

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**
ЮРГИНСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
Федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт: Юргинский технологический институт
Направление подготовки: 20.03.01 «Техносферная безопасность»
ООП: «Защита в чрезвычайных ситуациях»

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

Тема работы
Организация и ведение АСР при аварии со взрывом на пожаровзрывоопасном объекте

УДК 614.842.663

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
17Г91	Тищук Анатолий Александрович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ЮТИ ТПУ	Мальчик А.Г.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ЮТИ ТПУ	Полицинская Е.В.	к.пед.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель ЮТИ ТПУ	Деменкова Л.Г.	к.пед.н.		

Нормоконтроль

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ЮТИ ТПУ	Мальчик А.Г.	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП, должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель ЮТИ ТПУ	Луговцова Н.Ю.	к.т.н.		

Юрга – 2023 г.

**ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП
НАПРАВЛЕНИЯ 20.03.01 – «ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ»**

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК(У)-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
УК(У)-3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
УК(У)-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(-ых) языке(-ах)
УК(У)-5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах
УК(У)-6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
УК(У)-7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
УК(У)-8	Способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способность учитывать современные тенденции развития техники и технологий в области обеспечения техносферной безопасности, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий в своей профессиональной деятельности.
ОПК(У)-2	Способность использовать основы экономических знаний при оценке эффективности результатов профессиональной деятельности
ОПК(У)-3	Способность ориентироваться в основных нормативно-правовых актах в области обеспечения безопасности
ОПК(У)-4	Способность пропагандировать цели и задачи обеспечения безопасности человека и окружающей среды
ОПК(У)-5	Готовность к выполнению профессиональных функций при работе в коллективе
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-5	Способность ориентироваться в основных методах и системах обеспечения техносферной безопасности, обоснованно выбирать известные устройства, системы и методы защиты человека и окружающей среды от опасностей
ПК(У)-6	Способность принимать участие в установке (монтаже), эксплуатации средств защиты
ПК(У)-7	Способность организовывать и проводить техническое обслуживание, ремонт, консервацию и хранение средств защиты, контролировать состояние используемых средств защиты, принимать решения по замене (регенерации) средства защиты
ПК(У)-8	Способность выполнять работы по одной или нескольким профессиям рабочих, должностям служащих
ПК(У)-9	Готовность использовать знания по организации охраны труда, охраны окружающей среды и безопасности в чрезвычайных ситуациях на объектах экономики
ПК(У)-10	Способность использовать знание организационных основ безопасности различных производственных процессов в чрезвычайных ситуациях
ПК(У)-11	Способность организовывать, планировать и реализовывать работу исполнителей по решению практических задач обеспечения безопасности человека и окружающей среды
ПК(У)-12	Способность применять действующие нормативные правовые акты для решения задач обеспечения безопасности объектов защиты

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт: Юргинский технологический институт
Направление подготовки: 20.03.01 «Техносферная безопасность»
Профиль: «Защита в чрезвычайных ситуациях»

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП
_____ Н.Ю. Луговцова
« ___ » _____ 2023 г.

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

Обучающийся:

Группа	ФИО
17Г91	Тищук Анатолий Александрович

Тема работы:

Организация и ведение АСР при аварии со взрывом на пожаровзрывоопасном объекте	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	от 31.01.2023 г. № 31-76/с

Срок сдачи студентами выполненной работы:	09.06.2023 г.
---	---------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе: (наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный периодический, циклический и т.д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к функционированию (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации объекта, влияния на окружающую среду, энергозатратам, экономический анализ и т.д.)	Резервуар с этиленом на территории ООО «Томскнефтехим»: - агрегатное состояние ТВС: газовая; - концентрация горючего в смеси, $C_{г} = 0,07 \text{ кг/м}^3$; - стехиометрическая концентрация вещества в смеси с воздухом, $C_{ст} = 0,077 \text{ кг/м}^3$; - масса топлива, содержащегося в облаке, $M_{г} = 10000 \text{ кг}$; - удельная теплота сгорания топлива, $q_{г} = 4,7 \cdot 10^7 \text{ Дж/кг}$; - окружающее пространство: открытое (вид 4, слабо загромождённое и свободное пространство).
Перечень разделов пояснительной записки подлежащих исследованию, проектированию и разработке: (аналитический обзор литературных источников с целью выяснения достижений мировой науки и техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе)	1. Изучить литературные данные по вопросам обеспечения промышленной безопасности на нефтеперерабатывающих предприятиях 2. Рассчитать последствия взрыва ТВС в результате разгерметизации резервуара с этиленом на расстоянии 110 м. 3. Рассчитать интенсивность теплового воздействия огненного шара, определить время существования огненного шара, дозы

	теплового излучения, и вероятности поражения персонала от теплового воздействия. 4. Рассчитать силы и средства, необходимые для локализации и ликвидации ЧС.
Перечень графического материала: <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Схема оповещения при аварии на ООО «Томскнефтехим»
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Полицинская Е.В., к.пед.н.
Социальная ответственность	Деменкова Л.Г., к.пед.н.
Нормоконтроль	Мальчик А.Г., к.т.н.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языке:	
Реферат	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	02.02.2023 г.
---	---------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ЮТИ ТПУ	Мальчик А.Г.	к.т.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
17Г91	Тищук А.А.		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 96 страниц, 3 рисунка, 13 таблиц, 51 источник, 4 приложения.

Ключевые слова: АВАРИЯ, УГЛЕВОДОРОДЫ, ЭТИЛЕН, ВЗРЫВ ТВС, ОГНЕННЫЙ ШАР, ЗАВАЛ, ПОЖАР, АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ.

Объектом исследования является изотермическое хранилище этилена, расположенное на территории нефтехимического предприятия ООО «Томскнефтехим».

Цель работы – организация и ведение аварийно-спасательных работ при аварии со взрывом на нефтехимическом предприятии ООО «Томскнефтехим».

В результате выполнения выпускной квалификационной работы рассмотрены два сценария аварии – взрыв облака ТВС и мгновенное воспламенение с образованием огненного шара. При взрыве облака ТВС рассчитаны параметры воздушной ударной волны, определены вероятность повреждения здания (цеха подготовки сырья), и вероятность причинения вреда здоровью персонала, рассчитано необходимое количество сил и средств для проведения аварийно-спасательных и других неотложных работ при возникновении завала. При мгновенном воспламенении с образованием огненного шара определены характеристики теплового воздействия, вероятность поражения персонала тепловым излучением, последствия огненного шара (пожар в резервуаре и обваловании), рассчитано необходимое количество сил и средств для ликвидации пожара.

ABSTRACT

The final qualifying work contains 96 pages, 3 figures, 13 tables, 51 sources, 4 appendices.

Keywords: ACCIDENT, HYDROCARBONS, ETHYLENE, EXPLOSION OF FA, FIERY SPHERE, BLOCKAGE, FIRE, EMERGENCY AND RESCUE WORKS.

The object of the study is an isothermal ethylene storage located on the territory of the petrochemical enterprise OOO «Tomskneftekhim».

The purpose of the work is to organize and conduct emergency rescue operations in the event of an explosion accident at the petrochemical enterprise OOO «Tomskneftekhim».

As a result of the final qualifying work, two accident scenarios were considered – an explosion of a fuel assembly and instantaneous ignition with the formation of a fireball. During the explosion of the fuel assembly, the parameters of the air shock wave were calculated, the probability of damage to the building (raw material preparation shop) and the probability of harm to the health of personnel were determined, the necessary amount of forces and means for emergency rescue and other urgent work in the event of a blockage was calculated. In case of instantaneous ignition with the formation of a fiery sphere, the characteristics of thermal exposure, the probability of damage to personnel by thermal radiation, the consequences of a fiery sphere (fire in the tank and collapse) were determined, the necessary amount of forces and means for fire elimination was calculated.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	10
Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки	12
1 Основной раздел	14
1.1 Обзор литературы	14
1.1.1 Потенциальная опасность нефтехимических предприятий	14
1.1.2 Потенциальная опасность технологического оборудования нефтехимических предприятий	15
1.1.3 Анализ статистики чрезвычайных ситуаций на объектах нефтепромышленного комплекса	16
1.1.4 Причины возникновения аварийных ситуаций на взрывопожароопасном объекте	17
1.1.5 Требования к обеспечению промышленной безопасности на взрывопожароопасном объекте	18
1.1.6 Декларирование промышленной безопасности опасных производственных объектов	23
1.2 Описание нефтехимического предприятия ООО «Томскнефтехим»	26
1.2.1 Общие сведения о предприятии и его деятельности	26
1.2.2 Краткое географическое и гидрометеорологическое описание района расположения ООО «Томскнефтехим»	28
1.2.3 Краткое описание местности расположения ООО «Томскнефтехим» и объектов, расположенных вблизи нефтехимического предприятия	30
1.2.4 Возможные источники ЧС на ООО «Томскнефтехим»	32
1.3 Расчет последствий сценариев разгерметизации резервуара и определение необходимого количества сил и средств для ликвидации ЧС	35
1.3.1 Расчет и оценка последствий взрыва топливно-воздушной смеси, определение количества сил и средств, необходимых для проведения аварийно-спасательных и других неотложных работ при возникновении взрыва и завала	35
1.3.1.1 Краткое описание сложившейся обстановки, при разгерметизации резервуара с этиленом	36
1.3.1.2 Расчет последствий разрушения резервуара с этиленом	37
1.3.1.3 Оценка поражающего действия от взрыва облака ТВС	40
1.3.1.4 Расчет сил и средств для проведения аварийно-спасательных и других неотложных работ при возникновении взрыва и завала	43

1.3.2 Расчет и оценка последствий возникновения огненного шара при разгерметизации резервуара с последующим воспламенением содержимого, определение количества сил и средств, необходимых для тушения пожара	52
1.3.2.1 Расчет интенсивности теплового воздействия огненного шара, определение времени существования огненного шара, дозы теплового излучения, и вероятности поражения персонала от теплового воздействия	52
1.3.2.2 Краткое описание последствий огненного шара, образование пожара	54
1.3.2.3 Расчет сил и средств для проведения работ, направленных на ликвидацию пожара	55
1.3.3 Порядок действий при возникновении аварии на ООО «Томскнефтехим»	58
1.3.4 Вывод по основному разделу	60
2 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	62
2.1 Оценка ущерба	62
2.2 Прямые потери предприятия	62
2.3 Расходы на проведение АСДНР	63
2.4 Социально-экономические потери	67
2.5 Экологический ущерб	70
2.6 Вывод по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	70
3 Социальная ответственность	72
3.1 Описание рабочего места оператора технологических установок ООО «Томскнефтехим»	72
3.2 Анализ выявленных вредных факторов производственной среды	72
3.2.1 Электромагнитное излучение	73
3.2.2 Производственный микроклимат	74
3.2.3 Недостаточная освещенность	75
3.2.4 Повышенная концентрация паров нефтепродуктов	78
3.3 Анализ выявленных опасных факторов производственной среды	79
3.3.1 Опасность поражения электрическим током	79
3.3.2 Пожарная опасность	80
3.4 Охрана окружающей среды	80
3.5 Защита в чрезвычайных ситуациях	81
3.6 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	84
3.7 Выводы по разделу «Социальная ответственность»	85
Заключение	86
Список используемых источников	88
Приложение А	97
Приложение Б	98

Приложение В
Приложение Г

99
100

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире роль нефтепромышленных предприятий крайне велика. Продукция, производимая на данных предприятиях, широко используется во многих сферах производства. Обеспечение безопасности нефтепромышленного предприятия является одной из главных задач, которые необходимо выполнять, так как опасность таких предприятий заключается в возможном причинении вреда здоровью или гибели персонала и населения, возможных материально-ценностных потерях, и в возможном экологическом ущербе. Источником опасности является ОПО – опасный производственный объект, которым может являться как часть предприятия, так и все предприятие в целом. Одной из составляющих обеспечения безопасности является готовность к проведению аварийно-спасательных и других неотложных работ (АСДНР) в случае возникновения чрезвычайной ситуации (ЧС). Высокая степень готовности к проведению АСДНР позволяет проводить данные работы в кратчайшие сроки и с минимальными потерями (человеческими, материальными, экологическими).

Целью выпускной квалификационной работы является организация и ведение аварийно-спасательных работ при аварии со взрывом на нефтехимическом предприятии ООО «Томскнефтехим».

Задачи:

– проанализировать литературные данные о потенциальной опасности нефтехимических предприятий, проанализировать статистические данные об авариях на объектах нефтепромышленного комплекса, изучить нормативно-правовую базу в области обеспечения безопасности на взрывопожароопасных объектах;

– изучить общие сведения о деятельности ООО «Томскнефтехим», идентифицировать возможные источники возникновения чрезвычайных ситуаций;

– провести расчеты возможных опасных факторов ЧС, спрогнозировать возможные последствия;

– рассчитать количество сил и средств, необходимых для проведения аварийно-спасательных и других неотложных работ.

ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ, НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В работе использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 1510–2022. Нефть и нефтепродукты. Маркировка, упаковка, транспортирование и хранение.

ГОСТ Р 58473–2019. Классификация опасности химической продукции. Общие требования.

ГОСТ 12.1.044–89. Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения.

ГОСТ 12.1.007–76. Система стандартов безопасности труда. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.

ГОСТ Р 12.3.047-2012. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля.

ГОСТ 12.0.003-2015. Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.

ГОСТ 12.1.005-88. Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.

ГОСТ 25070-2013. Этилен. Технические условия.

ГОСТ 12.1.030-81. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление.

ГОСТ 12.1.004-91. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования.

Перечень обозначений и сокращений:

ОПО – опасный производственный объект;

АСДНР – аварийно-спасательные и другие неотложные работы;

ЧС – чрезвычайная ситуация;

АХОВ – аварийно-химически опасное вещество;

ЛВЖ – легковоспламеняющаяся жидкость;

ГЖ – горючая жидкость;

СЗЗ – санитарно-защитная зона;

КИПиА – контрольно-измерительные приборы и автоматика;

ТВС – топливно-воздушная смесь;

НАСФ – нештатное аварийно-спасательное формирование;

ЕДДС – единая дежурная диспетчерская служба.

1 ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ

1.1 Обзор литературы

1.1.1 Потенциальная опасность нефтехимических предприятий

Нефтехимические предприятия представляют собой производственные промышленные объекты, на которых производят продукты нефтехимической переработки, в дальнейшем используемые в качестве сырья в различных сферах производства [1]. Для получения данных продуктов используются углеводороды. Углеводороды относятся к категориям взрывоопасных веществ, легко воспламеняющихся и горючих газов и жидкостей, и подлежат особым условиям хранения [2]. Также в производственном процессе используются АХОВ, которые, как и углеводороды, подлежат особым условиям хранения [3].

Так как в производственном процессе нефтехимических предприятий осуществляются процессы, связанные с использованием, переработкой, хранением и транспортировкой взрывоопасных веществ, легко воспламеняющихся и горючих газов и жидкостей, а также токсичных и высокотоксичных веществ, в соответствии с ФЗ № 116 «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» данные предприятия относятся к опасным производственным объектам [4].

Потенциальная опасность нефтехимических предприятий заключается в том, что при разгерметизации трубопроводов, технологического оборудования или резервуаров возможен выход содержащихся в них веществ, который может привести к возникновению чрезвычайной ситуации [5].

1.1.2 Потенциальная опасность технологического оборудования нефтехимических предприятий

В производственном процессе на нефтехимических предприятиях используются оборудования, для которых характерно наличие большого объема углеводородов и АХОВ, а также режимы работы, связанные с высоким давлением и высокой температурой [6].

Переработка углеводородов, связанная с изменением их свойств и получением готового продукта, осуществляется в несколько этапов на предназначенных специальных машинах и аппаратах. Транспортировка продуктов переработки и сырья осуществляется с помощью локальных систем трубопроводов, а также при применении автомобильного и железнодорожного транспорта (в цистернах). Хранение углеводородов и АХОВ осуществляется на специальных складах и резервуарных парках [7].

