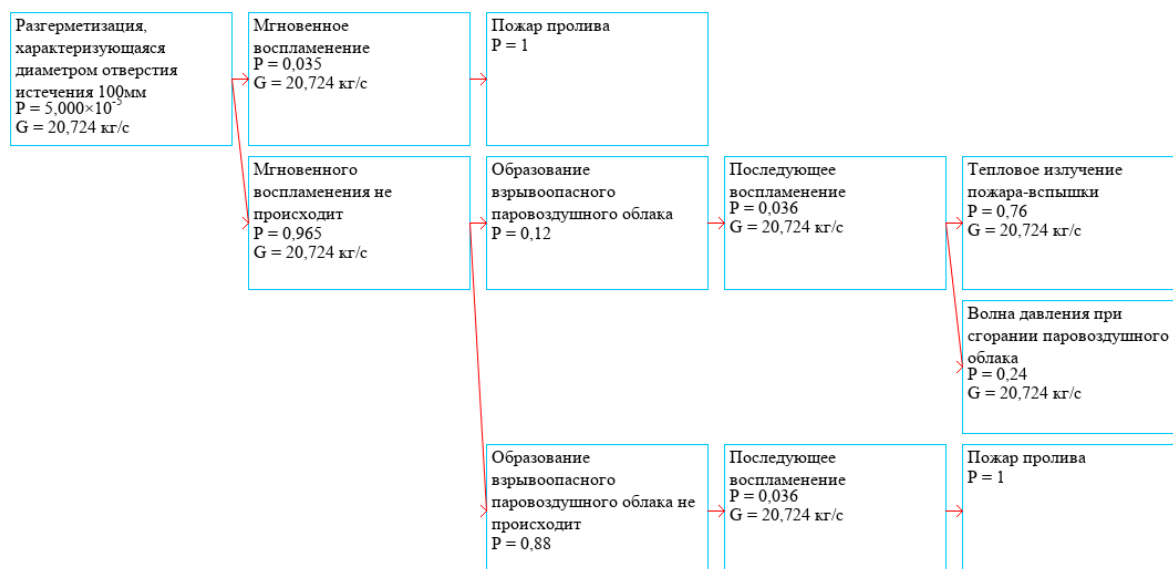


Рисунок 38 – Дерево развития пожароопасных событий для инициирующего события Разгерметизация, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 100мм

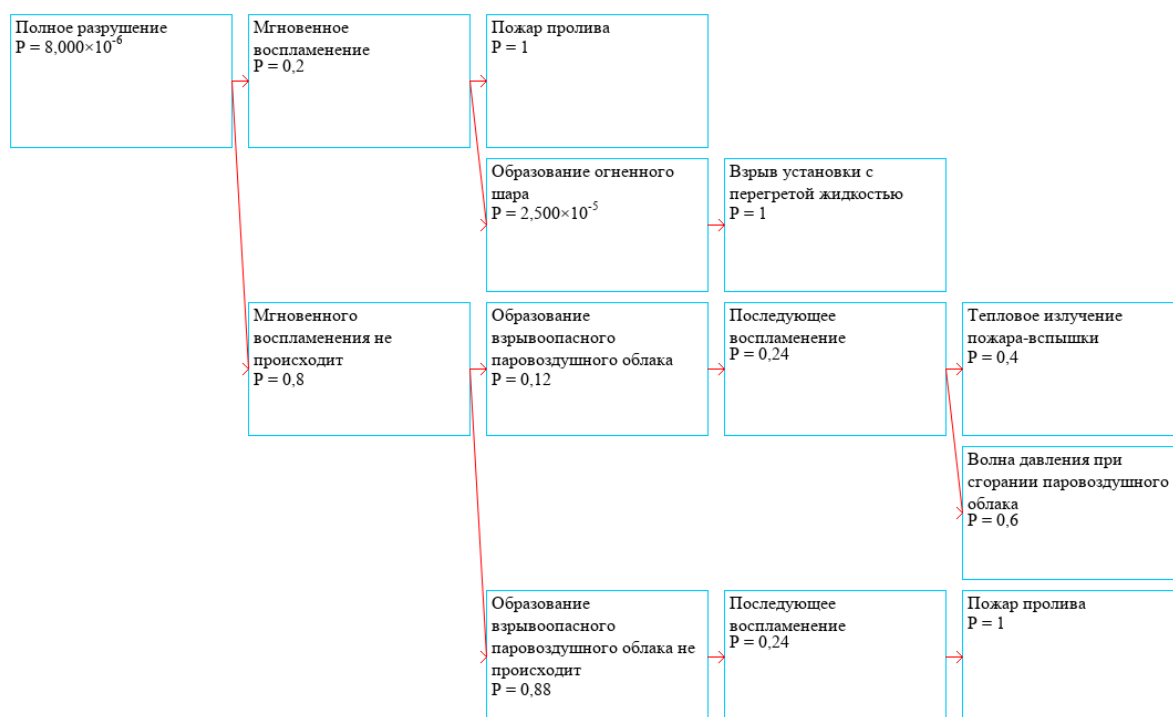


Рисунок 39 – Дерево развития пожароопасных событий для инициирующего события Полное разрушение

Таблица 18 – Перечень пожароопасных ситуаций и пожаров и сценариев их развития (Автоцистерна)

№ сценария	Иницирующие событие пожароопасной ситуации/пожара	Наименование пожароопасной ситуации/пожара	Учетные коэффициенты	Вероятность
В.1	Разгерметизация, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 25мм	Пожар пролива		$1,750 \times 10^{-5}$

В.2	Разгерметизация, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 25мм	Тепловое излучение пожара-вспышки		$1,584 \times 10^{-6}$
В.3	Разгерметизация, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 25мм	Волна давления при сгорании паровоздушного облака		$5,003 \times 10^{-7}$
В.4	Разгерметизация, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 25мм	Пожар пролива		$1,529 \times 10^{-5}$
В.5	Разгерметизация, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 100мм	Пожар пролива		$1,750 \times 10^{-6}$
В.6	Разгерметизация, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 100мм	Тепловое излучение пожара-вспышки		$1,584 \times 10^{-7}$
В.7	Разгерметизация, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 100мм	Волна давления при сгорании паровоздушного облака		$5,003 \times 10^{-8}$
В.8	Разгерметизация, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 100мм	Пожар пролива		$1,529 \times 10^{-6}$
В.9	Полное разрушение	Пожар пролива		$1,600 \times 10^{-6}$
В.10	Полное разрушение	Образование огненного шара		$4,000 \times 10^{-11}$
В.11	Полное разрушение	Взрыв установки с перегретой жидкостью		$4,000 \times 10^{-11}$
В.12	Полное разрушение	Тепловое излучение пожара-вспышки		$7,373 \times 10^{-8}$
В.13	Полное разрушение	Волна давления при сгорании паровоздушного облака		$1,106 \times 10^{-7}$
В.14	Полное разрушение	Пожар пролива		$1,352 \times 10^{-6}$

где P_T – вероятность эффективного срабатывания системы пожаротушения, P_c – вероятность эффективного срабатывания системы пожарной сигнализации.