Опасность технологического оборудования нефтехимических предприятий заключается в возможном выбросе (проливе) содержащихся легковоспламеняющихся и горючих жидкостей, газов, который может привести к возгоранию, взрыву, а также в выбросе (проливе) АХОВ, который может привести к попаданию в окружающую среду опасных химических веществ в опасных для живых организмов концентрациях [8].

Потенциальная опасность зависит от количества (объема) хранимых веществ, и их физико-химических особенностей, которые влияют на определение класса опасности веществ [9].

Взрывопожароопасность легковоспламеняющихся и горючих жидкостей (газов) определяется показателями, выбор которых зависит от агрегатного состояния вещества (материала) и условий его применения [10].

Для АХОВ, в соответствии с классификацией опасности веществ по степени воздействия на организм, существует четыре класса опасности. Принадлежность к тому или иному классу опасности зависит от того, какой

токсический эффект вызывают различные концентрации данного вещества [11].

1.1.3 Анализ статистики чрезвычайных ситуаций на объектах нефтепромышленного комплекса

Согласно статистическим данным Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор) за последние 5 лет (2018-2022 гг.), на объектах нефтепромышленного комплекса произошло порядка 197 аварий, из которых [12]:

- повреждения технологических установок – 33%;
- выбросы горючих веществ, пожары – 32%;
- взрывы – 20%;
- разрушение сооружений – 15%.

На рисунке 1 представлена общая статистика аварий на объектах нефтепромышленного комплекса.



Рисунок 1 – Общая статистика аварий на объектах нефтепромышленного комплекса

Исходя из статистики, следует, что на пожары и взрывы приходится более 50% всех произошедших аварий, соответственно, следует вывод, что предприятия, относящиеся к нефтепромышленному комплексу, относятся к

категории предприятий с взрывопожароопасным производством и являются взрывопожароопасным объектом.

1.1.4 Причины возникновения аварийных ситуаций на взрывопожароопасном объекте

Причины возникновения аварийных ситуаций на взрывопожароопасном объекте делятся на следующие группы [13-15]:

1) первая группа – причины, связанные с техническим состоянием оборудования (износ, неисправность), резервуаров (эрозия и коррозия стенок, дна), контрольно-измерительных приборов (отказ, неисправность), трубопроводов;

2) вторая группа – причины, связанные с неправильными или ошибочными действиями персонала предприятия при эксплуатации технологического оборудования, при выполнении ремонтных работ;

3) третья группа – внешние воздействия, вызванные опасными природными процессами, авариями на других (соседних) промышленных объектах;

4) четвертая группа – причины, связанные с умышленными, неправомерными действиями, направленными на создание аварийной ситуации (террористические акты, военные действия).

Для исключения возможных причин аварий необходимо соблюдение требований безопасности, предъявляемых для взрывопожароопасных объектов, в соответствии Приказом Ростехнадзора от 15.12.2020 г. № 96 Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств».

1.1.5 Требования к обеспечению промышленной безопасности на взрывопожароопасном объекте

Для взрывопожароопасных объектов, в соответствии с Приказом Ростехнадзора от 15.12.2020 г. № 96 Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств», устанавливаются требования по обеспечению промышленной безопасности, предупреждению аварий и инцидентов на опасных производственных объектах химических, нефтехимических и нефтегазоперерабатывающих производств» [16].

Виды деятельности, согласно ФЗ № 116 «О промышленной безопасности опасных производственных объектов», к которым относятся установленные требования следующие: проектирование, строительство, эксплуатация, реконструкция, техническое перевооружение, капитальный ремонт, консервация и ликвидация ОПО.

Для взрывопожароопасного предприятия необходимо наличие документа, учитывающего взрывобезопасность технологических процессов, использования технологического оборудования [17]. Таким документом является проектная документация, которая содержит результаты анализа всех опасностей технологических процессов. Все изменения, вносимые в проектную документацию при реконструкции опасного производственного объекта, в соответствии с законодательством Российской Федерации о градостроительной деятельности, подлежат экспертизе проектной документации [18].

Ведение технологических процессов осуществляется в соответствии с технологическими регламентами на производство продукции, утвержденными организацией, эксплуатирующей ОПО.

Технологический регламент на производство продукции химических, нефтехимических и нефтегазоперерабатывающих производств – основной технический документ, определяющий оптимальный технологический режим процесса, содержит описание технологического процесса и технологической схемы производства, физико-химические и взрывопожароопасные свойства сырья, полупродуктов и готовой продукции, контроль и управление технологическим процессом, безопасные условия эксплуатации производства, перечень обязательных производственных инструкций и чертеж технологической схемы производства. Технологический регламент на производство продукции разрабатывается на основании проектной документации на ОПО.

Для каждой технологической системы должны предусматриваться меры по максимальному снижению взрывоопасности технологических блоков, входящих в нее, направленные на:

- предотвращение взрывов и пожаров внутри технологического оборудования;

- защиту технологического оборудования от разрушения и максимальное ограничение выбросов из него горючих веществ в атмосферу при аварийной разгерметизации;

- исключение возможности взрывов и пожаров в объеме производственных зданий, сооружений и наружных установок;

- снижение тяжести последствий взрывов и пожаров в объеме производственных зданий, сооружений и наружных установок.

Условия взрывопожаробезопасного проведения отдельного технологического процесса или его стадий обеспечиваются:

- рациональным подбором взаимодействующих компонентов, исходя из условия максимального снижения или исключения образования взрывопожароопасных смесей или продуктов;

– выбором рациональных режимов дозирования компонентов, предотвращением возможности отклонения их соотношений от регламентированных значений и образования взрывоопасных концентраций в системе;

– введением в технологическую среду, исходя из физико-химических условий процесса, дополнительных веществ (инертных разбавителей-флегматизаторов, веществ, приводящих к образованию инертных разбавителей или препятствующих образованию взрывопожароопасных смесей);

– рациональным выбором гидродинамических характеристик процесса (способов и режима перемещения среды и смешения компонентов, напора и скорости потока) и теплообменных характеристик (теплого напора, коэффициента теплопередачи, поверхности теплообмена), а также геометрических параметров аппаратов (устанавливается в исходных данных и проектной документации);

– применением компонентов в фазовом состоянии, затрудняющем или исключаящем образование взрывоопасной смеси;

– выбором значений параметров состояния технологической среды (состава, давления, температуры), снижающих ее взрывопожароопасность;

– надежным энергообеспечением.

Оптимальные условия взрывопожаробезопасности технологической системы обеспечиваются:

– рациональным выбором технологической системы;

– разделением отдельных технологических операций на ряд процессов или стадий, или совмещением нескольких процессов в одну технологическую операцию, позволяющим снизить уровень взрывоопасности;

– введением в технологическую систему дополнительного процесса или стадии очистки от примесей, способных образовывать взрывопожароопасные смеси или повышать степень опасности среды на последующих стадиях.

Технологические системы (технологическое оборудование, трубопроводы, аппараты, технологические линии), в которых при отклонениях от регламентированного режима проведения технологического процесса возможно образование взрывопожароопасных смесей, обеспечиваются системами подачи в них инертных газов, флегматизирующих добавок или другими техническими средствами, предотвращающими образование взрывоопасных смесей или возможность их взрыва при наличии источника инициирования.

Технологические системы должны оснащаться средствами контроля за параметрами, определяющими взрывоопасность процесса, с регистрацией показаний и предаварийной (а при необходимости – предупредительной) сигнализацией их значений, а также средствами автоматического регулирования и противоаварийной защиты.

Для взрывоопасных технологических процессов должны предусматриваться системы противоаварийной защиты, предупреждающие возникновение аварии при отклонении от предусмотренных технологическим регламентом на производство продукции предельно допустимых значений параметров процесса во всех режимах работы и обеспечивающие безопасную остановку или перевод процесса в безопасное состояние по заданной программе.

Технологические системы, в которых обращаются горючие продукты (газообразные, жидкие, твердые), способные образовывать взрывоопасные смеси с воздухом, должны быть герметичными и исключать создание опасных концентраций этих веществ в окружающей среде во всех режимах работы.

Мероприятия по предотвращению взрывов и пожаров в оборудовании разрабатываются с учетом показателей взрывопожароопасности обращающихся веществ при регламентированных параметрах процесса.

При разработке мероприятий по предотвращению взрывов и пожаров в оборудовании должны учитываться технические требования к безопасности оборудования для работы во взрывоопасных средах.

При этом проверяется готовность организации к эксплуатации опасного производственного объекта и к действиям по локализации и ликвидации последствий аварии, а также наличие у нее договора обязательного страхования гражданской ответственности, заключенного в соответствии с законодательством Российской Федерации об обязательном страховании гражданской ответственности владельца опасного объекта за причинение вреда в результате аварии на опасном объекте [19-20].

В соответствии с ФЗ № 116 «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» потенциально-опасные объекты обязаны подлежать регистрации в государственном реестре в порядке, устанавливаемом Правительством Российской Федерации. В зависимости от уровня потенциальной опасности аварий на них для жизненно важных интересов личности и общества подразделяются в соответствии с критериями, указанными в приложении 2 к ФЗ № 116 «О промышленной безопасности опасных производственных объектов», на четыре класса опасности. Присвоение класса опасности опасному производственному объекту осуществляется при его регистрации в государственном реестре.

Руководитель организации, эксплуатирующей опасные производственные объекты, несет ответственность за полноту и достоверность сведений, представленных для регистрации в государственном реестре опасных производственных объектов, в соответствии с законодательством Российской Федерации.

1.1.6 Декларирование промышленной безопасности опасных производственных объектов

Декларирование промышленной безопасности опасных производственных объектов является обязательной процедурой, для опасных производственных объектов I и II класса опасности, в соответствии с ФЗ № 116 «О промышленной безопасности опасных производственных объектов». При декларировании промышленной безопасности предприятие официально показывает свою готовность к обеспечению требований промышленной безопасности. Результатом декларирования является декларация промышленной безопасности объекта [21].

Согласно ФЗ № 116 «О промышленной безопасности опасных производственных объектов», разработка декларации промышленной безопасности предполагает:

- всестороннюю оценку риска аварии и связанной с нею угрозы [22];
- анализ достаточности принятых мер по предупреждению аварий, по обеспечению готовности организации к эксплуатации опасного производственного объекта в соответствии с требованиями промышленной безопасности, а также к локализации и ликвидации последствий аварии на опасном производственном объекте;
- разработку мероприятий, направленных на снижение масштаба последствий аварии и размера ущерба, нанесенного в случае аварии на опасном производственном объекте.

Декларация промышленной безопасности разрабатывается в составе проектной документации на строительство, реконструкцию опасного производственного объекта, а также документации на техническое перевооружение, консервацию, ликвидацию опасного производственного объекта.

Декларация промышленной безопасности находящегося в эксплуатации опасного производственного объекта разрабатывается вновь:

– в случае истечения десяти лет со дня внесения в реестр деклараций промышленной безопасности последней декларации промышленной безопасности;

– в случае изменения технологических процессов на ОПО, либо увеличения (более чем на 20%) количества опасных веществ, которые находятся или могут находиться на ОПО;

– в случае изменения требований промышленной безопасности;

– по предписанию федерального органа исполнительной власти в области промышленной безопасности или его территориального органа в случае выявления несоответствия сведений, содержащихся в декларации промышленной безопасности, сведениям, полученным в ходе осуществления федерального государственного надзора в области промышленной безопасности.

Руководитель организации, эксплуатирующей опасный производственный объект, несет ответственность за полноту и достоверность сведений, содержащихся в декларации промышленной безопасности, в соответствии с законодательством Российской Федерации.

Декларацию промышленной безопасности представляют органам государственной власти, органам местного самоуправления, общественным объединениям и гражданам в порядке, который установлен Правительством Российской Федерации [23].

Декларация промышленной безопасности вносится в реестр деклараций промышленной безопасности в течение пяти рабочих дней со дня поступления соответствующих документов. Ведение реестра деклараций промышленной безопасности осуществляется федеральным органом исполнительной власти в области промышленной безопасности в соответствии с административным регламентом [24].

Порядок оформления декларации промышленной безопасности опасных производственных объектов и перечень включаемых в нее сведений устанавливает требования к составу сведений, которые подлежат включению в декларацию промышленной безопасности, и требования к ее оформлению [25].

При оформлении декларации в составе проектной документации должны указываться сведения о предусмотренных проектной документацией мерах по предупреждению аварий.

Декларация промышленной безопасности состоит из следующих структурных элементов:

– титульный лист (является первой страницей декларации и служит источником информации, необходимой для обработки и поиска этого документа);

– данные об организации-разработчике декларации (включают в себя наименование организации, разработавшей декларацию, список исполнителей);

– раздел 1 «Общие сведения» (включают реквизиты организации, обоснование декларирования, сведения о месте нахождения декларируемого объекта, сведения о работниках эксплуатирующей организации и иных физических лицах, которым может быть причинен вред здоровью или жизни в результате аварии на декларируемом объекте);

– раздел 2 «Результаты анализа безопасности» (включает сведения об опасных веществах, на основании которых опасный производственный объект отнесен к декларируемым объектам; общие сведения о технологических процессах на декларируемом объекте; основные результаты анализа риска аварии на декларируемом объекте);

– раздел 3 «Обеспечение требований промышленной безопасности» (включает сведения об обеспечении требований промышленной безопасности к эксплуатации декларируемого объекта; сведения об обеспечении требований

промышленной безопасности по готовности к действиям по локализации и ликвидации последствий аварии);

– раздел 4 «Выводы» (включает перечень наиболее опасных составляющих и (или) производственных участков декларируемого объекта с указанием показателей риска аварий на декларируемом объекте; перечень наиболее значимых факторов, влияющих на показатели риска аварий на декларируемом объекте; перечень основных мер, направленных на уменьшение риска аварий на декларируемом объекте; обобщенную оценку обеспечения промышленной безопасности и достаточности мер по предупреждению аварий на декларируемом объекте);

– раздел 5 «Ситуационные планы» (состоит из графического отображения зон действия поражающих факторов для составляющих декларируемого объекта);

– приложение № 1 «Расчетно-пояснительная записка» (включает расчетные сведения о технологии производства, анализе рисков, выводы и предложения);

– приложение № 2 «Информационный лист» (включает краткие сведения о декларации промышленной безопасности, необходимые для предоставления гражданам, по их обращению).

1.2 Описание нефтехимического предприятия ООО «Томскнефтехим»

1.2.1 Общие сведения о предприятии и его деятельности

Общество с ограниченной ответственностью «Томскнефтехим» (ООО «Томскнефтехим») – нефтехимическое предприятие, расположенное в городе Томск. Сфера деятельности предприятия – производство полимеров: полипропилена базовых и нишевых марок и полиэтилена низкой плотности

пленочного и литьевого назначения, композиций полиэтилена кабельного назначения.

Основные виды деятельности ООО «Томскнефтехим»:

– переработка углеводородного сырья методом пиролиза (высокотемпературного разложения), выделение продуктов методом низкотемпературной ректификации, дальнейшее использование получаемых продуктов (этилена, пропилена) в качестве сырья для полимеризации с получением полиэтилена высокого давления и полипропилена;

– полимеризация пропилена и сополимеризация пропилена с этиленом на основе гополимера с получением полипропилена;

– производство полиэтилена высокого давления;

– хранение и отгрузка потребителям побочной и готовой продукции;

– переработка пиролизного конденсата с получением фракции жидких продуктов пиролиза – компонента жидкого топлива;

– переработка природного газа методом каталитической конверсии углеводородов с целью получения синтез-газа, необходимого для синтеза метанола (метанол является сырьем для получения формалина);

– производство формалина.