Расчет необходимых параметров для расчета сценариев с инициирующим событием Разгерметизация, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 25мм

							Лист
							77
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

Так как, время истечения не ограничено из аппарата выйдет весь объем вещества

$$V_{ж} = 25 \times 0,8 = 20 \text{ м}^3$$

Площадь пролива определялась по формуле ПЗ.27 [2]:

$$F_{ПР} = f_p V_{ж} \quad (1)$$

где f - удельная площадь розлива, $\text{м}^2/\text{литр}$;

$V_{ж}$ - объем вышедшей жидкости, м^3 .

$$F_{П} = 150 \times 20 = 3000 \text{ м}^2$$

Масса, пролива при расчетной аварии определялась по формуле П.3.23 [2]:

$$m_a = \rho_L \times V_R \quad (2)$$

$$m_{П} = 20 \times 745 = 14900 \text{ кг}$$

Давление насыщенного пара при расчетной температуре жидкости определялась по формуле П.4.68.1 [4]:

$$P_H = 10^{A-B/(T_p+Ca)} \quad (3)$$

где A , B , Ca - константа уравнения Антуана;

T_p - расчётная температура, $^{\circ}\text{C}$.

$$P_H = 10^{4,123-664,976/(38+221,695)} = 36,518 \text{ кПа}$$

Интенсивность испарения W определяется по формуле П.3.68 [2]:

$$W = 10^{-6} * \eta \sqrt{M} \times P_H \quad (4)$$

где η - коэффициент, принимаемый по таблице А.2 в зависимости от скорости и температуры воздушного потока над поверхностью испарения;

P_H - давление насыщенного пара при расчетной температуре жидкости, кПа .

$$W = 10^{-6} \times 1 \times 98,2^{0,5} \times 36,518 = 3,619 \times 10^{-4}$$

Время полного испарения жидкости определялась по формуле:

$$T = m/(F_{и} W) \quad (5)$$

							Лист
							78
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

$$T = 14900 / (3000 \times 3,619 \times 10^{-4}) = 13724,706 \text{ с}$$

Так как вышедшая масса более 20кг, $T = \min(T; 3600)$

$$T = 3600 \text{ с}$$

Масса испарившейся жидкости определялась по формуле А.12 [3]:

$$m = W F_{\text{и}} T \quad (6)$$

$$m = 3,619 \times 10^{-4} \times 3000 \times 3600 = 3908,28 \text{ кг}$$

Расчет необходимых параметров для расчета сценариев с иницирующим событием Разгерметизация, характеризующаяся диаметром отверстия истечения 100мм

Так как, время истечения не ограничено из аппарата выйдет весь объем вещества

$$V_{\text{ж}} = 25 \times 0,8 = 20 \text{ м}^3$$

$$F_{\text{п}} = 150 \times 20 = 3000 \text{ м}^2$$

$$m_{\text{п}} = 20 \times 745 = 14900 \text{ кг}$$

$$P_{\text{Н}} = 10^{4,123-664,976/(38+221,695)} = 36,518 \text{ кПа}$$

$$W = 10^{-6} \times 1 \times 98,2^{0.5} \times 36,518 = 3,619 \times 10^{-4}$$

$$T = 14900 / (3000 \times 3,619 \times 10^{-4}) = 13724,706 \text{ с}$$

Так как вышедшая масса более 20кг, $T = \min(T; 3600)$

$$T = 3600 \text{ с}$$

$$m = 3,619 \times 10^{-4} \times 3000 \times 3600 = 3908,28 \text{ кг}$$

Расчет необходимых параметров для расчета сценариев с иницирующим событием Полное разрушение

Так как, технологическая установка не ограничена обвалованием или (ограждением) выйдет весь объем содержимого вещества:

$$V_{\text{ж}} = 20 = 20 \text{ м}^3$$

Площадь пролива указанного выше количества вещества определялась по формуле П.3.27 [2]:

$$F = f_{\text{р}} \times V_{\text{ж}} \quad (7)$$

где f - удельная площадь розлива, м^{-1} ,

							Лист
							79
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

V- объем вышедшей жидкости, м³.

$$F_{\text{ПРХ}} = 150 \times 20 = 3000 \text{ м}^2$$

$$m_{\text{П}} = 20 \times 745 = 14900 \text{ кг}$$

$$P_{\text{Н}} = 10^{4,123-664,976/(38+221,695)} = 36,518 \text{ кПа}$$

$$W = 10^{-6} \times 1 \times 98,2^{0,5} \times 36,518 = 3,619 \times 10^{-4}$$

$$T = 14900 / (3000 \times 3,619 \times 10^{-4}) = 13724,706 \text{ с}$$

Так как вышедшая масса более 20кг, $T = \min(T; 3600)$

$$T = 3600 \text{ с}$$

$$m = 3,619 \times 10^{-4} \times 3000 \times 3600 = 3908,28 \text{ кг}$$

Определение интенсивности теплового излучения пожара пролива (сценарий № В.1, В.4, В.5, В.8, В.9, В.14)

Принята максимальная скорость ветра, соответствующая выбранному региону: 3,9 м/с.

Скорость ветра: 3,9 м/с.

Плотность насыщенных паров топлива при температуре кипения определялась по уравнению Менделеева-Клапейрона:

$$\rho_p = p \times M / (R \times T_{\text{кип}}) \quad (8)$$

где p - атмосферное давление, кПа;

M - молярная масса г/моль;

R - универсальная газовая постоянная (8,31 Дж/(моль $\times$ К));

$T_{\text{кип}}$ - температура кипения вещества, К.

$$\rho_{\text{П}} = 101,3 \times 98,2 / (8,31 \times (273,15 + 33)) = 3,91 \text{ кг/м}^3.$$

Эффективный диаметр пролива d определялся по формуле ПЗ.58 [2]:

$$d = \sqrt{\frac{4 \times F}{\pi}} \quad (9)$$

где F - площадь пролива, м.

$$d = (4 \times 3000 / 3,14)^{0,5} = 61,82 \text{ м.}$$

							Лист
							80
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

Значения среднеповерхностной интенсивности теплового излучения пламени E_f и удельной массовой скорости выгорания m' принимались путем интерполяции значений таблицы ПЗ.4 [1]:

$$m' = 0,06 \text{ кг}/(\text{м}^2 \times \text{с});$$

$$E_f = 25 \text{ кВт}/\text{м}^2.$$

Параметр u_* определялся по формуле ПЗ.60 [2]:

$$u_* = \frac{w_0}{\sqrt[3]{\frac{m' \times g \times d}{\rho_{\text{п}}}}} \quad (10)$$

где $\rho_{\text{п}}$ - плотность насыщенных паров топлива при температуре кипения, $\text{кг}/\text{м}^3$;
 w_0 - скорость ветра $\text{м}/\text{с}$;
 g - ускорение свободного падения ($9,81 \text{ м}/\text{с}^2$).

$$u_* = 3,9/(0,06 \times 9,81 \times 61,82/3,91)^{1/3} = 1,854.$$

Плотность окружающего воздуха ρ определялась по уравнению Менделеева-Клайперона:

$$\rho = p \times M / (R \times T) \quad (11)$$

где p - атмосферное давление, кПа ;
 M - молярная масса $\text{г}/\text{моль}$ (для воздуха 28,98);
 R - универсальная газовая постоянная ($8,31 \text{ Дж}/(\text{моль} \times \text{К})$);
 T - температура окружающей среды, К .

$$\rho_a = 101,3 \times 28,98 / (8,31 \times (273,15 + 38)) = 1,135 \text{ кг}/\text{м}^3.$$

Так как $u_* \geq 1$ длина пламени L определялась по формуле ПЗ.59 [2]:

$$L = 55 \times d \left(\frac{m'}{\rho_a \sqrt{g \times d}} \right)^{0,67} \times u_*^{-0,21} \quad (12)$$

где ρ_a - плотность окружающего воздуха, $\text{кг}/\text{м}^3$.

$$L = 55 \times 61,82 \times (0,06 / (1,135 \times (9,81 \times 61,82)^{0,5}))^{0,67} \times 1,854^{-0,21} = 48,681 \text{ м}.$$

Угол отклонения пламени по вертикали определялся по формуле

							Лист
							81
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

ПЗ.61 [2]:

$$\cos\theta = \begin{cases} 1, & \text{при } u. < 1 \\ u.^{-0,5}, & \text{при } u. \geq 1 \end{cases} \quad (13)$$

$$\theta = \arccos(u.^{-0,5}) = 0,746 \text{ рад.}$$

Время выгорания горючего вещества:

$$T_{\text{в}} = 14900/0.06/3000 = 82.777777777778 \text{ с.}$$

Параметр а определялся по формуле ПЗ.57 [2]:

$$a = \frac{2 \times L}{d} \quad (14)$$

Параметр b определялся по формуле ПЗ.57.1 [2]:

$$b = \frac{2 \times X}{d} \quad (15)$$

Параметр А определялся по формуле ПЗ.57.2 [2]:

$$A = \sqrt{(a^2 + (b + 1)^2 - 2 \times a \times (b + 1) \times \sin\theta)} \quad (16)$$

Параметр В определялся по формуле ПЗ.57.3 [2]:

$$B = \sqrt{(a^2 + (b - 1)^2 - 2 \times a \times (b - 1) \times \sin\theta)} \quad (17)$$

Параметр С определялся по формуле ПЗ.57.4 [2]:

$$C = \sqrt{(1 + (b^2 - 1)\cos^2\theta)} \quad (18)$$

Параметр D определялся по формуле ПЗ.57.5 [2]:

$$D = \sqrt{\left(\frac{b - 1}{b + 1}\right)} \quad (19)$$

Параметр Е определялся по формуле ПЗ.57.6 [2]:

$$E = \frac{a \times \cos\theta}{b - a \times \sin\theta} \quad (20)$$

Параметр F определялся по формуле ПЗ.57.7 [2]:

							Лист
							82
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

$$F = \sqrt{(b^2 - 1)} \quad (21)$$

Коэффициент пропускания атмосферы τ для пожара пролива определялся по формуле ПЗ.62 [2]:

$$\tau = \exp[-7 \times 10^{-4}(X - 0,5 \times d)] \quad (22)$$

где X - расстояние от геометрического центра пролива до облучаемого объекта, м.

Фактор облученности для вертикальных площадок F_v определялся по формуле ПЗ.55 [2]:

$$F_v = \frac{1}{\pi} \times \left\{ -E \times \arctg D + E \times \left[\frac{a^2 + (b+1)^2 - 2 \times b \times (1 + a \times \sin \theta)}{A \times B} \right] \right. \quad (23)$$

$$\times \arctg \left(\frac{A \times D}{B} \right) + \frac{\cos \theta}{C}$$

$$\times \left[\arctg \left(\frac{a \times b - F^2 \times \sin \theta}{F \times C} \right) + \arctg \left(\frac{F^2 \times \sin \theta}{F \times C} \right) \right] \left. \right\}$$

Фактор облученности для горизонтальных площадок F_v определялся по формуле ПЗ.56 [2]:

$$F_H = \frac{1}{\pi} \times \left\{ \arctg \left(\frac{1}{D} \right) + \frac{\sin \theta}{C} \right. \quad (24)$$

$$\times \left[\arctg \left(\frac{a \times b - F^2 \times \sin \theta}{F \times C} \right) + \arctg \left(\frac{F^2 \times \sin \theta}{F \times C} \right) \right]$$

$$- \left[\frac{a^2 + (b+1)^2 - 2 \times (b+1 + a \times b \times \sin \theta)}{A \times B} \right]$$

$$\times \arctg \left(\frac{A \times D}{B} \right) \left. \right\}$$

Угловой коэффициент облученности F_q определялся по формуле ПЗ.54 [2]:

$$F_q = \sqrt{F_v^2 + F_H^2} \quad (25)$$

Интенсивность теплового излучения q , кВт/м² определялся по

							Лист
							83
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

формуле ПЗ.52 [2]:

$$q = E_f \times F_q \times \tau \tag{26}$$

Интенсивность теплового излучения рассчитывалась до значения 1.4 кВт (Без негативных последствий в течение длительного времени).