В состав предприятия входят следующие производственные объекты, в технологическом процессе которых используются нефтепродукты и углеводороды:

1) Производство мономеров:

1.1) Установка подготовки жидких продуктов пиролиза (парк хранения ЛВЖ и ГЖ, насосная ЛВЖ и ГЖ, парк бензина, парк хранения смеси жидких углеводородов из дренажных емкостей, парк хранения жидких продуктов пиролиза, сливо-наливная эстакада ГЖ, сливо-наливная эстакада ЛВЖ), сырьевая насосная, сливная эстакада бензина, топлива для реактивных двигателей);

1.2) Цех компримирования и разделения пирогаза;

2) Производство полиэтилена – цех производства полиэтилена (установка ректификации ациклических углеводородов, склад масел);

3) Производство полипропилена:

3.1) Цех получения полипропилена и сополимера пропилена с этиленом (насосная промежуточных емкостей ЛВЖ и ГЖ, промежуточные технологические емкости ЛВЖ и ГЖ);

3.2) Цех подготовки сырья (установка ЛВЖ, склад ЛВЖ, насосная склада ЛВЖ, сливо-наливная эстакада ЛВЖ);

4) Котельный цех – мазутохозяйство (склад мазута; сливная эстакада мазута, наливная эстакада под автомобильную цистерну объемом 40 т).

Также на территории предприятия имеется изотермическое хранилище этилена.

1.2.2 Краткое географическое и гидрометеорологическое описание района расположения ООО «Томскнефтехим»

Нефтехимическое предприятие ООО «Томскнефтехим» расположено на территории г. Томска, Томской области, на месте бывшей д. Кудрово, в северо-восточной части города.

Рельеф промышленной площадки предприятия характеризуется слабой холмистостью с общим уклоном в юго-восточном направлении. Залесенность площадки около 90%. В геоморфологическом отношении район промышленной площадки приурочен к III надпойменной террасе р. Томи.

Сейсмическая активность района промышленной площадки в соответствии ОСР-2015 «Общее сейсмическое районирование» составляет 6-7 баллов по шкале MSK-64 с частотой не более 1% в течение 50 лет [26].

Место расположения ООО «Томскнефтехим», согласно СП 131.13330.2020 «Строительная климатология», относится к климатическому району I В [27].

В таблице 1 приведена характеристика климатических условий данного района в холодный и теплый период года.

Таблица 1 – Характеристика климатических условий района

Наименование характеристики	Единица измерения	Величина
Климатические характеристики холодного периода года		
Температура наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,98	°С	Минус 42
Абсолютная минимальная температура воздуха	°С	Минус 55
Средняя месячная относительная влажность воздуха наиболее холодного месяца	%	78
Количество осадков за ноябрь-март	мм	180
Преобладающее направление ветра за декабрь-февраль	-	Южное
Максимальная из средних скоростей по румбам за январь	м/с	2,4
Климатические параметры теплого периода года		
Температура воздуха обеспеченностью 0,98	°С	26
Средняя максимальная температура воздуха наиболее теплого месяца	°С	25,2
Абсолютная максимальная температура воздуха	°С	36
Средняя относительная влажность воздуха наиболее теплого месяца	%	73
Количество осадков за апрель-октябрь	мм	379
Преобладающее направление ветра за июнь-август	-	Южное
Минимальная из средних скоростей по румбам за июнь	м/с	0

Климат континентальный с теплым летом и холодной зимой, равномерным увлажнением. Промерзание почвы происходит с ноября, полное оттаивание – в конце мая. Преобладающее направление ветра для холодного и теплого периодов года – южное. Общее количество осадков в год, в среднем, равно 559 мм. Мощность снегового покрова до 70 см. Нормальная глубина промерзания почвы составляет от 220 до 230 см.

1.2.3 Краткое описание местности расположения ООО «Томскнефтехим» и объектов, расположенных вблизи нефтехимического предприятия

При возможных авариях на опасных производственных объектах, особому вниманию подлежит наличие на прилегающих территориях объектов, которые в свою очередь определяют безопасность населения, сохранность жизнеобеспечения, а также имеют особую материальную и экологическую значимость. Данные объекты подлежат приоритетной защите.

С северной стороны от основной площадки объекта находятся площадки накопителя твердых отходов ООО «Томскнефтехим», полигон токсичных промышленных отходов, городские канализационные очистные сооружения, золоотвал ТЭЦ-3.

С восточной стороны от объекта находится площадка Томской ТЭЦ-3, юго-восточнее – площадки склада хранения сжиженных газов и изометрическое хранилище этилена, северо-восточнее – железнодорожная станция Кудрово, которая может являться источником скопления цистерн с опасными веществами.

С южной стороны от объекта находятся производственные предприятия ООО «Монолит-строй», ООО «Кахети».

С западной стороны к объектам предприятия примыкает автодорога, на которой имеются остановки общественного транспорта.

Границы санитарно-защитной зоны (СЗЗ) для ООО «Томскнефтехим» установлены от границы территории промышленной площадки на расстоянии 1000 метров по всем направлениям [28].

В радиусе 3,0 км от промышленной площадки ООО «Томскнефтехим» установлена зона строгого ограничения, где исключена возможность нового жилищного строительства. Ближайшая жилая застройка расположена на расстоянии 4,0 км от юго-восточной границы территории объекта.

Водозаборные сооружения хозяйственно-питьевого и производственного водоснабжения расположены на р. Томь в 15 км от промышленной зоны.

Площадка очистных канализационных сооружений расположена в 7 км от промышленной зоны.

По охраняемому периметру объекта имеется 9 выездов (въездов) для автомобильного транспорта и два выезда (въезда) для железнодорожного транспорта. Автомобильные дороги широкие с твердым покрытием. Внутри предприятия имеется сеть автомобильных дорог и железнодорожных веток, определяющих технологические связи между производствами и обеспечивающих доступ (подъезд) ко всем производственным подразделениям, сетям и корпусам.

На предприятии 80% энергии обеспечиваются по I категории электроснабжения от двух независимых взаимно-резервируемых источников.

На предприятии принята радиальная схема электроснабжения на эстакадах. Телевизионное управление отсутствует. Автономные источники электропитания используются на производствах только для проведения безаварийного останова. Предприятие обеспечивается речной, промышленной, хозяйственно-питьевой и оборотной водой и отводом сточных вод на очистные сооружения через цех водоснабжения и канализации (далее ВиК). Вода подается с водозабора р. Томь через насосную станцию первого подъема НС-1 по двум трубопроводам (\varnothing 1000 мм) под давлением порядка 8 кгс/см^3 на водоочистные сооружения цеха ВиК (протяженность 10 км). Водоочистные сооружения цеха ВиК имеют два железобетонных резервуара емкостью по 20000 м^3 , из которых через насосную станцию НС-2 идет подача в общую систему промышленной воды объекта. По условиям производства и технологии предприятие является взрывопожароопасным объектом. Основные технологические установки и коммуникации

расположены вне здания, что определяет их устойчивость к ударной волне ядерного или объемного взрыва в следующих пределах:

- слабые разрушения (0,1-0,25 кгс/см²);
- средние разрушения (0,25-0,4 кгс/см²).

Предприятие не является источником возникновения радиационной опасности, однако, в состав Общества входят потенциально опасные объекты (химически, взрывопожароопасные подразделения):

- производство полипропилена;
- производство мономеров;
- производство полиэтилена;
- котельный цех.

Предприятие по категории ГО отнесено к объектам «первой категории», продолжающим работу в военное время по выполнению плана поставки продукции, определенной заданиями Правительства Российской Федерации и заказами по прямым связям.

1.2.4 Возможные источники ЧС на ООО «Томскнефтехим»

Исходя из наличия углеводородов и их потенциальной опасности, источниками возникновения ЧС на территории ООО «Томскнефтехим» являются:

- резервуарное, емкостное оборудование для хранения нефтепродуктов;
- железнодорожные цистерны на сливо-наливной эстакаде;
- автомобильные цистерны;
- технологические трубопроводы;
- запорная арматура, фланцевые соединения.

Возможными причинами и факторами, способствующими возникновению и развитию аварий, могут быть:

- 1) Отказы (инциденты) оборудования:

- физический износ, механические повреждения;
 - отказы приборов КИПиА;
 - коррозия металла внешних, внутренних стенок и днища резервуара, внутренняя коррозия металла, коррозия технологических трубопроводов;
- 2) Ошибочные действия персонала:
- несоблюдение правил технической эксплуатации;
 - ошибки при проведении ремонтных, профилактических и других работ, связанных с неустойчивыми переходными режимами;
- 3) Внешнее воздействие природного и техногенного характера;
- 4) Противоправные действия людей, приводящие к умышленному созданию аварийной ситуации.

В соответствии с Постановлением Правительства РФ от 31.12.2020 № 2451 «Об утверждении Правил организации мероприятий по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов на территории Российской Федерации, за исключением внутренних морских вод Российской Федерации и территориального моря Российской Федерации, а также о признании утратившими силу некоторых актов Правительства Российской Федерации» максимальный расчетный объем разливов нефти и нефтепродуктов для объектов, расположенных на сухопутной части территории Российской Федерации - 3 тонны и более [29].

По периметру резервуарных парков хранения нефтепродуктов предусмотрено замкнутое обвалование, согласно СП 155.13130.2014 «Склады нефти и нефтепродуктов. Требования пожарной безопасности» [30]. Свободный от застройки объем обвалованной территории, образуемый между внутренними откосами обвалования, соответствует как минимум 100% объема резервуара максимальной вместимости в резервуарном парке. Таким образом, при разгерметизации резервуаров хранения разливы нефтепродуктов не будут распространяться за пределы обвалования резервуарного парка. Площадь разлива в таком случае будет соответствовать площади обвалования парка.

При мгновенном разрушении вертикальных резервуаров возможен выход нефтепродуктов за пределы обвалования резервуарного парка. Разлив нефтепродуктов будет распространяться по территории промышленной площадке в сторону естественного уклона местности. Площадь разлива нефтепродуктов в этом случае будет ограничена естественными и искусственными повышениями рельефа местности.

При возникновении аварийной ситуации с железнодорожным составом при маневрировании на железнодорожных путях, разлив нефтепродуктов будет распространяться по территории промышленной площадки предприятия. Площадь разлива нефтепродуктов в этом случае будет ограничена естественными и искусственными повышениями рельефа местности.

При разгерметизации автомобильной цистерны на территории ООО «Томскнефтехим», разлив нефтепродуктов будет свободно распространяться по территории промышленной площадки, ограничиваясь естественными и искусственными повышениями рельефа местности.

Наиболее вероятными аварийными ситуациями, связанными с разливами нефтепродуктов, являются:

- разгерметизация резервуара хранения нефтепродуктов (100% объема максимальной емкости одного объекта хранения);
- разгерметизация железнодорожной цистерны при сливно-наливных операциях на эстакаде (100% объема цистерны);
- разгерметизация технологического трубопровода.

На рисунке 2 представлено древо исходных опасных событий – возможных сценариев развития аварийной ситуации, связанной с разгерметизацией резервуара (полное разрушение).

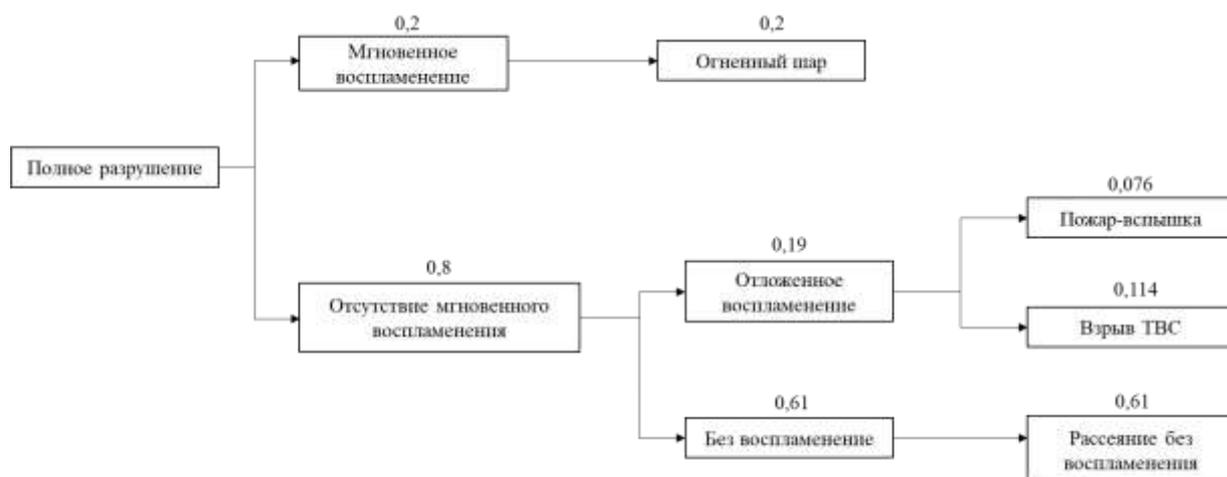


Рисунок 2 – Древо исходных опасных событий

Далее будут рассмотрены следующие сценарии аварии:

1) Разгерметизация (разрушение) резервуара со сжиженным этиленом→выход сжиженного этилена за пределы оболочек→испарение→образование облака ТВС→взрыв облака ТВС при наличии источника инициирования→возникновение зоны избыточного давления→повреждение ближайшего здания и поражение персонала ударной волной;

2) Разгерметизация (разрушение) резервуара со сжиженным этиленом→выход сжиженного этилена за пределы оболочек→мгновенное воспламенение→образование огненного шара и поражение персонала интенсивностью теплового излучения→возгорание этилена в резервуаре и образование пожара в пределах обвалования резервуара.

1.3 Расчет последствий сценариев разгерметизации резервуара и определение необходимого количества сил и средств для ликвидации ЧС

1.3.1 Расчет и оценка последствий взрыва топливно-воздушной смеси, определение количества сил и средств, необходимых для проведения аварийно-спасательных и других неотложных работ при возникновении взрыва и завала

1.3.1.1 Краткое описание сложившейся обстановки при разгерметизации резервуара с этиленом

В результате аварии на территории ООО «Томскнефтехим» произошла разгерметизация резервуара, содержащего 10 тонн этилена. Для оценки максимально-возможных последствий принято, что в результате выброса этилена в пределах воспламенения оказалось все количество вещества. Воспламенение облака привело к возникновению взрывного режима его превращения. Необходимо определить параметры воздушной ударной волны (избыточное давление и импульс фазы сжатия) на расстоянии 110 м от места аварии.

Расчет проводится в соответствии с методикой оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей – РД 03-409-01 Руководство по безопасности «Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей», утверждённой приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 28 ноября 2022 г. № 412 [31].

Для оценки последствий взрыва ТВС необходимо:

- определить исходные данные (характеристику горючего вещества облака ТВС, агрегатное состояние ТВС, среднюю концентрацию горючего вещества в облаке, массу горючего вещества в облаке, стехиометрическую концентрацию горючего вещества с воздухом, удельную теплоту сгорания горючего вещества, информацию об окружающем пространстве);
- определить эффективный энергозапас ТВС;
- определить ожидаемый режим взрывного превращения, произвести расчет безразмерного расстояния и расчет параметрического расстояния;
- определить характеристику параметров взрыва ТВС (давление и импульс);

– провести оценку поражающего воздействия (по значениям пробит-функции).

1.3.1.2 Расчет последствий разрушения резервуара с этиленом

Исходные данные для расчетов:

- тип топлива: этилен;
- агрегатное состояние ТВС: газовая;
- концентрация горючего в смеси, $C_r = 0,07$ кг/м³;
- стехиометрическая концентрация вещества в смеси с воздухом, $C_{ст} = 0,077$ кг/м³;
- масса топлива, содержащегося в облаке, $M_r = 10000$ кг;
- удельная теплота сгорания топлива, $q_r = 4,7 \cdot 10^7$ Дж/кг;
- окружающее пространство: открытое (вид 4, слабо загроможденное и свободное пространство).

Эффективный энергозапас ТВС E (Дж) при $c_{ст} \geq c_r$ определяется по формуле:

$$E = 2 \cdot M_r \cdot q_r \quad (1)$$

$$E = 2 \cdot 10000 \cdot 4,7 \cdot 10^7 = 9,4 \cdot 10^{11} \text{ Дж.}$$

Этилен, в соответствии с классификацией горючих веществ, по степени чувствительности, относится ко второму классу (чувствительные вещества) [32]. Геометрические характеристики окружающего пространства относятся к виду 4 – открытое пространство. Таким образом, исходя из экспертной таблицы (приложение А), ожидаемый режим взрывного превращения – дефлаграция (с диапазоном видимой скорости пламени от 150 до 200 м/с). Для проверки необходимо рассчитать скорость фронта пламени V_r (м/с) по формуле:

$$V_r = k_1 \cdot M_r^{1/6} \quad (2)$$

где k_1 – константа, равная 43.

$$V_r = 43 \cdot 10000^{1/6} = 200 \text{ м/с.}$$

Полученная величина соответствует максимальной скорости диапазона дефлаграционного взрывного превращения.

Для вычисления параметров воздушной ударной волны на заданном расстоянии ($r = 110$ м) от центра облака предварительно рассчитывается соответствующее безразмерное расстояние R_x по формуле:

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

где $P_0 = 101325$ Па – атмосферное давление.

$$R_x = 110/(9,4 \cdot 10^{11}/101325)^{1/3} = 0,52.$$

Далее необходимо определить параметры взрыва при скорости горения 200 м/с. В случае дефлаграционного взрывного превращения облака ТВС к параметрам, влияющим на величины избыточного давления и импульса положительной фазы, добавляются скорость видимого фронта пламени V_r и степень расширения продуктов горения σ (для газовых смесей $\sigma = 7$).

Безразмерные давление P_{x1} и импульс фазы сжатия I_{x1} определяются по формулам:

$$P_{x1} = (V_r/C_0)^2 \cdot ((\sigma-1)/\sigma) \cdot (0,82/R_x - 0,14/R_x^2) \quad (4)$$

$$I_{x1} = (V_r/C_0) \cdot ((\sigma-1)/\sigma) \cdot (1 - 0,4 \cdot (\sigma-1) \cdot V_r/\sigma \cdot C_0) \cdot (0,006/R_x + 0,01/R_x^2 - 0,0025/R_x^3) \quad (5)$$

где $C_0 = 340$ м/с – скорость звука в воздухе.

$$P_{x1} = (200/340)^2 \cdot ((7-1)/7) \cdot (0,82/0,52 - 0,14/0,52^2) = 0,31.$$

$$I_{x1} = (200/340) \cdot ((7-1)/7) \cdot (1-0,4 \cdot (7-1) \cdot 200/7 \cdot 340) \cdot (0,06/0,52 + 0,01/0,52^2 - 0,0025/0,52^3) = 0,0541.$$

Так как ТВС – газовая, величины P_{x2} и I_{x2} рассчитываются по формулам:

$$P_{x2} = \exp(-0,9278 - 1,5415 \cdot \ln(R_x) + 0,1953 \cdot \ln(R_x)^2 - 0,0285 \cdot \ln(R_x)^3) \quad (6)$$

$$I_{x2} = \exp(-3,3228 - 1,3689 \cdot \ln(R_x) - 0,9057 \cdot \ln(R_x)^2 - 0,4818 \cdot \ln(R_x)^3) \quad (7)$$

$$P_{x2} = \exp(-0,9278 - 1,5415 \cdot \ln(0,52) + 0,1953 \cdot \ln(0,52)^2 - 0,0285 \cdot \ln(0,52)^3) = 0,86.$$

$$I_{x2} = \exp(-3,3228 - 1,3689 \cdot \ln(0,52) - 0,9057 \cdot \ln(0,52)^2 - 0,4818 \cdot \ln(0,52)^3) = 0,0603.$$

Окончательные значения P_x и I_x определяются из соотношений:

$$P_x = \min (P_{x1}, P_{x2}) \quad (8)$$

$$I_x = \min (I_{x1}, I_{x2}) \quad (9)$$

$$P_x = \min (0,31; 0,86) = 0,31.$$

$$I_x = \min (0,0541; 0,0603) = 0,0541.$$

Из найденных безразмерных величин P_x и I_x определяются искомые величины избыточного давления и импульса фазы сжатия в воздушной ударной волне на расстоянии 110 м от места аварии при скорости горения 200 м/с по формулам:

$$\Delta P = P_x \cdot P_0 \quad (10)$$

$$I = I_x \cdot (P_0)^{2/3} \cdot E^{1/3} / C_0 \quad (11)$$

$$\Delta P = 0,31 \cdot 101325 = 31410 \text{ Па.}$$

$$I = 0,0541 \cdot (101325)^{2/3} \cdot (9,4 \cdot 10^{11})^{1/3} / 340 = 3387 \text{ Па} \cdot \text{с.}$$

Таким образом, на расстоянии 110 метров от центра взрыва, во фронте ударной волны, возникнет избыточное давление равное 31410 Па и импульс фазы сжатия равный 3387 Па·с.

1.3.1.3 Оценка поражающего действия от взрыва облака ТВС

Вероятность повреждений стен промышленных зданий, при которых возможно восстановление зданий без их сноса, оценивается исходя из значения пробит-функции, определяемой по формуле:

$$Pr_1 = 5 - 0,26 \ln V_1 \quad (12)$$

где V_1 – фактор, рассчитываемый с учетом перепада давления в волне и импульса статического давления по формуле:

$$V_1 = (17500/\Delta P)^{8,4} + (290/I)^{9,3} \quad (13)$$

$$V_1 = (17500/31410)^{8,4} + (290/3387)^{9,3} = 0,007.$$

$$Pr_1 = 5 - 0,26 \ln 0,007 = 6,29.$$

Исходя из значений пробит-функции (приложение Б) – вероятность повреждений стен промышленных зданий, при которых возможно восстановление зданий без их сноса, составляет 90%.

Вероятность разрушений промышленных зданий, при которых здания подлежат сносу, оценивается исходя из значения пробит-функции, определяемой по формуле:

$$Pr_2 = 5 - 0,22 \ln V_2 \quad (14)$$

где V_2 – фактор, рассчитываемый с учетом перепада давления в волне и импульса статического давления по формуле:

$$V_2 = (40000 / \Delta P)^{7,4} + (460/I)^{11,3} \quad (15)$$

$$V_2 = (40000 / 31410)^{7,4} + (460/3387)^{11,3} = 5,98.$$

$$Pr_2 = 5 - 0,22 \ln 5,98 = 4,61.$$

Исходя из значений пробит-функции (приложение Б) – вероятность разрушений промышленных зданий, при которых здания подлежат сносу составляет 35%.

Вероятность длительной потери людьми ориентации в пространстве и (или) координации движений (состояние нокдауна), попавших в зону действия ударной волны при взрыве облака ТВС, оценивается исходя из значения пробит-функции, определяемой по формуле:

$$Pr_3 = 5 - 5,74 \ln V_3 \quad (16)$$

где V_3 – фактор, рассчитываемый с учетом перепада давления в волне и импульса статического давления по формуле:

$$V_3 = 4,2/\rho + 1,3 / i \quad (17)$$

где ρ и i – безразмерное давление и безразмерный импульс, которые определяются по формулам:

$$\rho = \Delta P / P_0 \quad (18)$$

$$i = I / (P_0^{1/2} \cdot m^{1/3}) \quad (19)$$

где m – масса тела живого организма, кг (70 кг).

$$\rho = 31410/101325 = 0,31.$$

$$i = 3387/(101325^{1/2} \cdot 70^{1/3}) = 2,58.$$

$$V_3 = 4,2/0,31 + 1,3 / 2,58 = 14,05.$$

$$Pr_3 = 5 - 5,74 \ln 14,05 = -10,17.$$

Исходя из значений пробит-функции (приложение Б) – вероятность длительной потери людьми ориентации в пространстве и (или) координации движений, попавших в зону действия ударной волны, составляет 0%.

Вероятность разрыва барабанных перепонок у людей оценивается исходя из значения пробит-функции, определяемой по формуле:

$$Pr_4 = -12,6 + 1,524 \ln \Delta P \quad (20)$$

$$Pr_4 = -12,6 + 1,524 \ln 31410 = 3,18.$$

Исходя из значений пробит-функции (приложение Б) – вероятность разрыва барабанных перепонок у людей составляет 3%.

Вероятность отброса людей волной давления оценивается исходя из значения пробит-функции, определяемой по формуле:

$$Pr_5 = 5 - 2,44 \ln V_5 \quad (21)$$

где V_5 – фактор, рассчитываемый с учетом перепада давления в волне и импульса статического давления по формуле:

$$V_5 = 7,38 \cdot 10^3 / \Delta P + 1,3 \cdot 10^9 / (\Delta P i) \quad (22)$$

$$V_5 = 7,38 \cdot 10^3 / 31410 + 1,3 \cdot 10^9 / (31410 \cdot 3387) = 12,45.$$

$$Pr_5 = 5 - 2,44 \ln 12,45 = -1,16.$$

Исходя из значений пробит-функции (приложение Б) – вероятность отброса людей волной давления составляет 0%.

1.3.1.4 Расчет сил и средств для проведения аварийно-спасательных и других неотложных работ при возникновении взрыва и завала

Расчет необходимого количества сил и средств для проведения аварийно-спасательных и других неотложных работ (далее АСДНР) зависит от геометрических характеристик завала.

В результате взрыва облака ТВС произошло разрушение цеха подготовки сырья, находящегося на расстоянии 110 м от центра взрыва. Характеристики здания приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристика здания

Наименование здания	Количество людей в завале	Количество аварий на КЭС	Тип здания, степень разрушения	Размеры здания, м		
				А	В	Н
Цех подготовки сырья	10	1	Производственное одноэтажное тяжелого типа. Сильное разрушение	70	50	3

Дальность разлета обломков L (м) определяется по формуле:

$$L = H/3 \quad (23)$$

где $H = 3$ м – высота здания.

$$L = 3/3 = 1 \text{ м.}$$

Длина завала $A_{\text{зав}}$ (м) определяется по формуле:

$$A_{\text{зав}} = 2L + A \quad (24)$$

$$A_{\text{зав}} = 2 \cdot 1 + 70 = 72 \text{ м.}$$

Длина завала $B_{\text{зав}}$ (м) определяется по формуле:

$$B_{\text{зав}} = 2L + B \quad (25)$$

$$B_{\text{зав}} = 2 \cdot 1 + 50 = 52 \text{ м.}$$

При взрыве площадь верхней грани обелиска по размерам меньше площади основания здания. Длина A' (м) и ширина B' (м) верхней грани обелиска определяются по формулам:

$$A' = A - 2L \quad (26)$$

$$B' = B - 2L \quad (27)$$

$$A' = 70 - 2 \cdot 1 = 68 \text{ м.}$$

$$B' = 50 - 2 \cdot 1 = 48 \text{ м.}$$

Высота завала h (м) определяется по формуле:

$$h = (\gamma \cdot H) / (100 + k \cdot H) \quad (28)$$

где γ – показатель объема завала на 100 м³ объема здания (принимается равным 20 м³);

k – показатель для взрыва вне здания (принимается равным 0,5).

$$h = (20 \cdot 3) / (100 + 0,5 \cdot 3) = 60 / 101,5 = 0,59 \text{ м.}$$

Объем завала V (м³) определяется по формуле:

$$V = (\gamma \cdot A \cdot B \cdot H) / 100 \quad (29)$$

$$V = (20 \cdot 70 \cdot 50 \cdot 3) / 100 = 2100 \text{ м}^3.$$

Объем обелиска V' (м³) определяется по формуле:

$$V' = (h/6) \cdot [A' \cdot B' + (A' + A_{\text{зав}}) \cdot (B' + B_{\text{зав}}) + A_{\text{зав}} \cdot B_{\text{зав}}] \quad (30)$$

$$V' = (0,59/6) \cdot [68 \cdot 48 + (68 + 72) \cdot (48 + 52) + 72 \cdot 52] = 2065 \text{ м}^3.$$

Количество личного состава, необходимого для комплектования сводных механизированных групп, $N_{\text{сМГ}}$ определяется по формуле:

$$N_{\text{сМГ}} = 0,15 \cdot (W \cdot \Pi_3 / T) \cdot K_3 \cdot k_c \cdot k_{\text{п}} \quad (31)$$

где $W = 2065 \text{ м}^3$ – объем завала разрушенных зданий и сооружений;

Π_3 – трудоемкость по разборке завала, чел. ч/ м^3 , принимается равной 1,8 чел. ч/ м^3 ;

T – общее время выполнения спасательных работ, ч (24 часа);

K_3 – коэффициент, учитывающий структуру завала, принимается 0,65;

k_c – коэффициент, учитывающий снижение производительности в темное время суток, принимается равным 1,5;

$k_{\text{п}}$ – коэффициент, учитывающий погодные условия, принимается равным 1.

$$N_{\text{сМГ}} = 0,15 \cdot (2065 \cdot 1,8 / 24) \cdot 0,65 \cdot 1,5 \cdot 1 = 23 \text{ чел.}$$

Для дальнейших расчетов принимается, что:

– механизированная группа численностью 25-28 человек с тяжелой техникой может вести работы в две смены;

– спасательные звенья численностью 7-8 человек с механизированным инструментом ведут спасательные работы в две смены.

Для определения количества формируемых спасательных механизированных групп $n_{\text{сМГ}}$ необходимо общую численность личного состава разделить на численность одной группы по формуле:

$$n_{\text{сМГ}} = N_{\text{сМГ}} / 23 \quad (32)$$

$$n_{\text{сМГ}} = 23 / 23 = 1 \text{ группа.}$$

Общее количество спасательных звеньев ручной разборки $n_{p.z}$ определяется по формуле:

$$n_{p.z} = nkn_{смг} \quad (33)$$

где n – количество смен в сутки при выполнении спасательных работ (2 смены);

k – коэффициент, учитывающий соотношение между сводными механизированными группами и звеньями ручной разборки в зависимости от структуры завала (для здания промышленного типа из кирпича принимается равным 2).

$$n_{p.z} = 2 \cdot 2 \cdot 1 = 4 \text{ группы.}$$

Количество личного состава для укомплектования звеньев ручной разборки $N_{p.z}$ определяется по формуле:

$$N_{p.z} = 7 \cdot n_{p.z} \quad (34)$$

$$N_{p.z} = 7 \cdot 4 = 28 \text{ чел.}$$

Для расчета сил, необходимых для оказания медицинской помощи, нужно определить ориентировочную потерю людей, находящихся в здании.