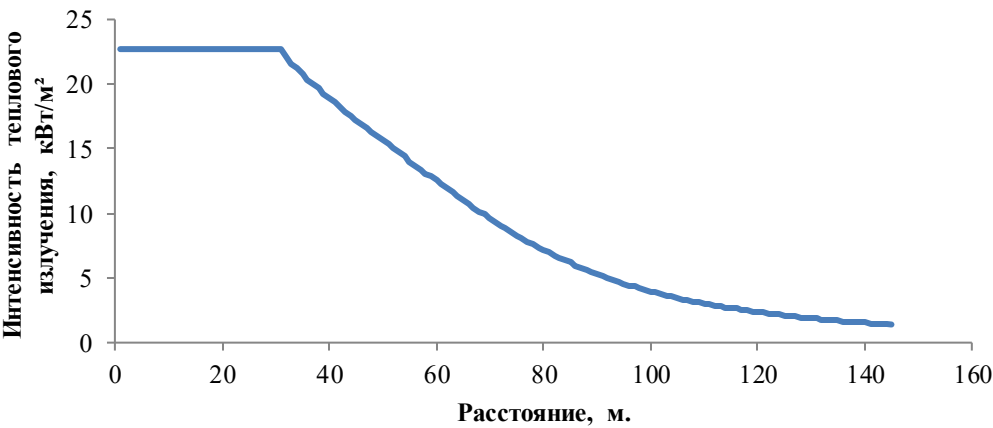


Рисунок 40 – График интенсивности теплового излучения

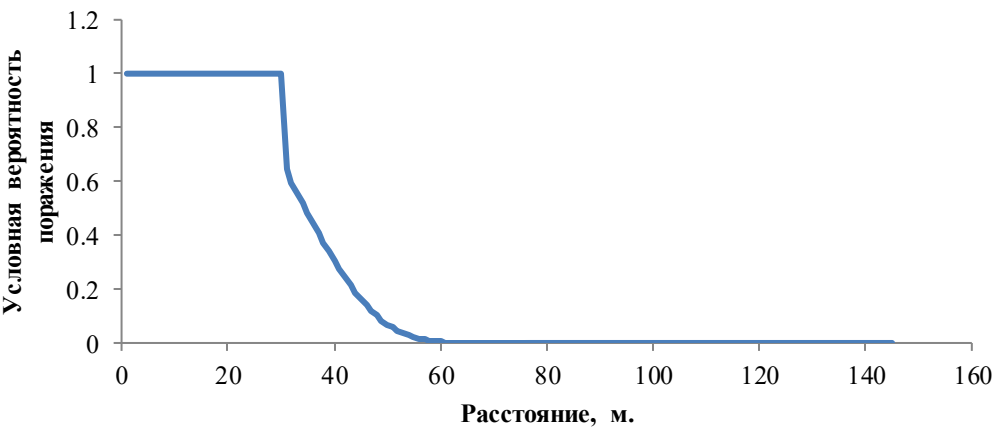


Рисунок 41 – Условная вероятность поражения от расстояния

Определение параметров волны давления при сгорании паровоздушного облака (сценарий № В.3,В.7,В.13)

Ожидаемый режим сгорания облака определялся согласно таблице ПЗ.3 [1]:

класс 5 - дефлаграция.

Видимая скорость фронта пламени U , определяется для рассматриваемого режима по формуле ПЗ.37 [2]:

$$u = k_1 \times M^{1/6} \quad (27)$$

где k_1 - константа, равная 26;

M - масса горючего вещества содержащегося в облаке, кг.

$$u = 43 \times 3908,28^{1/6} = 170,66 \text{ м/с}$$

Скорость фронта пламени для класса 5 не должна превышать значения нижней границы диапазона скорости фронта пламени класса 4 (150 м/с), следовательно:

$$u = 150 \text{ м/с}$$

Удельное энерговыделение $E_{уд}$ определялось по формуле:

$$E_{уд} = \beta E_{уд0} \quad (28)$$

где β - корректировочный параметр;

$E_{уд0}$ - удельная теплота сгорания типичных углеводородов (44)

$$E_{уд} = 1 \times 44 = 44 \text{ МДж/кг}$$

Эффективный энергозапас, определялся с учетом удвоения энергозапаса, по формуле ПЗ.36 [2]:

$$E = M_T E_{уд} \times 2 \quad (29)$$

$$E = 44 \times 3908,28 \times 10^6 \times 2 = 343 \times 10^9 \text{ Дж}$$

Безразмерное расстояние от центра облака R_x определялось по формуле ПЗ.39 [2]:

$$R_x = R / (E/P_0)^{1/3} \quad (30)$$

где R - расстояние от центра облака, м;

P_0 - атмосферное давление, Па;

E - эффективный энергозапас смеси, Дж.

Значение параметра W определялось по формуле ПЗ.46 [2]:

$$W = \frac{u}{C_0} \left(\frac{\sigma - 1}{\sigma} \right) \quad (31)$$

где σ - степень расширения продуктов сгорания (для газопаровоздушных смесей допускается принимать 7);

							Лист
							85
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

u - видимая скорость фронта пламени, м/с;
 C_0 - скорость звука м/с.

Величины безразмерного давления P_{x1} определялись по формуле ПЗ.44 [2]:

$$P_{x1} = \left(\frac{u^2}{C_0^2} \right) \times \left(\frac{\sigma - 1}{\sigma} \right) \times \left(\frac{0,83}{R_x} - \frac{0,14}{R_x^2} \right) \quad (32)$$

Величины безразмерного давления I_{x1} определялись по формуле ПЗ.45 [2]:

$$I_{x1} = W \times (1 - 0,4 \times W) \times \left(\frac{0,06}{R_x} + \frac{0,01}{R_x^2} - \frac{0,0025}{R_x^3} \right) \quad (33)$$

Величины безразмерного давления P_{x2} определялось по формуле ПЗ.40 [2]:

$$\ln(P_{x2}) = -0.9278 - 1.5415 \ln(R_x) + 0.1953 (\ln(R_x))^2 - 0.4818 (\ln(R_x))^3 \quad (34)$$

Величины безразмерного давления I_{x2} определялись по формуле ПЗ.41 [2]:

$$\ln(I_{x2}) = \begin{cases} -3,3228 - 1,3689 \cdot \ln(R_x) - 0,9057 \cdot \ln(R_x)^2 - 0,4818 \cdot \ln(R_x)^3, & R_x \in [0,2; 0,8]; \\ -3,2656 - 0,9641 \cdot \ln(R_x) - 0,0108 \cdot \ln(R_x)^2, & R_x \in [0,8; 50]. \end{cases} \quad (35)$$

Окончательные значения P_x и I_x выбираются из условий:

$$P_x = \min(P_{x1}, P_{x2}); I_x = \min(I_{x1}, I_{x2}) \quad (36)$$

Размерная величина избыточного давления P определялась по формуле ПЗ.42 [2]:

$$\Delta P = P_x P_0 \quad (37)$$

Размерная величина импульса фазы сжатия I^+ определялась по формуле ПЗ.43 [2]:

							Лист
							86
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

$$I^+ = I_x P_0^{2/3} E^{1/3} / C_0 \quad (38)$$

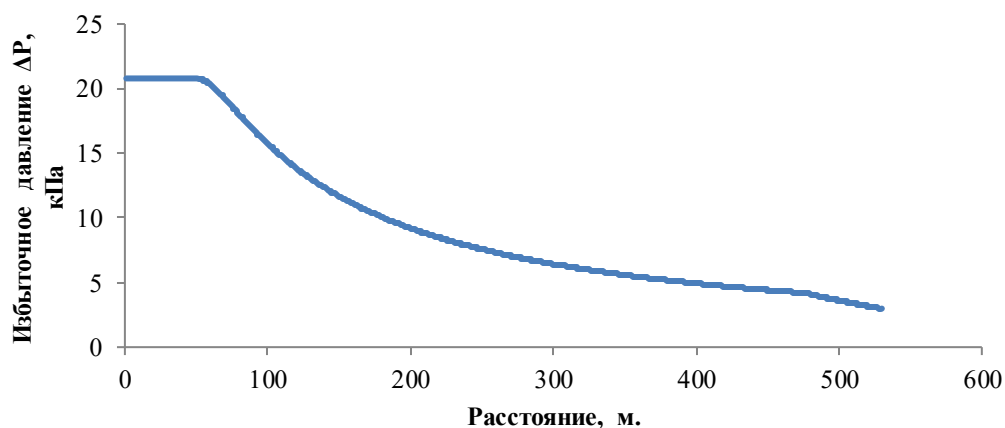


Рисунок 42 – График параметров сгорания паровоздушного облака с избыточным давлением