Для ориентировочного определения потерь людей, находящихся в здании, в зависимости от степени его разрушения, используются следующие формулы:

$$N^{общ} = \sum_{i=1}^n N_i \cdot K_{1i} \quad (35)$$

$$N^{безв} = \sum_{i=1}^n N_i^{общ} \cdot K_{2i} \quad (36)$$

$$N^{сан} = N^{общ} - N^{безв} \quad (37)$$

где N_i – количество персонала в i -м здании, чел.;

n – число зданий (сооружений) на объекте;

$N^{\text{общ}}$, $N^{\text{безв}}$, $N^{\text{сан}}$ – общие, безвозвратные, санитарные потери при разрушении i -го здания;

K_{1i} , K_{2i} – коэффициенты для нахождения потерь в i -м здании, $K_1 = 0,8$, $K_2 = 0,25$ (при сильных разрушениях здания).

$$N^{\text{общ}} = 10 \cdot 0,8 = 8 \text{ чел.}$$

$$N^{\text{безв}} = 10 \cdot 0,25 = 3 \text{ чел.}$$

$$N^{\text{сан}} = 8 - 3 = 5 \text{ чел.}$$

Количество отрядов первой медицинской помощи $n_{\text{ПМП}}$, численность врачей $N_{\text{вр}}$ и среднего медицинского персонала $N_{\text{см}}$, общая численность личного состава для отрядов ПМП $N_{\text{ПМП}}$ определяются по формулам:

$$n_{\text{ПМП}} = N^{\text{сан}}/100 \quad (38)$$

$$N_{\text{вр}} = 8 \cdot n_{\text{ПМП}} \quad (39)$$

$$N_{\text{см}} = 38 \cdot n_{\text{ПМП}} \quad (40)$$

$$N_{\text{ПМП}} = 146 \cdot n_{\text{ПМП}} \quad (41)$$

$$n_{\text{ПМП}} = 5/100 = 0,05.$$

$$N_{\text{вр}} = 8 \cdot 0,05 = 1 \text{ чел.}$$

$$N_{\text{см}} = 38 \cdot 0,05 = 2 \text{ чел.}$$

$$N_{\text{ПМП}} = 146 \cdot 0,05 = 8 \text{ чел.}$$

Количество пожарных отрядов $n_{\text{пож}}$ и количество личного состава пожарных $N_{\text{пож}}$, необходимых для локализации и тушения пожаров, определяются по формуле:

$$n_{\text{пож}} = n_{\text{смг}}/5 \quad (42)$$

$$N_{\text{пож}} = 6 \cdot n_{\text{пож}} \quad (43)$$

$$n_{\text{пож}} = 1/5 = 1 \text{ отряд.}$$

$$N_{\text{пож}} = 6 \cdot 1 = 6 \text{ чел.}$$

Общая численность личного состава формирований, участвующих в спасательных работах, определяется по формуле:

$$N_{\text{лс.ср}} = N_{\text{смг}} + N_{\text{р.з}} + N_{\text{пмп}} + N_{\text{пож}} \quad (44)$$

$$N_{\text{лс.ср}} = 23 + 28 + 8 + 6 = 65 \text{ чел.}$$

Результаты расчетов численности личного состава формирований, участвующих в спасательных работах, приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Численность личных составов формирований, участвующих в спасательных работах

№ п/п	Формирование	Количество личного состава, чел
1	Сводные механизированные группы	23
2	Звенья ручной разборки	28
3	Отряд первой медицинской помощи	8
4	Пожарный отряд	6
Итого		65

Численность личного состава, участвующего в других неотложных работах, складывается из формирований, участвующих в расчистке завалов и ликвидации аварий на коммунально-энергетических сетях.

Протяженность заваленных путей $L_{\text{пп}}$ (км) определяется по формуле:

$$L_{\text{пп}} = 0,6 \cdot S_{\text{раз}} \quad (45)$$

где $S_{\text{раз}} = 0,0037 \text{ км}^2$ – площадь разрушений.

$$L_{\text{пп}} = 0,6 \cdot 0,0037 = 0,0022 \text{ км.}$$

Численность личного состава, участвующего в расчистке подъездных путей, $N_{\text{пп}}$ определяется по формуле:

$$N_{\text{пп}} = (n/T) \cdot (L_{\text{пп}} \cdot 30) \cdot k_c \cdot k_n \quad (46)$$

$$N_{\text{пп}} = (2/24) \cdot (0,0022 \cdot 30) \cdot 1,5 \cdot 1 = 1 \text{ чел.}$$

С учетом работы в 2 смены, необходимо 2 человека для расчистки подъездных путей.

Численность личного состава аварийно-технических команд $N_{\text{кэс}}$, необходимого для ликвидации аварий на КЭС, определяется по формуле:

$$N_{\text{кэс}} = (n/T) \cdot (k_{\text{КЭС}} \cdot 50) \cdot k_c \cdot k_n \quad (47)$$

где $k_{\text{кэс}}$ – количество аварий на КЭС, ед. (1 авария).

$$N_{\text{кэс}} = (2/24) \cdot (1 \cdot 50) \cdot 1,5 \cdot 1 = 7 \text{ чел.}$$

Общая численность личного состава формирований, участвующих в проведении неотложных работ, $N_{\text{лс.днр}}$ определяется по формуле:

$$N_{\text{лс.днр}} = N_{\text{пп}} + N_{\text{кэс}} \quad (48)$$

$$N_{\text{лс.днр}} = 2 + 7 = 9 \text{ чел.}$$

Результаты расчетов численности личного состава формирований, участвующих в проведении неотложных работ, приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Численность личных составов формирований, участвующих в проведении неотложных работ

№ п/п	Формирование	Количество личного состава, чел
1	Звено расчистки подъездных путей	2
2	Аварийно-техническая команда	7
Итого		9

Общая численность личного состава формирований, необходимых для проведения АСДНР, $N_{\text{лс.асднр}}$ определяется по формуле:

$$N_{\text{лс.асднр}} = N_{\text{лс.ср}} + N_{\text{лс.днр}} \quad (49)$$

$$N_{\text{лс.асднр}} = 65 + 9 = 74 \text{ чел.}$$

При проведении АСДНР, для обеспечения безопасности проводимых работ, необходимо наличие патрульных постовых звеньев для охраны общественного порядка.

Количество патрульных постовых звеньев для охраны общественного порядка $n_{\text{ооп}}$ и численность личного состава охраны $N_{\text{ооп}}$ определяются по формулам:

$$n_{\text{ооп}} = N_{\text{лс.асднр}} / 100 \quad (50)$$

$$N_{\text{ооп}} = 7 \cdot n_{\text{ооп}} \quad (51)$$

$$n_{\text{ооп}} = 116 / 100 = 2 \text{ звена.}$$

$$N_{\text{ооп}} = 7 \cdot 2 = 14 \text{ чел.}$$

Количество и наименование основной инженерной техники, привлекаемой для проведения непосредственно спасательных работ, определяется оснащением спасательных механизированных групп из расчета, что каждая группа имеет в своем составе необходимое количество технических средств, с учетом объема выполняемых работ (8 единиц). Наименование и количество спасательной техники приведены в приложении В. Отряд медицинской помощи укомплектовывается одним автомобилем скорой помощи, отряд пожарной охраны укомплектовывается двумя пожарными автомобилями (пожарная автоцистерна АЦ и пожарный автомобиль рукавный АР).

Для проведения работ, связанных с расчисткой подъездных путей и ликвидацией аварий на КЭС, необходимо комплектование спасательных формирований бульдозерами и инженерной техникой (инженерная техника для оснащения аварийно-технических команд определяется потребностью в укомплектовании аварийно-технических команд из расчета по одному бульдозеру, экскаватору в каждую команду).

Необходимое количество бульдозеров для расчистки подъездных путей $N_{б.пп}$ определяется по формуле:

$$N_{б.пп} = (1,2/T) \cdot (10 \cdot L_{пп}) \cdot k_c \cdot k_{п} \quad (52)$$

$$N_{б.пп} = (1,2/24) \cdot (10 \cdot 0,00222) \cdot 1,5 \cdot 1 = 1 \text{ бульдозер.}$$

Необходимое количество инженерной техники для ликвидации аварий на КЭС $N_{тех.КЭС}$ определяется по формуле:

$$N_{тех.КЭС} = (1,2/T) \cdot (2,5 \cdot k_{КЭС}) \cdot k_c \cdot k_{п} \quad (53)$$

$$N_{тех.КЭС} = (1,2/24) \cdot (2,5 \cdot 8) \cdot 1,5 \cdot 1 = 2 \text{ ед.}$$

Результаты расчетов технических средств, необходимых для выполнения неотложных работ, представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Технические средства, необходимые для выполнения неотложных работ

№ п/п	Наименование технического средства	Количество, ед.
1	Бульдозер для расчистки подъездных путей	1
2	Инженерная техника для ликвидации аварии на КЭС (бульдозер, экскаватор)	2
Итого		3

Таким образом, для выполнения неотложных работ по расчистки подъездных путей и ликвидации аварий на коммунально-энергетических сетях (КЭС) необходимо 3 единицы технических средств.

1.3.2 Расчет и оценка последствий возникновения огненного шара при разгерметизации резервуара с последующим воспламенением содержимого, определение количества сил и средств, необходимых для тушения пожара

1.3.2.1 Расчет интенсивности теплового воздействия огненного шара, определение времени существования огненного шара, дозы теплового излучения, и вероятности поражения персонала от теплового воздействия

Расчет интенсивности теплового излучения огненного шара осуществляется в соответствии с ГОСТ Р 12.3.047-2012 «Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля» [33].

Интенсивности теплового излучения огненного шара q (кВт/м²) осуществляется по формуле:

$$q = E_f \cdot F_q \cdot \tau \quad (54)$$

где E_f – среднеповерхностная плотность теплового излучения пламени (принимается равной 350 кВт/м²);

F_q – угловой коэффициент облученности;

τ – коэффициент пропускания атмосферы.

Величина F_q рассчитывается по формуле:

$$F_q = \frac{D_s^2}{4 \cdot (H^2 + r^2)} \quad (55)$$

где H – высота центра огненного шара, м (допускается принимать равной D_s);

r – расстояние от облучаемого объекта до точки на поверхности земли непосредственно под центром огненного шара, м;

D_s – эффективный диаметр огненного шара, м, определяемый по формуле:

$$D_s = 6,48 \cdot m^{0,325} \quad (56)$$

$$D_s = 6,48 \cdot 10000^{0,325} = 129 \text{ м.}$$

$$F_q = \frac{129^2}{4 \cdot (129^2 + 110^2)} = 0,145.$$

Коэффициент пропускания атмосферы τ для огненного шара рассчитывается по формуле:

$$\tau = \exp(-7,0 \cdot 10^{-4} \cdot (\sqrt{r^2 + H^2} - \frac{D_s}{2})) \quad (57)$$

$$\tau = \exp(-7,0 \cdot 10^{-4} \cdot (\sqrt{110^2 + 129^2} - \frac{129}{2})) = 0,93.$$

Таким образом, интенсивность теплового излучения огненного шара будет составлять, формула (54):

$$q = 350 \cdot 0,145 \cdot 0,93 = 47,2 \text{ кВт/м}^2.$$

Время существования огненного шара τ_s (с) определяется по формуле:

$$\tau_s = 0,852 \cdot m^{0,26} \quad (58)$$

$$\tau_s = 0,852 \cdot 10000^{0,26} = 10 \text{ с.}$$

Доза теплового излучения Q (Дж/м²) рассчитывается по формуле:

$$Q = q \cdot \tau_s \quad (59)$$

$$Q = 47,2 \cdot 10 = 472 \text{ Дж/м}^2.$$

Условная вероятность поражения человека тепловым излучением определяется с помощью пробит-функции P_r (приложение Б), которая рассчитывается по формуле:

$$P_r = -14,9 + 2,56 \cdot \ln(t_s \cdot q^{1,33}) \quad (60)$$

$$P_r = -14,9 + 2,56 \cdot \ln(10 \cdot 47,2^{1,33}) = 4,12.$$

Таким образом, вероятность поражения человека тепловым излучением составляет 19%.

1.3.2.2 Краткое описание последствий огненного шара, образование пожара

Последствием огненного шара является возгорание неиспарившегося этилена в самом резервуаре и в пределах его обвалования. Таким образом, образуется пожар, который требует немедленного привлечения сил и средств пожарной охраны, для его локализации и ликвидации.

Задачами пожарной охраны будут являться охлаждение горящего резервуара и ликвидация возгорания в резервуаре и в пределах его обвалования.

Для данных работ был произведен подбор водяных ручных пожарных стволов РС-70 (для охлаждения резервуара), и пеногенераторов ГПС-600 (для ликвидации возгорания).

1.3.2.3 Расчет сил и средств для проведения работ, направленных на ликвидацию пожара

Необходимое количество стволов (РС-70) для охлаждения горящего резервуара $N_{\text{ств}}$ определяется по формуле:

$$N_{\text{ств}} = (P_p \cdot J_{\text{тр}}) / q_{\text{ств}} \quad (61)$$

где $J_{\text{тр}}$ – требуемая интенсивность на охлаждение горящего резервуара, (принимается равной 1 л/с·м при горении в обваловании);

$P_p = 7,54$ м – периметр резервуара;

$q_{\text{ств}} = 7,4$ л/с – расход ствола РС-70.

$N_{\text{ств}} = (7,54 \cdot 1) / 7,4 = 2$ ствола.

Количество личного состава (с учетом резерва, 50%), необходимого для подачи стволов, $N_{\text{лс}}$ определяется по формуле:

$$N_{\text{лс}} = N_{\text{ств}} \cdot 2 + 50\% \quad (62)$$

$N_{\text{лс}} = 2 \cdot 2 + 1 = 5$ человек.

Требуемое количество отделений $N_{\text{отд}}$ определяется по формуле:

$$N_{\text{отд}} = N_{\text{лс}} / 5 \quad (63)$$

$N_{\text{отд}} = 5 / 5 = 1$ отделение.

Общий расход воды на охлаждение горящего резервуара $Q_{\text{ф}}^{\text{общ}}$ (л/с) определяется по формуле:

$$Q_{\text{ф}}^{\text{общ}} = N_{\text{ств}} \cdot q_{\text{ств}} \quad (64)$$

$$Q_{\phi}^{\text{общ}} = 2 \cdot 7,4 = 14,8 \text{ л/с.}$$

Количество пожарных автомобилей АЦ-40 (131), необходимых для охлаждения горящего резервуара, $N_{\text{авт}}$ определяется по формуле:

$$N_{\text{авт}} = N_{\text{ств}}/4 \quad (65)$$

$$N_{\text{авт}} = 2/4 = 1 \text{ автомобиль.}$$

Необходимое количество стволов ГПС-600 для тушения пожара в обваловании $N_{\text{обв}}^{\text{ГПС-600}}$ определяется по формуле:

$$N_{\text{обв}}^{\text{ГПС-600}} = S_{\text{п}} \cdot J_{\text{тр}} / Q_{\text{р-ра}} \quad (66)$$

где $S_{\text{п}} = 15 \text{ м}^2$ – площадь обвалования;

$J_{\text{тр}} = 0,08 \text{ л/с} \cdot \text{м}^2$ – требуемая интенсивность;

$Q_{\text{р-ра}} = 6 \text{ л/с}$ – расход ствола ГПС-600 по раствору.

$$N_{\text{ГПС-600}} = 15 \cdot 0,08 / 6 = 1 \text{ ствол.}$$

Количество пенообразователя, необходимого для тушения пожара в обваловании, $V_{\text{п.о (обв)}}$ (л) определяется по формуле:

$$V_{\text{п.о (обв)}} = S_{\text{п}} \cdot Q_{\text{п.о}} \cdot \tau_{\text{т}} \cdot 60 \cdot J_{\text{тр}} / Q_{\text{р-ра}} \quad (67)$$

где $Q_{\text{п.о}} = 0,36 \text{ л/с}$ – расход ствола ГПС-600 по пене;

$\tau_{\text{т}} = 15 \text{ мин}$ – расчетное время тушения;

$$V_{\text{п.о (обвал.)}} = 15 \cdot 0,36 \cdot 15 \cdot 60 \cdot 0,08 / 6 = 64,8 \text{ л.}$$

Требуемое количество стволов ГПС-600 для тушения горящего резервуара $N_{\text{рез}}^{\text{ГПС-600}}$ определяется по формуле:

$$N_{\text{рез}}^{\text{ГПС-600}} = S_{\text{п}} \cdot J_{\text{тр}} / Q_{\text{р-ра}} \quad (68)$$

где $S_{\text{п}} = 4,6 \text{ м}^2$ – площадь резервуара;

$$N_{\text{рез}}^{\text{ГПС-600}} = 4,6 \cdot 0,08 / 6 = 1 \text{ ствол.}$$

Количество пенообразователя, необходимого для тушения пожара в резервуаре, $V_{\text{п.о (рез)}}$ (л) определяется по формуле:

$$V_{\text{п.о (рез)}} = N_{\text{рез}}^{\text{ГПС-600}} \cdot Q_{\text{п.о}} \cdot \tau_{\text{р}} \cdot 60 \cdot K \quad (69)$$