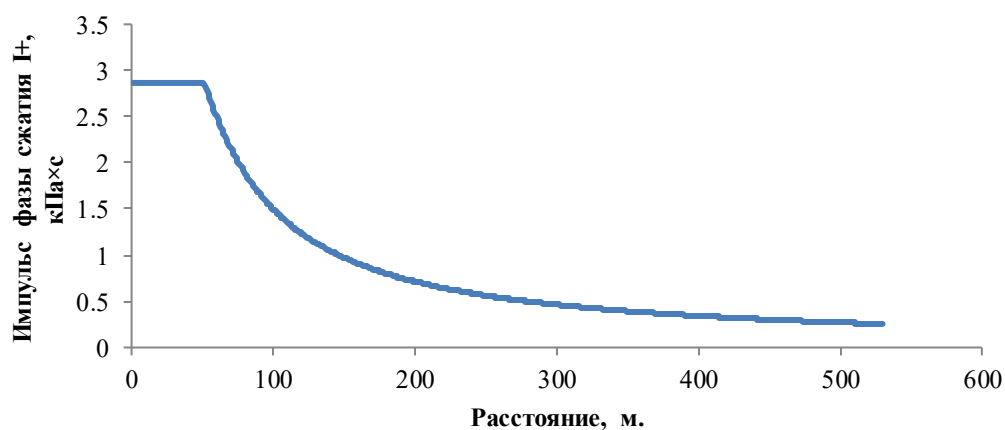


Рисунок 43 – График параметров сгорания паровоздушного облака с избыточным давлением

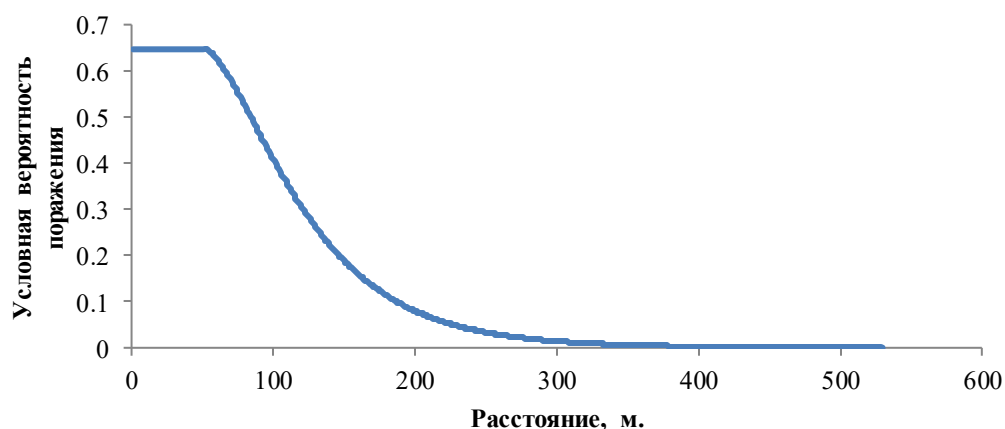


Рисунок 44 – Условная вероятность поражения от расстояния

Расчет радиуса воздействия продуктов сгорания паровоздушного облака в случае воздействия пожара-вспышки (сценарий № В.2,В.6,В.12)

							Лист
							87
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

Плотность вещества ρ при расчетной температуре и атмосферном давлении вычислялась по формуле А.2 [3]:

$$\rho = \frac{M}{V_0 \times (1 + 0,00367 \times t_p)} \quad (39)$$

где M – молярная масса, $\text{м}^3 \times \text{кмоль}^{-1}$;
 V_0 – мольный объем, равный $22,413 \text{ м}^3 \times \text{кмоль}^{-1}$;
 t_p – расчетная температура, $^{\circ}\text{C}$.

$$\rho = 98,2/22,413 \times (1+0,00367 \times 38)) = 3,845 \text{ кг} \times \text{м}^{-3}$$

Радиус $R_{\text{НКПР}}$, ограничивающий область концентраций, превышающих нижний концентрационный предел распространения племени, определялся по формуле ПЗ.32 [2]:

$$R_{\text{НКПР}} = 7,8 \left(\frac{m}{\rho \times C_{\text{НКПР}}} \right)^{0,33} \quad (40)$$

где m - масса вещества поступившего в открытое пространство при пожароопасной ситуации, кг;
 ρ - плотность горючего газа при расчетной температуре и атмосферном давлении, $\text{кг}/\text{м}^3$;
 $C_{\text{НКПР}}$ - нижний концентрационный предел распространения пламени, % об.

$$R_{\text{НКПР}} = 7,8 \times (3908,28/3,845/1,06)^{0,33} = 75,18 \text{ м.}$$

Высота $Z_{\text{НКПР}}$ ограничивающая область концентраций, превышающих нижний концентрационный предел распространения племени, определялась по формуле ПЗ.33 [2]:

$$Z_{\text{НКПР}} = 0,26 \times \left(\frac{m}{\rho \times C_{\text{НКПР}}} \right)^{0,33} \quad (41)$$

где m - масса вещества поступившего в открытое пространство при пожароопасной ситуации, кг;
 ρ - плотность ГГ или паров ЛВЖ при расчетной температуре и атмосферном давлении, $\text{кг}/\text{м}^3$;
 $C_{\text{НКПР}}$ - нижний концентрационный предел распространения пламени, % об.

$$Z_{\text{НКПР}} = 0,26 \times (3908,28/3,845/1,06)^{0,33} = 2,51 \text{ м.}$$

Радиус воздействия высокотемпературных продуктов сгорания при

							Лист
							88
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

пожаре вспышке R_F определялся по формуле:

$$R_F = 1,2R_{\text{НКПР}} \quad (42)$$

$$R_F = 1,2 \times 75,18 = 90,22 \text{ м.}$$

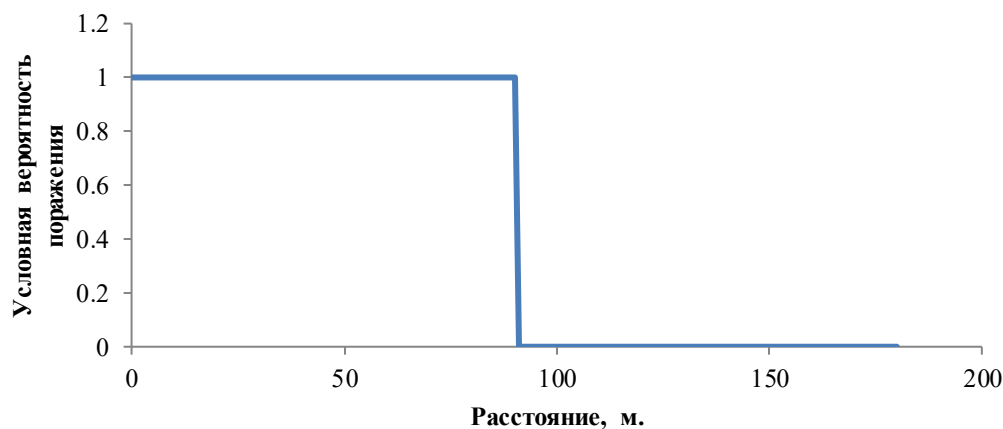


Рисунок 45 – Условная вероятность поражения от расстояния

Определение интенсивности теплового излучения огненного шара (сценарий № В.10)

Эффективный диаметр огненного шара D_s , м, определялся по формуле ПЗ.64 [2]:

$$D_s = 6,48m^{0,325} \quad (43)$$

где m - масса продукта, поступившего в окружающее пространство, кг.