где $K = 3$.

$$V_{\text{п.о (рез)}} = 1 \cdot 0,36 \cdot 15 \cdot 60 \cdot 3 = 972 \text{ л.}$$

Общее количество пенообразователя, необходимого для ликвидации пожара, $V_{\text{п.о}}$ (л) определяется по формуле:

$$V_{\text{п.о}} = V_{\text{п.о(обв)}} + V_{\text{п.о(рез)}} \quad (70)$$

$$V_{\text{п.о}} = 64,8 + 972 = 1036,8 \text{ л.}$$

Требуемое количество автомобилей воздушно-пенного тушения АВ-40 (375)-Ц50 $N_{\text{авт}}$ определяются по формуле:

$$N_{\text{авт}} = V_{\text{п.о}} / V_{\text{авт}} \quad (71)$$

где $V_{\text{авт}} = 4000 \text{ л}$ – емкость цистерны пенообразователя.

$$N_{\text{авт}} = 1036,8 / 4000 = 1 \text{ автомобиль.}$$

Требуемое количество пеноподъемников (ППП) $N_{\text{ППП}}$ определяется по формуле:

$$N_{\text{ППП}} = N_{\text{рез}}^{\text{ГПС-600}} / 2 \quad (72)$$

$$N_{\text{ППП}} = 1 / 2 = 1 \text{ пеноподъемник.}$$

Количество личного состава для подачи ГПС-600 (с учетом резерва, 25 %) $N_{\text{лс}}$ определяется по формуле:

$$N_{\text{лс}} = (N_{\text{ГПС-600}} \cdot 2 + N_{\text{ППП}} \cdot 6) + 25\% \quad (73)$$

$$N_{\text{лс}} = (2 \cdot 2 + 1 \cdot 6) + 3 = 13 \text{ человек.}$$

Требуемое количество отделений $N_{\text{отд}}$ определяется по формуле:

$$N_{\text{отд}} = N_{\text{лс}} / 5 \quad (74)$$

$$N_{\text{отд}} = 13 / 5 = 3 \text{ отделения.}$$

В таблице 6 представлены силы и средства, необходимые для ликвидации пожара

Таблица 6 – Силы и средства для ликвидации пожара

№ п/п	Силы и средства	Количество
1	Личный состав, чел	18
2	Пожарный автомобиль АЦ-40 (131), ед.	1
3	Пожарный автомобиль АВ-40 (375)-Ц50, ед.	1
4	Пожарный пеноподъемник ППП, ед.	1

1.3.3 Порядок действий при возникновении аварии на ООО «Томскнефтехим»

Для обеспечения оперативности принятия необходимых мер по ликвидации аварийных и чрезвычайных ситуаций на ООО «Томскнефтехим» разработана схема и порядок оповещения всех заинтересованных лиц и организаций, которая представлена в Приложении Г.

В таблице 7 представлены ответственные лица, участвующие в работах по локализации и ликвидации ЧС, связанной с аварийным проливом хранимых взрывопожароопасных веществ, и мероприятия, проводимые этими лицами.

Таблица 7 – Действия ответственных лиц, участвующих в локализации и ликвидации ЧС

Ответственное лицо	Проводимые мероприятия
1	2
Старший диспетчер	<ul style="list-style-type: none"> – оповещает о возникновении аварии должностные лица (согласно списку), ЕДДС; – вызывает НАСФ, пожарную часть, газоспасательную службу, скорую помощь (при необходимости); – держит постоянную связь с ответственным руководителем работ по ликвидации ЧС; – после прибытия ответственного руководителя работ информирует о состоянии работ по спасению людей и ликвидации ЧС.
Начальник объекта (начальник смены)	<ul style="list-style-type: none"> – до прибытия ответственного руководителя работ по ликвидации ЧС выполняет его обязанности, принимает меры по спасению людей и ликвидации ЧС, в соответствии с планом ликвидации аварийных ситуаций; – по прибытию пожарного подразделения информирует руководителя тушения пожара о конструктивных и технологических особенностях объекта, прилегающих строений и сооружений, количестве и пожароопасных свойствах хранимых и применяемых веществ, материалов, изделий; – после прибытия ответственного руководителя работ по ликвидации ЧС, докладывает ему о причинах аварии, ее последствиях и принятых мер по ликвидации ЧС, после чего действует по его указанию.
Ответственный руководитель работ по ликвидации ЧС	<ul style="list-style-type: none"> – прибывает лично к месту аварии и возглавляет руководство работами по локализации и ликвидации ЧС; – уточняет характер аварии с учетом специфики места возникновения аварии, оценивает возможные последствия аварии; – организует пункт управления, сообщает о месте его расположения всем исполнителям; – в соответствии с принятым способом ликвидации ЧС привлекает необходимое количество техники и технических средств ООО «Томскнефтехим»; – составляет план работ по ликвидации аварии и ее последствий; – дает указание об удалении людей, не участвующих непосредственно в ликвидации аварии, из всех опасных и угрожаемых мест и о выставлении постов на подступах к аварийному участку; – контролирует правильность действия персонала и выполнение своих распоряжений.
Старший группы НАСФ	<ul style="list-style-type: none"> – докладывает ответственному руководителю работ по ликвидации ЧС о своем прибытии; – осуществляет непосредственное руководство персоналом НАСФ в работах по локализации и ликвидации пролива; – проверяет отсутствие в зоне аварии людей, не занятых ее локализацией и ликвидацией, принимает меры по оказанию первой медицинской помощи пострадавшим, ограждению зоны аварии;

Продолжение таблицы 7

1	2
Старший группы НАСФ	<ul style="list-style-type: none"> – руководит спасательными работами; – организует мониторинг обстановки окружающей среды; – обеспечивает лиц, занимающихся локализацией и ликвидацией ЧС, СИЗ, СИЗОД, и необходимыми инструментами; – эвакуирует пострадавших, а также людей, не занятых локализацией и ликвидацией ЧС; – организует проведение анализов загазованности объекта; – обеспечивает необходимое участие работников НАСФ при проведении работ по локализации и ликвидации пролива.
Старший оперативный начальник пожарной охраны	<ul style="list-style-type: none"> – при пожаре руководит тушением пожара во взаимодействии с ответственным руководителем работ; – при необходимости организует своевременный вызов резервной и сводной смены пожарной части на место аварии; – держит постоянную связь с ответственным руководителем работ по локализации и ликвидации ЧС.
КЧС и ОПБ ООО «Гомскнефтехим»	<ul style="list-style-type: none"> – после сбора информации об аварии контролирует и координирует работу всех подведомственных подразделений; – координирует работу всех сил и средств подразделений и служб, привлекаемых к работам по ликвидации ЧС; – оценивает соответствия сил и средств, время их доставки на место аварии по степени значимости аварии в сравнении с расчетами, после чего принимает окончательное решение о необходимости помощи на месте аварии; – при необходимости привлекает силы и средства МЧС России, организует их взаимодействие при локализации и ликвидации аварии; – при необходимости привлекает силы и средства МЧС России, организует их взаимодействие при локализации и ликвидации аварии; – разрабатывает совместно с привлекаемыми организациями дополнительные мероприятия, направленные на уменьшение потерь от аварии и охрану окружающей среды.
Персонал ООО ЧОП «Нефтехим-охрана»	<ul style="list-style-type: none"> – организует патрулирование и охрану мест пролива; – контролирует допуск в зону ЧС сил и средств, занятых в работах по ликвидации ЧС.

1.3.4 Вывод по основному разделу

В результате разгерметизации резервуара, содержащего 10 тонн сжиженного этилена, рассматриваются два сценария развития аварийной ситуации – взрыв ТВС и мгновенное воспламенение с образованием огненного шара.

Взрыв ТВС приводит к образованию ударной волны, с избыточным давлением 31410 Па, и импульсом фазы сжатия 3387 Па·с. Опасные факторы ударной волны воздействуют на здание – цех подготовки сырья, расположенное на расстоянии 110 метров от места взрыва, и на персонал, находящейся в этом здании. При данных параметрах ударной волны вероятность повреждений стен промышленных зданий, при которых возможно восстановление зданий без их сноса, составляет 90%, вероятность разрушений промышленных зданий, при которых здания подлежат сносу составляет 35%, вероятность длительной потери людьми ориентации в пространстве и (или) координации движений, попавших в зону действия ударной волны, составляет 0%, вероятность разрыва барабанных перепонок у людей составляет 3%, вероятность отброса людей волной давления составляет 0%. По итогу, здание цеха подготовки сырья получит сильную степень разрушения, что приведет к образованию завала объемом 2100 м³. Для проведения АСДНР необходимо привлечение спасательных и других формирований общей численностью 74 человека, специальных и инженерных технических средств в количестве 13 единиц.

Мгновенное воспламенение этилена с образованием огненного шара приведёт к воздействию теплового потока с интенсивностью теплового излучения 47,2 кВт/м² на персонал, находящейся на расстоянии 110 метров от огненного шара. Доза теплового излучения составит 472 Дж/м², при которой вероятность поражения человека тепловым излучением составляет 19%. После огненного шара, в резервуаре с этиленом и в пределах обвалования, образуется пожар, площадь которого равна площадям резервуара и обвалования, 4,6 м² и 15 м², соответственно. Для проведения работ, связанных с охлаждением резервуара и непосредственно ликвидацией пожара, необходимо привлечение сил пожарной охраны общей численностью 18 человек, пожарных технических средств в количестве 3 единиц.

2 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

2.1 Оценка ущерба

В результате разгерметизации резервуара, содержащего 10 т этилена, произошел выброс вещества, с последующим образованием ТВС и взрывом. Последствиями взрыва стали полное разрушение резервуара и разрушение здания (сильное разрушение), находящегося на расстоянии 110 метров.

Оценка полного ущерба при аварии P_a (руб.) осуществляется по формуле:

$$P_a = P_{п.п} + P_{АСДНР} + P_{сэ} + P_{экол} \quad (75)$$

где $P_{п.п}$ – прямые потери предприятия, руб.;

$P_{АСДНР}$ – расходы на проведение АСДНР, руб.;

$P_{сэ}$ – социально-экономические потери, руб.;

$P_{экол}$ – экологический ущерб, руб.

2.2 Прямые потери предприятия

Прямые потери предприятия $P_{п.п}$ (руб.) характеризуются потерями основных производственных фондов (здания, резервуара) $P_{о.п.ф}$ (руб.), потерей предприятием товарно-материальных ценностей (содержащегося в резервуаре этилена, $m = 10$ т) $P_{т-м.ц}$ (руб.), и определяются по формуле:

$$P_{п.п} = P_{о.п.ф} + P_{т-м.ц} = (P_{то} + P_{зд}) + (m \cdot C_c) \quad (76)$$

где $P_{то}$ – потери предприятия в результате разрушения резервуара, руб. (равны стоимости резервуара, 1000000 руб.);

$P_{зд}$ – потери предприятия в результате повреждения здания, руб.

C_c – стоимость 1 т сырья, руб. (стоимость этилена = 19000 руб./т).

Потери предприятия в результате повреждения здания $P_{зд}$ (руб.) рассчитывается по формуле:

$$P_{зд} = P \cdot S_{ц} \cdot C_{кв.м.} \quad (77)$$

где P – относительная величина ущерба (при сильных разрушениях данный показатель равен 0,7);

$S_{ц} = 3500 \text{ м}^2$ – площадь цеха;

$C_{кв.м.} = 400000$ руб. – стоимость 1 м^2 производственного здания.

$P_{зд} = 0,7 \cdot 3500 \cdot 400000 = 980000000$ руб.

Таким образом, прямые потери предприятия составят, формула (76):

$P_{п.п} = (1000000 + 980000000) + (10 \cdot 19000) = 981190000$ руб.

2.3 Расходы на проведение АСДНР

Расходы на проведение АСДНР $P_{АСДНР}$ (руб.) определяются по формуле:

$$P_{АСДНР} = Z_{п} + Z_{от} + Z_{ГСМ} + Z_{а} \quad (78)$$

где $Z_{п}$ – затраты на питание формирований, участвующих в АСДНР, руб.;

$Z_{от}$ – затраты на оплату труда, руб.;

$Z_{ГСМ}$ – затраты на топливо и горюче-смазочные материалы, руб.;

$Z_{а}$ – затраты на амортизацию используемой техники, руб.;

Затраты на питание спасательных и других формирований рассчитываются исходя из суточных норм обеспечения питанием спасателей, в соответствии с режимом работ (категории работ по степени тяжести),

согласно нормам, установленным приказом МЧС РФ от 24 апреля 2013 г. № 290 [34].

На выполнение АСДНР, направленных на ликвидацию последствий взрыва ТВС, привлекаются 74 человека, из которых 32 человека выполняют тяжелые работы, а 42 человека работы средней тяжести.

В таблице 8 представлены суточные затраты на питание одного человека личного состава формирований, выполняющих работы различной степени тяжести.

Таблица 8 – Затраты на питание одного человека личного состава формирований, выполняющих работы различной степени тяжести

№ п/п	Наименование продукта	Работы средней тяжести		Тяжелые работы	
		Суточная норма, г/чел·сут	Суточная норма, руб./чел·сут	Суточная норма, г/чел·сут	Суточная норма, руб./чел·сут
1	Хлеб белый	300	22	600	44
2	Крупа разная	80	10	100	12,5
3	Макаронные изделия	30	4	40	5,3
4	Молоко и молокопродукты	300	31	500	51,7
5	Мясо	80	42	100	52,5
6	Рыба	40	10	60	15
7	Жиры	40	20	50	25
8	Сахар	60	7	70	8,2
9	Картофель	400	15	500	18,8
10	Овощи	150	6	180	7,2
11	Соль	25	1	30	1,2
12	Чай	1,5	2	2	2,7
Итого (С _{норма})		-	170	-	244,1

Таким образом, затраты на питание Z_p (руб.) определяются по формуле:

$$Z_p = (N_c \cdot C_{норма} + N_t \cdot C_{норма}) \cdot N_{сут} \quad (79)$$

где N_c – количество человек, выполняющих работы средней тяжести;

N_t – количество человек, выполняющие тяжелые работы;

$C_{норма}$ – суточная норма на питания, руб./чел·сут;

$N_{сут}$ – количество суток, в течении которых проводятся работы.

$$Z_{\text{п}} = (42 \cdot 170 + 32 \cdot 244,1) \cdot 1 = 14952 \text{ руб.}$$

Затраты на оплату труда приведены в таблице 9, с учетом количества суток (1 сутки), необходимых для выполнения АСДНР.

Таблица 9 – Затраты на оплату труда

Наименование групп	Зарботная плата, руб./месяц	Численность, чел	Зарботная плата, руб./сут	Затраты на проведение АСДНР, руб.
Сводная механизированная группа	40000	23	1333	30659
Звено ручной разборки	35000	28	1166	32648
Отряд медицинской помощи	45000	8	1500	12000
Пожарный отряд	42000	6	1400	8400
Звено расчистки путей	35000	2	1166	2332
Аварийно-техническая команда	30000	7	1000	7000
Итого	-	-	-	93039

Таким образом, затраты на оплату труда формирований, участвующих в АСДНР составят 93039 рублей.

Затраты на приобретение топлива и ГСМ зависят от цен на ГСМ и необходимого их количества (объема) для спасательной и специальной техники.

Цены на топливо и горюче-смазочные материалы за 1 л (1 кг):

- дизельное топливо – 59 руб.;
- бензин АИ-92 – 44 руб.;
- моторное масло – 970 руб.;
- пластичные смазки – 1000 руб.;
- трансмиссионное масло – 400 руб.;
- специальное масло – 500 руб.

В таблице 10 перечислены технические средства, участвующие в АСДНР и требуемое количество (объем) топлива и ГСМ.

Таблица 10 – Технические средства и требуемое количество топлива

Вид техники	Количество	Расход топлива, л	Расход моторного/трансмиссионного/специального масла, л	Расход смазки, кг
Автокран	1	40 (ДТ)	2,8/0,4/0,1	0,2
Экскаватор	2	320 (ДТ)	5,6/0,8/0,2	0,6
Бульдозер	3	51 (ДТ)	6,3/0,9/0,3	1,2
Самосвал	2	54 (ДТ)	2,2/0,3/0,2	0,2
АЦ	1	24,5 (ДТ)	5,5/0,75/0,25	0,5
АР	1	30 (ДТ)	4,5/0,75/0,1	0,1
Автомобиль скорой помощи	2	30 (бензин АИ-92)	4,6/0,8/0,2	0,2

Затраты на топливо и ГСМ $Z_{ГСМ}$ (руб.) определяются по формуле:

$$Z_{ГСМ} = \sum(V_i \cdot C_i) \quad (80)$$

где V_i – требуемое количество (объем) топлива или ГСМ, кг (л);

C_i – стоимость топлива или ГСМ, руб.

$$Z_{ГСМ} = (30 \cdot 44) + (519,5 \cdot 59) + (31,5 \cdot 970) + (4,7 \cdot 400) + (1,35 \cdot 500) + (3 \cdot 1000) = 68080 \text{руб.}$$

Затраты на амортизацию технических средств приведены в таблице 11, с учетом годовой нормы амортизации, количества единиц используемой техники и количества отработанных дней.

Таблица 11 – Затраты на амортизацию технических средств

Техническое средство	Стоимость, руб.	Количество рабочих дней	Годовая норма амортизации, %	Количество единиц	Амортизац. отчисления, руб.
1	2	3	4	5	6
Автокран	15000000	1	10	1	4109
Экскаватор	6000000	1	10	2	3288
Бульдозер	10000000	1	10	3	8219
Самосвал	7000000	1	10	2	3835
Пожарная автоцистерна	3500000	1	10	1	9589
Пожарный рукавный автомобиль	4300000	1	10	1	1178

Продолжение таблицы 11

1	2	3	4	5	6
Автомобиль скорой помощи	1600000	1	10	2	876
Компрессорная станция	700000	1	10	1	191
Керосинорез	10000	1	30	1	8
Итого	-	-	-	-	31293

Таким образом, затраты на амортизацию технических средств составят 26909 рублей.

Затраты на проведение АСДНР $P_{АСДНР}$ (руб.) составят, формула (79):

$$P_{АСДНР} = 14952 + 93039 + 68080 + 31293 = 207364 \text{ руб.}$$

2.4 Социально-экономические потери

Социально-экономические потери $P_{сэ}$ (руб.) определяются по формуле:

$$P_{сэ} = P_{гп} + P_{тп} \quad (81)$$

где $P_{гп}$ – расходы, связанные с гибелью персонала, руб.;

$P_{тп}$ – затраты, связанные с травмированием людей, руб.

В момент аварии в здании находилось 10 человек. В результате повреждения здания 5 человек были травмированы, 3 человека скончались.

Затраты, связанные с гибелью персонала, $P_{гп}$ (руб.) определяются по формуле:

$$P_{гп} = S_{пог} + S_{пк}, \quad (82)$$

где $S_{пог}$ – расходы по выплате пособий на погребение погибших, руб. (равны средней стоимости оказания ритуальных услуг, 35000 руб.);

$S_{пк}$ – расходы на выплату пособий в случае смерти кормильца, руб.

Расходы на выплату пособий в случае смерти кормильца $S_{пк}$ (руб.) рассчитывается по формуле:

$$S_{пк} = S_{в} \cdot S_{епк} \quad (83)$$

где $S_{в}$ – период выплаты пенсий по случаю потери кормильца, мес.;

$S_{епк}$ – размер ежемесячной выплаты, руб.

Период выплаты пенсий по случаю потери кормильца $S_{в}$ (месяцев) определяется по формуле:

$$S_{в} = (18-B) \cdot 12 \quad (84)$$

где B – возраст ребенка погибшего, лет.

Среди погибших у одного работника был ребенок (возраст 10 лет). Таким образом, период выплаты пенсий по случаю потери кормильца составит:

$$S_{в} = (18-10) \cdot 12 = 96 \text{ месяцев.}$$

Размер ежемесячной выплаты $S_{епк}$ (руб.) определяется по формуле:

$$S_{епк} = C \cdot (1-2/4)/2 \quad (85)$$

где C – средний месячный заработок погибшего, руб. (45000 руб.).

$$S_{епк} = 45000 \cdot (1-2/4)/2 = 11250 \text{ руб.}$$

Общая величина выплаты по случаю потери кормильца ($S_{пк}$) составит, формула (83):

$$S_{пк} = 11250 \cdot 96 = 1080000 \text{ руб.}$$

Затраты, связанные с гибелью персонала, будут составлять, формула (82):

$$П_{гп} = 35000 \cdot 3 + 1080000 = 1185000 \text{ руб.}$$

Затраты, связанные с травмированием персонала $S_{\text{тп}}$ (руб.) определяются по формуле:

$$S_{\text{тп}} = (S_{\text{м}} + S_{\text{в}}) \cdot N \quad (86)$$

где $S_{\text{м}}$ – расходы, связанные с повреждением здоровья пострадавшего, на его медицинскую, социальную и профессиональную реабилитацию, руб.;

$S_{\text{в}}$ – расходы на выплату пособий по временной нетрудоспособности, руб.

N – количество пострадавшего персонала (5 человек).

Расходы на медицинскую, социальную и профессиональную реабилитацию $S_{\text{м}}$ (руб.) пострадавшим из числа персонала определяются из следующих составляющих (на одного человека):

1) затраты на нахождение пострадавшего в стационаре в течение 6 дней (12000 руб.);

2) расходы на приобретение необходимых лекарственных средств (6000 руб.);

3) санаторно-курортное лечение (25000 руб.).

Все сотрудники после лечения вернулись на работу в полной трудоспособности. За неделю им выплатили пособие в размере 8500 рублей ($S_{\text{в}}$), так как во время прибытия в лечебном учреждении сотрудники были временно нетрудоспособными.

Таким образом, затраты, связанные с травмированием персонала, составят:

$$S_{\text{тп}} = (12000 + 6000 + 25000 + 8500) \cdot 5 = 257500 \text{ руб.}$$

В результате социально-экономические потери составят, формула (81):

$$П_{\text{сэ}} = 1185000 + 257500 = 1442500 \text{ руб.}$$

2.5 Экологический ущерб

Оценка экологического ущерба производится, исходя из того, что этилен при попадании в окружающую среду вызывает загрязнение атмосферного воздуха.

Ущерб от загрязнения атмосферного воздуха $У_3$ (руб.) определяется по формуле:

$$У_3 = 5 \cdot \Sigma (Н_{баз} \cdot М_{ав}) \cdot К_{ив} \cdot К_{эав} \quad (87)$$

где $Н_{баз}$ – базовые нормативы платы за выброс 1 тонны загрязняющих веществ в атмосферу в пределах установленных лимитов (для этилена – 1,6 руб./т. [35]).

$М_{ав}$ – количество вещества, попавшего в атмосферный воздух при аварии (10 т.);

$К_{ив} = 1,08$ – коэффициент индексации платы за загрязнение окружающей природной среды;

$К_{эав}$ – коэффициент экологической ситуации и экологической значимости территории по состоянию атмосферного воздуха (для данного района при выбросе загрязняющих веществ в атмосферу городов и крупных промышленных центров $К_{эав} = 1,2$).

$$У_3 = 5 \cdot \Sigma (1,6 \cdot 10) \cdot 1,08 \cdot 1,2 = 103 \text{ руб.}$$

2.6. Вывод по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

В результате аварии на ООО «Томскнефтехим», с последующим взрывом ТВС, прямые потери предприятия составят 981190000 рублей, расходы на проведения АСДНР составят 186704 рублей, социально-экономические потери составят 1442500 рублей, экологический ущерб,

нанесённый окружающей среде, составит 103 рублей. Общий ущерб от аварии Π_a (руб.) составит, формула (75):

$$\Pi_a = 981190000 + 207364 + 1442500 + 103 = 982839967 \text{ руб.}$$

Таким образом, в результате разгерметизации резервуара с этиленом, с последующим взрывом ТВС, общий ущерб предприятию ООО «Томскнефтехим» будет составлять 982839967 рублей.

3 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

3.1 Описание рабочего места оператора технологических установок ООО «Томскнефтехим»

Рабочее место оператора технологических установок представляет собой операторскую и площадку с изотермическим хранилищем этилена (резервуаром).

Операторская – помещение длиной 6 метров, шириной 5 метров, высотой 3,5 метра. Стены операторской выкрашены светлым цветом, потолок выкрашен белым цветом, пол покрыт светлым линолеумом. Данное помещение находится в здании, построенном из железобетонных и металлических конструкций.

Рабочее место оператора оборудовано персональным компьютером, мониторами, пультом управления. Освещение операторской – комбинированное (искусственное и естественное). Вентиляция естественная. Температура воздуха в помещении: в холодное время года – 20-22°C, в теплое время года – 21-23°C.

Согласно ГОСТ 12.0.003-2015, на рабочем месте оператора имеются следующие вредные и опасные производственные факторы [36]:

- электромагнитное излучение;
- производственный микроклимат;
- недостаточная освещенность;
- повышенная концентрация паров нефтепродуктов;
- опасность поражения электрическим током;
- пожарная опасность.

3.2 Анализ выявленных вредных факторов производственной среды

3.2.1 Электромагнитное излучение

Воздействие электромагнитного излучения (ЭМИ) на человека оказывает влияние, в первую очередь, на центральную-нервную систему, вызывая головные боли, усталость, ухудшение концентрации внимания, бессонницу, раздражительность и т.д. Также ЭМИ вызывает нарушения работы сердечно-сосудистой системы [37].

Значения допустимых показателей ЭМИ, воздействующего от монитора на человека, работающего с персональными электронно-вычислительными машинами (далее ПЭВМ), устанавливает СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы» [38]. В таблице 12 представлено сравнение фактических и нормативных показателей ЭМИ.

Таблица 12 – Уровни электромагнитных полей, создаваемых ПЭВМ на рабочих местах

Наименование показателя	Единица измерения	Нормативное значение	Фактический уровень
Напряженность электростатического поля	кВ/м	15	0,2
Напряженность переменного электрического тока: – 5 Гц – 2 кГц – 2 кГц – 400 кГц	В/м	25 2,5	9,5 0,4
Плотность магнитного потока: 5 Гц – 2 кГц 2 кГц – 400 кГц	нТл	250 25	15 2

Таким образом, показатели электромагнитного излучения, создаваемым монитором компьютера, не превышают допустимые значения, и, следовательно, удовлетворяют всем необходимым требованиям безопасности рабочего места.

3.2.2 Производственный микроклимат

Неблагоприятные микроклиматические параметры воздуха рабочей зоны оказывают влияние на процесс теплообмена человека, и как следствие, на самочувствие, работоспособность и производительность труда. Могут вызвать головные боли, затрудненность дыхания, ухудшение здоровья человека [39].

Требования к показателям микроклимата рабочей зоны устанавливаются в соответствии с ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» [40].

В производственных помещениях, в которых работа с использованием ПЭВМ является основной и связана с нервно-эмоциональным напряжением, должны обеспечиваться оптимальные параметры микроклимата для категории работ 1а и 1б [41].

В таблице 13 представлено сравнение фактических и нормативных (оптимальных) показателей микроклимата рабочей зоны оператора.

Таблица 13 – Показатели воздуха рабочей зоны

Период года	Категории работ по уровням энергозатрат, Вт	Температура воздуха оптимальная (допустимая), °С	Относительная влажность воздуха оптимальная (допустимая), %	Скорость движения воздуха оптимальная (допустимая), м/с
Нормативные показатели				
Холодный	Iб (140–174)	21-23 (20-24)	60-40 (не более 75)	0,1 (не более 0,1)
Теплый		22-24 (21-28)	60-40 (не более 60)	0,2 (0,1-0,3)
Фактические показатели				
Холодный	Iб (140–174)	20-22	20	0,1
Теплый		21-23	21	0,1

Исходя из данной таблицы, следует, что показатели воздуха рабочей зоны оператора удовлетворяют всем необходимым требованиям.

3.2.3 Недостаточная освещенность

Плохое освещение оказывает негативное воздействие на зрение человека, приводит к утомлению, снижает концентрацию внимания, работоспособность [42].

Освещенность регламентируется согласно СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение» [43].

Для рабочего места оператора необходимо осуществить расчет размещения приборов освещения, так как имеющаяся система освещения была рассчитана и спроектирована согласно ныне не действующему СП 52.13330.2011 [44].

Данный расчет выполняется для помещения с размерами: $A = 6$ м, $B = 5$ м, $H = 3,5$ м.

При выборе освещения необходимо учитывать, что в помещении выполняются зрительные работы высокой точности. В качестве источника освещения выбраны люминесцентные лампы (ЛЛ). В качестве осветительного прибора – двухламповый светильник типа ОД.

Размещение осветительных приборов осуществляется из соотношения расстояний между светильниками λ (для люминесцентных без защитной решетки $ОД = 1,4$).

Расстояние между светильниками L (м) определяется по формуле:

$$L = h \cdot \lambda \quad (88)$$

где h – высота подвеса светильников над рабочей поверхностью (м), определяемая по формуле:

$$h = H - h_c - h_1 \quad (89)$$

где H – высота помещения, м;

h_c – расстояние светильников от перекрытия (0,5 м);

h_1 – высота рабочей поверхности над полом (1 м).

$$h = 3,5 - 0,5 - 1 = 2 \text{ м.}$$

Расстояние между светильниками, формула (1):

$$L = 2 \cdot 1,4 = 2,8 \text{ м.}$$

Расстояние от стен помещения до крайних светильников L (м) определяется по формуле:

$$l = L/3 \quad (90)$$

$$l = 2,8/3 = 0,9 \text{ м.}$$

Число рядов светильников в помещении N_p определяется по формуле:

$$N_p = \frac{A}{L} \quad (91)$$

$$N_p = \frac{6}{2,8} = 2 \text{ ряда.}$$

Число светильников в ряду N_c определяется по формуле:

$$N_c = \frac{B}{L} \quad (92)$$

$$N_c = \frac{5}{2,8} = 2 \text{ шт.}$$

Исходя из размеров операторской ($A = 6$ м, $B = 5$ м), и расстояний между светильниками, были подобраны светильники типа ОД–2-80 ($A = 1,531$ м, $B = 0,266$ м). Таким образом, определено, что число светильников в ряду должно быть равно двум, а число рядов – два, т.е. всего светильников должно быть четыре.

Величина светового потока лампы Φ (лм) определяется по формуле:

$$\Phi = \frac{E \cdot k \cdot S \cdot Z}{n \cdot \eta} \quad (93)$$

где E – минимальная освещенность, лк (согласно СП 52.13330.2016 – при выполнении зрительных работ высокой точности освещенность на рабочей поверхности должна составлять 400 лк [43]);

k – коэффициент запаса, (для люминесцентных ламп в помещениях с малым выделением пыли $k = 1,5$);

$S = 30 \text{ м}^2$ – площадь помещения;

n – число ламп в помещении ($n = 8$ шт.);

Z – коэффициент неравномерности освещения ($Z = 1,1$);

η – коэффициент использования светового потока, значение которого зависит от индекса помещения i и значения коэффициентов отражения стен ρ_c и потолка ρ_n и типа светильника.

Индекс помещения i определяется по формуле:

$$i = \frac{S}{h \cdot (A+B)} \quad (94)$$

где S – площадь помещения, м^2 ;

A, B – длина и ширина помещения, м;

h – высота подвеса светильников над рабочей поверхностью (2 м).

$$i = \frac{30}{2 \cdot (6+5)} = 1,36.$$

Коэффициенты отражения стен ρ_c и потолка ρ_n для рассматриваемого помещения составляют 0,5 и 0,7, соответственно. Таким образом, коэффициент использования светового потока (для светильника ОД) будет составлять 0,56.