$$D_s = 6,48 \times 14900^{0,325} = 147,184 \text{ м.}$$

Время существования огненного шара t_s , с, определялась по формуле ПЗ.65 [2]:

$$t_s = 0,852m^{0,26} \quad (44)$$

$$t_s = 0,852 \times 14900^{0,26} = 10,363 \text{ с.}$$

При расчете теплового излучения огненного шара среднеповерхностную интенсивность теплового излучения E_f допускается принимать равной 350 кВт/м²

$$E_f = 350 \text{ кВт/м}^2.$$

							Лист
							89
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

Высоту центра огненного шара допускается принимать равной D_s .

$$H = 147,184 \text{ м.}$$

Коэффициент пропускания атмосферы τ для огненного шара рассчитывался по формуле ПЗ.66 [2]:

$$\tau = \exp \left[-7,0 \times 10^{-4} \left(\sqrt{r^2 + H^2} - \frac{D_s}{2} \right) \right] \quad (45)$$

где r - расстояние от облучаемого объекта до точки на поверхности земли непосредственно под центром огненного шара, м.

Значение F_q определялось по формуле ПЗ.63 [2]:

$$F_q = \frac{D_s^2}{4(H^2 + r^2)} \quad (46)$$

Интенсивность теплового излучения q , кВт/м², для огненного шара определялась по формуле ПЗ.52 [2]:

$$q = E_f F_q \tau \quad (47)$$

Интенсивность теплового излучения рассчитывалась до значения 1,4 кВт (Без негативных последствий в течение длительного времени).

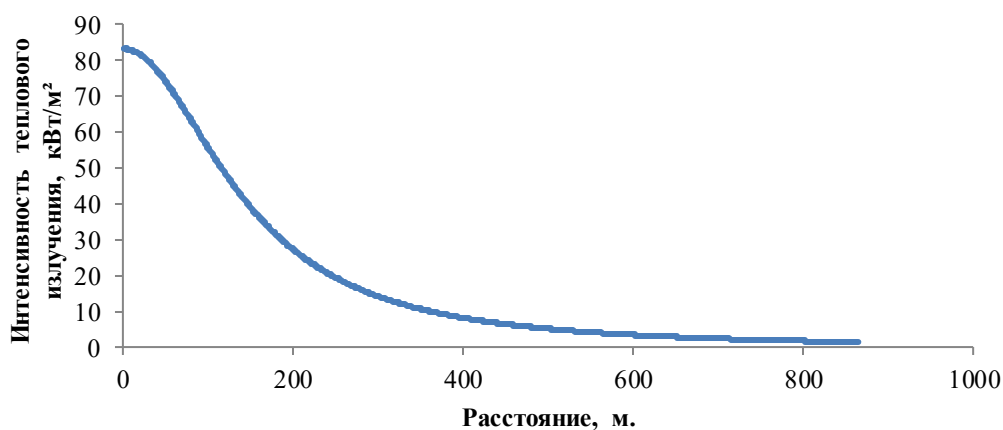


Рисунок 46 – График интенсивности теплового излучения при образовании огненного шара

							Лист
							90
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

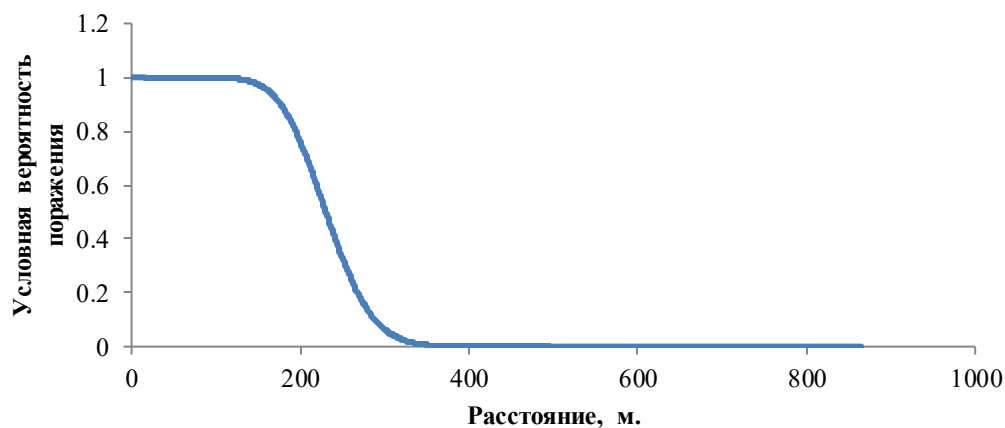


Рисунок 47 – Условная вероятность поражения от расстояния

Определение параметров волны давления при взрыве установки с перегретым веществом (сценарий № В.11)

Эффективная энергия взрыва E_{eff} рассчитывалась по формуле ПЗ.50 [2]:

$$E_{eff} = K \times C_p \times m \times (T - T_b) \quad (48)$$

где P_{val} - давление срабатывания предохранительного устройства, кПа;
 A , B , C_A - константы Антуана.

$$E_{eff} = 0.5 \times 2000 \times 14900 \times (310.15 - 306.15) = 59600000$$

Параметр $m_{пр}$ определялся по формуле ПЗ.49 [2]:

$$m_{пр} = \left(\frac{E_{eff}}{4,52} \right) \times 10^{-6} \quad (49)$$

$$m_{пр} = (596 \times 10^5 / 4,52) \times 10^{-6} = 13,186$$

Избыточное давление ΔP в волне давления, образующееся при взрыве резервуара, в очаге пожара, определялась по формуле ПЗ.47 [2]:

$$\Delta P = P_0 \times \left(0,8 \times \frac{m_{пр}^{0,33}}{r} + 3 \times \frac{m_{пр}^{0,66}}{r^2} + 5 \times \frac{m_{пр}}{r^3} \right) \quad (50)$$

Импульс I^+ в волне давления, образующееся при взрыве резервуара, в очаге пожара, определялась по формуле ПЗ.48 [2]:

							Лист
							91
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

$$I^+ = 123 \frac{m_{\text{ПР}}^{0,66}}{r} \quad (51)$$

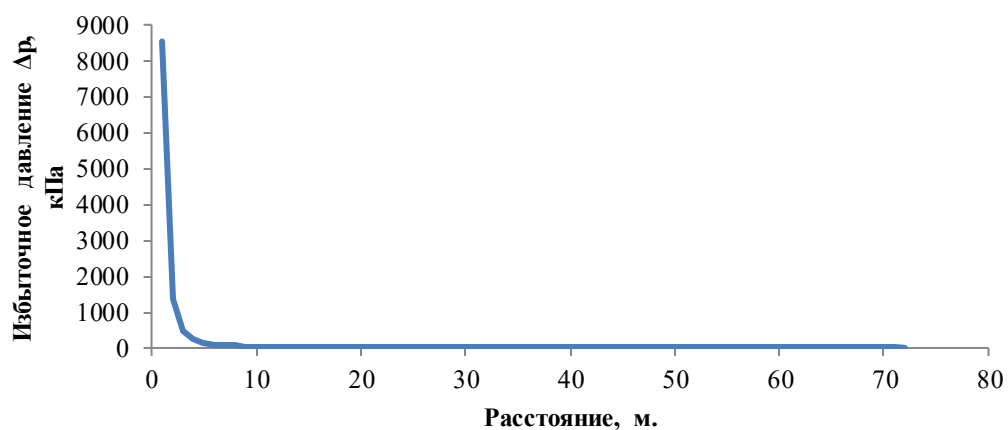


Рисунок 48 – График параметров волны давления при взрыве установки с перегретым веществом

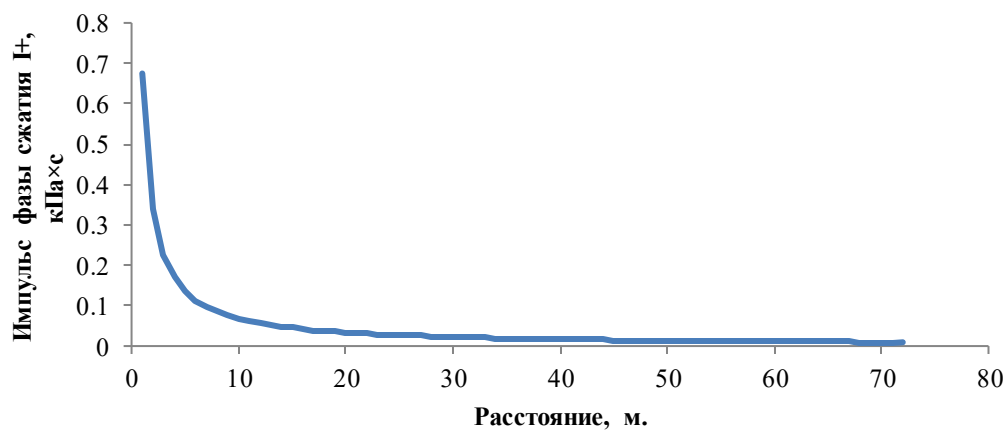


Рисунок 49 – График параметров волны давления при взрыве установки с перегретым веществом

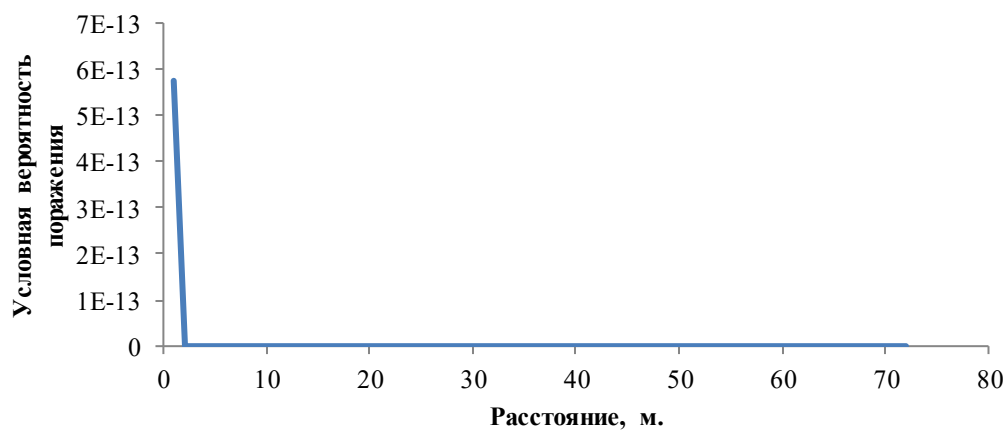


Рисунок 50 – Условная вероятность поражения от расстояния

График потенциального риска для объекта Автоцистерна

							Лист
							92
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

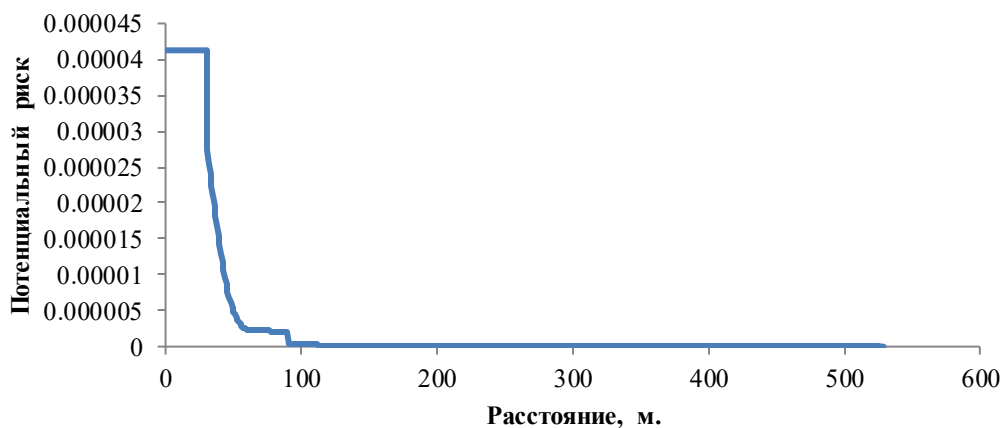


Рисунок 51 – График потенциального риска для объекта Автоцистерна

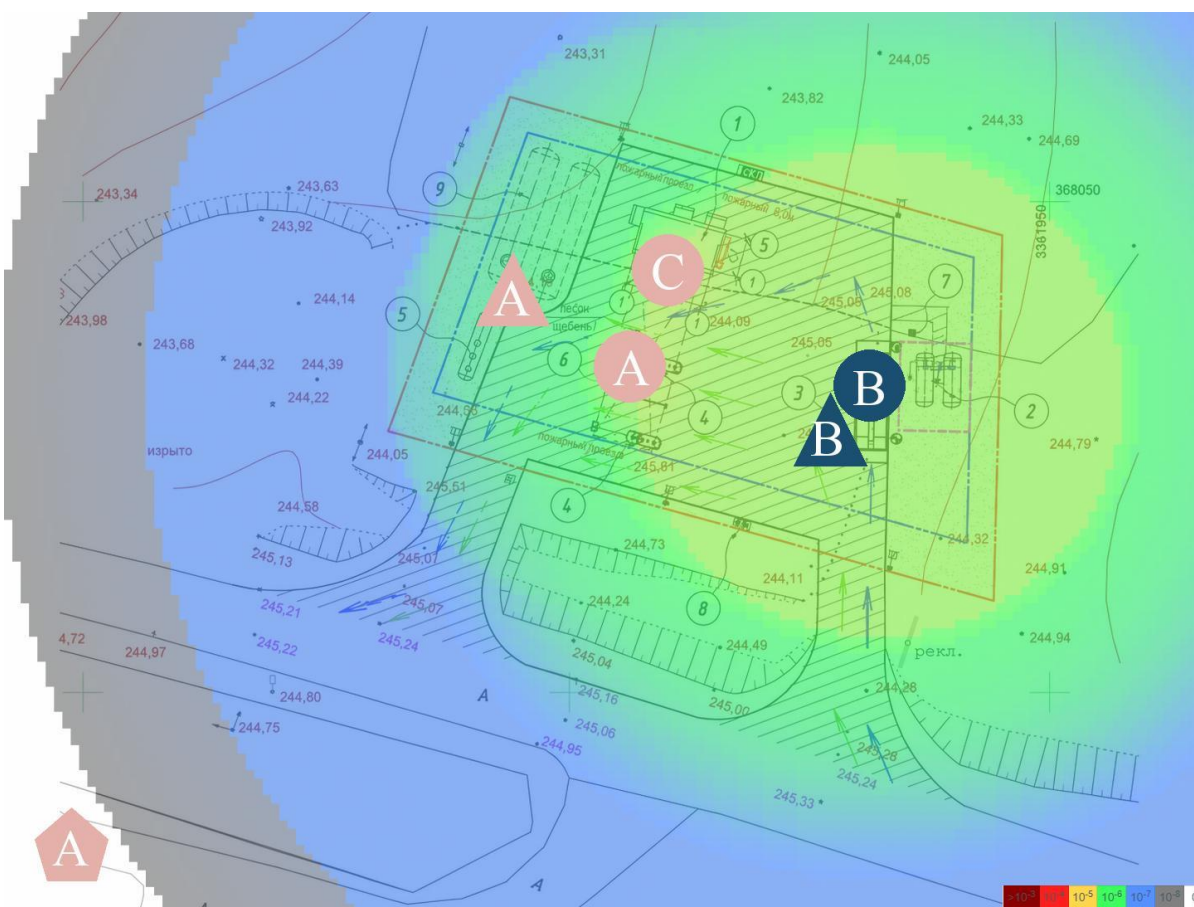


Рисунок 52 – Схема территории объекта с зонами риска

Таблица 19 – Список технологических установок на территории

Название	Цветовое обозначение
ТРК (ЛВЖ и ГЖ)	
Автоцистерна	

Таблица 20 – Представители профессий пребывающих на территории

Профессия	Количество рабочих дней в году	Цветовое обозначение
Изм.	Кол.уч.	Лист
Лист	№ док.	Подпись
Дата		

Оператор	247	
Водитель автоцистерны	247	

Вероятность присутствия работника в зоне на территории определяется как соотношение рабочих часов в течение года к общему количеству часов в году. Расчетom принято, что в году 8760 часов (365 дней по 24 часа).

Таблица 21 – Вероятность присутствия работника в зоне на территории

Зона	Профессия	Время присутствия на территории, часов в сутки	Вероятность присутствия
А	Оператор	1	0,028
В	Водитель автоцистерны	1	0,028

Таблица 22 – Список объектов, находящихся в селитебной зоне

Название	Количество людей	Цветовое обозначение
Жилой дом	100	

Таблица 23 – Итоговая таблица значений пожарных рисков на территории производственного объекта

Профессия	Зона	Вероятность присутствия	Индивидуальный пожарный риск в зданиях	Индивидуальный пожарный риск на территории	Нормативное значение	Итоговый индивидуальный пожарный риск на территории
Оператор	А	0,028	0	$1,230 \times 10^{-8}$	1×10^{-6}	$1,230 \times 10^{-8}$
Водитель автоцистерны	В	0,028	0	$5,153 \times 10^{-8}$	1×10^{-6}	$5,153 \times 10^{-8}$

При расчете социального риска для людей находящихся в селитебной зоне вблизи объекта, учитывались вероятности сценариев с средним количеством погибших более 10 человек. Список таких сценариев приведен в таблице ниже.

Таблица 24 – Список сценариев приводящих к гибели более 10 человек

							Лист
							94
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

Название объекта	Название сценария	№ сценария(ев)	Вероятность	Точка на территории	Кол-во объектов в точке	Часов в сутки	Сел. объект	Расстояние	Кол-во человек	Вероятность поражения	Кол-во возможных жертв
Автоцистерна	Волна давления при сгорании паровоздушного облака	В.3, В.7, В.13	$2,754 \times 10^{-8}$	В	1	1	Жилой дом	113	100	0,334	34
Автоцистерна	Образование огненного шара	В.10	$1,667 \times 10^{-12}$	В	1	1	Жилой дом	113	100	0,998	100

Таблица 25 – Значения индивидуального и социального риска на прилегающей территории

Селитебный объект	Точка	Количество часов	Кол-во людей	Индивидуальный пожарный риск	Нормативное значение инд. пожарного риска	Социальный пожарный риск	Нормативное значение соц. пожарного риска
Жилой дом	А	24	100	$9,200 \times 10^{-9}$	1×10^{-8}	$2,754 \times 10^{-8}$	1×10^{-7}

Вывод о соответствии/несоответствии расчетных величин пожарного риска соответствующим нормативным значениям пожарных рисков

1. Анализ пожарной опасности объекта защиты: «АЗС № 125» проведен с учётом технологических параметров ведения процессов, конструктивных особенностей и размещения технологического оборудования и в соответствии с требованиями действующих нормативно-технических документов.

2. Результаты проведённых расчетов показали, что расчетные величины пожарных рисков R_p , на объекте защиты: «АЗС № 125» не превышают нормативные значения пожарных рисков, установленные в ФЗ № 123 «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»:

- индивидуальный пожарный риск на объекте защиты:

$$R_{m(p)} = 5,153 \times 10^{-8} \leq R_{m(n)} = 1,000 \times 10^{-6}$$

- индивидуальный пожарный риск в жилой зоне, общественно-деловой зоне или зоне рекреационного назначения вблизи объекта:

$$R_{(p)} = 9,200 \times 10^{-9} \leq R_{(n)} = 1,000 \times 10^{-8}$$

- социальный пожарный риск в жилой зоне, общественно-деловой зоне или зоне рекреационного назначения вблизи объекта:

$$S_{(p)} = 2,754 \times 10^{-8} \leq S_{(n)} = 1,000 \times 10^{-7}$$

							Лист
							96
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

Литература

1. Федеральный закон "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" от 22.07.2008 N 123-ФЗ
2. Приказ МЧС России от 26 июня 2024 г. № 533 “Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах”)
3. СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности (с изм., утв. приказом МЧС России от 9 декабря 2010 г. № 643).
4. Пособие по определению расчетных величин пожарного риска для производственных объектов. М.: ВНИИПО, 2012. 242 с.
5. ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования. Измененная редакция, Изм. № 1.
6. ГОСТ 12.1.044-89*. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения.
7. НПБ 23-2001. Пожарная опасность технологических сред. Номенклатура показателей.
8. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения. Справ. изд.: в 2 книгах / А.Н. Баратов, А.Я. Корольченко, Г.Н. Кравчук и др. – М.: Химия, 1990. – ISBN 5-7245-0408-1.
9. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения. Справочник: в 2-х ч. – 2-е изд., перераб. и доп. / А.Я. Корольченко, Д.А. Корольченко. – М.: Ассоциация «Пожнаука», 2004. – ISBN 5-901283-02-3.
10. Постановление Правительства РФ от 22.07.2020 N 1084 "О порядке проведения расчетов по оценке пожарного риска
11. СП 505.1311500.2021 «Расчет пожарного риска. Требования к оформлению»

							Лист
							97
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		