Величина светового потока лампы будет составлять, формула (6):

$$\Phi = \frac{400 \cdot 1,5 \cdot 30 \cdot 1,1}{8 \cdot 0,56} = 4420 \text{ лм.}$$

Исходя из расчетов количества светильников и величины светового потока система общего освещения операторской должна состоять из двух двухламповых светильников типа ОД с люминесцентными лампами ЛХБ 80 Вт, со световым потоком 5000 лм, построенных в 2 ряда, по 2 светильника. Расстояние между светильниками в ряду составит 1,138 м. Схема расположения светильников представлена на рисунке 3.

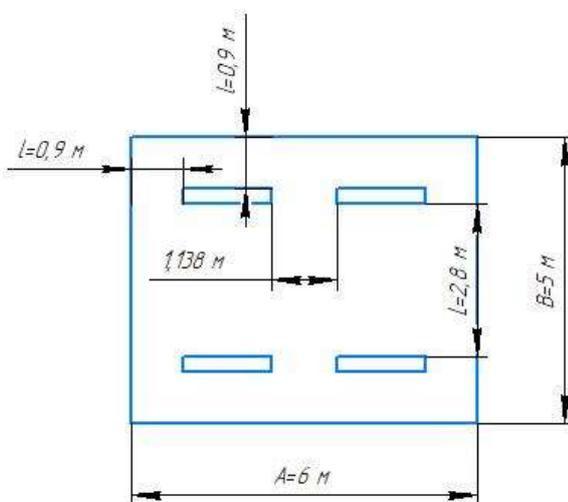


Рисунок 3 – Схема расположения светильников

3.2.4 Повышенная концентрация паров нефтепродуктов

Пары нефтепродуктов оказывают токсическое воздействие на человека. При попадании в организм человека небольших концентраций паров нефтепродуктов может наблюдаться интоксикация, приводящая к головокружению и тошноте. Также, при постоянном контакте человека с парами нефтепродуктов, могут развиваться хронические заболевания [45].

Содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны не должно превышать предельно-допустимые концентрации (ПДК), установленные в ГОСТ 12.1.005-88. Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны, а также СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и

требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» [40,46].

Оператор работает на площадке, где находится хранилище с этиленом. Этилен относится к веществам 4 класса опасности, обладает раздражающим, сенсibiliзирующим и наркотическим действиями. ПДК этилена в воздухе рабочей зоны составляет 100 мг/м³ [47]. Следовательно, его содержание не должно превышать этот показатель и должно подвергаться периодическому контролю. В случае превышения ПДК оператор должен использовать средства индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД).

3.3 Анализ выявленных опасных факторов производственной среды

3.3.1 Опасность поражения электрическим током

Рабочее место оператора (помещение) оборудовано электронными устройствами, которые могут являться источниками поражения электрическим током. Воздействие электрического тока (электрический удар) может привести к судорогам, остановке дыхания и нарушениям работы сердца [48].

Для защиты от поражения электрическим током в помещение оператора предусмотрены следующие меры:

- 1) пол покрыт непроводящим покрытием;
- 2) токоведущие части изолированы и расположены на безопасном расстоянии;
- 3) имеется заземление у всех электрических приборов;
- 4) имеется система молниезащиты здания.

Таким образом, рабочее место оператора удовлетворяет требованиям безопасности согласно ГОСТ 12.1.030–81. ССБТ. «Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление» [49].

3.3.2 Пожарная опасность

На площадке хранения нефтепродуктов находится изотермическое хранилище этилена. Согласно ГОСТ 25070-2013 «Этилен. Технические условия» этилен является бесцветным горючим газом, способным к взрывному разложению при повышенном давлении, высокой температуре и воздействии открытого огня в присутствии кислорода. Концентрационные пределы распространения пламени в воздухе составляют: 2,8–36,35 % об. [47].

Для обеспечения пожарной безопасности ведется постоянный контроль параметров хранимого этилена, имеется автоматизированная система управления, исключающая частое пребывания в зоне поражения, помещение оператора оснащено системой оповещения, имеется первичное средство пожаротушения – огнетушитель ОВП-5. Таким образом, помещение оператора удовлетворяет требованиям ГОСТ 12.1.004-91. ССБТ. «Пожарная безопасность. Общие требования» [50].

3.4 Охрана окружающей среды

Негативное воздействие на окружающую среду при эксплуатации объекта возможно при авариях, связанных с выбросом (проливом) нефтепродуктов. На ООО «Томскнефтехим» предусмотрены меры по обеспечению промышленной безопасности, выполнены мероприятия, исключающие разлив нефтепродуктов, имеется обвалование резервуаров хранения нефтепродуктов.

Ближайший водный объект находится на большом расстоянии от предприятия, следовательно, попадание в него нефтепродуктов невозможно и, таким образом, возможность негативного влияния на гидросферу при аварии отсутствует.

Атмосфера является наиболее уязвимым элементом окружающей среды, подверженной к негативному воздействию при аварии, так как возможно загрязнение атмосферного воздуха парами нефтепродуктов. Для предотвращения аварийных ситуаций и минимизации загрязнения атмосферы, в случае аварийного выброса веществ, на предприятии предусмотрены технические решения, а именно: система блокировки и защиты (для прекращения работы оборудования в случае аварии), предохранительные клапаны (для защиты оборудования при превышении допустимого давления), средства контроля и регулирования технологических параметров, аварийное освобождение аппаратов и трубопроводов от жидких углеводородов в закрытые дренажные системы. Также проводятся профилактические мероприятия, связанные с испытаниями технологического оборудования на герметичность и прочность.

Измерения уровня загрязнений окружающей среды производятся Центральной заводской лабораторией ООО «Томскнефтехим», согласно лицензии, которая позволяет ей выполнять полный спектр лабораторных исследований воды и атмосферного воздуха в санитарно-защитной зоне предприятия.

3.5 Защита в чрезвычайных ситуациях

На территории ООО «Томскнефтехим» возможные следующие чрезвычайные ситуации:

- экологические (загрязнение окружающей среды);
- техногенные (выброс или пролив нефтепродуктов, пожары, взрывы, разрушения технологического оборудования);
- социальные (террористические акты).

Наиболее типичной чрезвычайной ситуацией является выброс или пролив нефтепродуктов. Причиной возникновения выброса или пролива может стать

разгерметизация технологического оборудования, резервуаров, трубопроводов. Последствиями выброса или пролива нефтепродуктов могут стать возгорания (пожары), взрывы, загрязнение окружающей среды.

Для исключения разгерметизации технологического оборудования и предупреждения аварийных выбросов нефтепродуктов на промышленных объектах ООО «Томскнефтехим» приняты следующие инженерно-технические решения и проводятся следующие организационно-технические мероприятия:

- конструкционные материалы по коррозионной стойкости, эрозионному износу и работоспособности в условиях высоких давлений, низких и высоких температур соответствуют условиям эксплуатации;

- все оборудование и трубопроводы регулярно подвергаются пневматическим и гидравлическим испытаниям на прочность и плотность;

- все транспортные трубопроводы проложены по надземным эстакадам на удалении от опасных и транспортных участков и источников нагрева, способ прокладки обеспечивает устойчивое закрепление, удобное обслуживание и осмотр;

- все процессы проводятся в герметичном оборудовании;

- технологическое оборудование, работающее под давлением, оснащено предохранительными клапанами;

- защита фланцевых соединений осуществляется подбором соответствующих прокладочных и крепежных материалов, систематическим надзором за их состоянием;

- для предупреждения разгерметизации подвижных узлов (сальников), осуществляется систематический контроль за их техническим состоянием;

- технологическое оборудование оснащено средствами контроля регулирования технологических параметров (давления, температуры, расхода, уровня жидкости в аппаратах и т. п.), системами сигнализации и блокировок;

– управление технологическим процессом и контроль за работой технологического оборудования осуществляется дистанционно с пульта управления;

– насосы, перекачивающие технологические среды, имеют двойные торцевые уплотнения и резервированы;

– аварийное освобождение аппаратов и трубопроводов от жидких углеводородов осуществляется в закрытые дренажные системы.

В случае возникновения пожара, на предприятии предусмотрены:

– стационарные лафетные стволы, пожарные гидранты, кольца водяного орошения резервуарного оборудования, автоматическая установка пенотушения в резервуарах;

– на системах автоматического пенотушения и водотушения установлены быстродействующие клапаны мембранные (БКМ) и клапаны мембранные универсальные (КМУ) с временем срабатывания 3 секунды;

– производства оборудованы первичными средствами пожаротушения (огнетушители, асбестовые одеяла, песок).

На случай возникновения аварийной ситуации на предприятии действует система оповещения персонала. Также, старший диспетчер, при получении сигнала об аварии, немедленно сообщает о случившемся должностным лицам и организациям (согласно инструкции).

Ликвидацией аварийной ситуации занимаются нештатное аварийно-спасательное формирование ООО «Томскнефтехим», пожарная часть № 8 и газоспасательная служба ООО «ПРОМГАЗСЕРВИС» (на договорной основе).

Их основными задачами являются:

– организация и проведение эвакуации персонала и населения из опасной зоны;

– проведение мероприятий по предотвращению образования облака ТВС и его воспламенения, локализация пролива;

– подготовка сил и средств к ликвидации возможного пожара.

Ликвидацией последствий пролива (загрязнения территории) занимаются НАСФ. Сбор пролитых нефтепродуктов осуществляется сразу же после их локализации, с помощью нефтесборного оборудования НАСФ ООО «Томскнефтехим».

3.6 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Вопросы, связанные обеспечением безопасных условий и охраны труда, на ООО «Томскнефтехим» регламентируются в соответствии с Трудовым кодексом Российской Федерации [51]. Ответственность за обеспечение безопасных условий и охраны труда несет непосредственно руководитель предприятия – генеральный директор. За проведение инструктажей по охране труда на рабочем месте отвечает руководитель работ, который должен быть обучен и аттестован по охране труда.

Режим труда и отдыха предусматривает особенности условий труда работников предприятия, и обеспечивает оптимальные условия с учетом физических и нервно-эмоциональных нагрузок, монотонности труда и воздействия вредных и опасных производственных факторов.

При работе в помещении оптимальные условия труда достигаются при соответствии нормативным требованиям микроклиматических параметров и освещения. В ходе анализа рабочего места оператора технологических установок было выявлено, что система искусственного освещения рабочего места не соответствует требованиям. Остальных нарушений не выявлено, все параметры соответствуют требованиям, предъявляемым к рабочему месту оператора.

3.7 Выводы по разделу «Социальная ответственность»

В данном разделе исследовано рабочее место оператора технологических установок ООО «Томскнефтехим», на котором была произведена идентификация вредных и опасных производственных факторов, воздействие которых возможно на оператора. Выявлено, что на оператора технологических установок могут воздействовать следующие вредные и опасные факторы: электромагнитное излучение, производственный микроклимат, недостаточная освещенность, повышенная концентрация паров нефтепродуктов, опасность поражения электрическим током, пожарная опасность. В ходе анализа нормируемых параметров данных факторов на соответствие с нормативными документами, регулирующие безопасность этих параметров, было определено, что система искусственного освещения рабочего места оператора не соответствует требованиям действующей нормативной документации. В соответствии с действующей нормативной документацией, был произведен расчет системы искусственного освещения, произведен подбор необходимого количества светильников и ламп. Внедрении данной системы позволит создать для оператора технологических установок требуемые условия труда, соответствующие данному рабочему месту.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выпускной квалификационной работы были выполнены следующие задачи:

– проанализированы литературные данные о потенциальной опасности нефтехимических предприятий, которая заключается в том, что на данных предприятиях используются, перерабатываются, хранятся и транспортируются взрывоопасные вещества, легковоспламеняющиеся и горючие газы и жидкости, а также токсичные и высокотоксичные вещества; проанализированы статистические данные об авариях на предприятиях нефтепромышленного комплекса, которые показали, что более 50% от всех аварий составляют пожары и взрывы, из чего следует, что данные предприятия являются взрывопожароопасными; изучена нормативно-правовая база в области обеспечения безопасности на взрывопожароопасных объектах, которая показала что для данных объектов существует ряд требований, и необходимых мероприятий, выполнение которых исключает возникновение аварийных ситуаций;

– изучены общие сведения о деятельности ООО «Томскнефтехим», определено что источниками опасности на данном предприятии являются резервуары для хранения нефтепродуктов (углеводородов), автомобильные и железнодорожные цистерны, технологические трубопроводы. Рассмотрен вариант аварийной ситуации, связанный с разгерметизацией (разрушением) резервуара со сжиженным этиленом ($m = 10 \text{ т}$), и определены возможные сценарии данной аварии – взрыв ТВС и мгновенное воспламенение с образованием огненного шара.

– в случае взрыва ТВС определены параметры ударной волны – возможные избыточное давление (31410 Па) и импульс фазы сжатия (3387 Па·с), воздействующие на ближайшее здание (цех подготовки сырья),

находящееся на расстоянии 110 метров от места взрыва. При данных параметрах ударной волны произведена оценка поражающего действия, которая показала, что вероятность повреждений стен промышленных зданий, при которых возможно восстановление зданий без их сноса, составляет 90%, вероятность разрушений промышленных зданий, при которых здания подлежат сносу составляет 35%. Оценка вероятности поражения людей при взрыве облака ТВС показала, что наиболее вероятное воздействие – разрыва барабанных перепонок у людей, с вероятностью 3%. По итогу, здание цеха подготовки сырья получит сильную степень разрушения, что приведет к образованию завала объемом 2100 м³. Для проведения АСДНР необходимо привлечение спасательных и других формирований общей численностью 74 человека, специальных и инженерных технических средств в количестве 13 единиц.

– в случае мгновенного воспламенения этилена с образованием огненного шара определена интенсивность теплового излучения (47,2 кВт/м²), воздействующего на персонал, находящийся в здании, расположенном на расстоянии 110 метров от места воспламенения, которая показала, что при дозе теплового излучения, равной 472 Дж/м², вероятность поражения человека тепловым излучением составляет 19%. После огненного шара, в резервуаре с этиленом и в пределах обвалования, образуется пожар, площадь которого равна площадям резервуара и обвалования, 4,6 м² и 15 м², соответственно. Для проведения работ, связанных с охлаждением резервуара и непосредственно ликвидацией пожара, необходимо привлечение сил пожарной охраны общей численностью 18 человека, пожарных технических средств в количестве 3 единиц.

Таким образом, цель выпускной квалификационной работы была достигнута.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ханило, Д. А. Анализ текущего состояния и проблем функционирования предприятий нефтеперерабатывающего и нефтехимического комплексов на современном этапе / Д. А. Ханило. Текст: непосредственный // Молодой ученый. – 2019. – № 35 (273). – С. 49–53.

2. Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 26 декабря 2012 г. № 778 «Об утверждении Руководства по безопасности для складов сжиженных углеводородных газов и легковоспламеняющихся жидкостей под давлением». – URL: <https://docs.cntd.ru/document/902389567> (дата обращения: 01.02.2023). – Текст: электронный.

3. СП 302.1325800.2017. Свод правил. Склады для аварийно-химических опасных веществ. Правила проектирования: дата введения 2018-01-28. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/555603337> (дата обращения: 01.02.2023). – Текст: электронный.

4. Федеральный закон от 21.07.1997 № 116-ФЗ (ред. от 11.06.2021) «О промышленной безопасности опасных производственных объектов». – URL: <https://docs.cntd.ru/document/9046058> (дата обращения: 02.02.2023). – Текст: электронный.

5. Радченко, Ю. С. Анализ риска эксплуатации нефтеперерабатывающих объектов / Ю. С. Радченко. – Текст: непосредственный // Труды БГТУ. Химия и технологии органических веществ, материалов и изделий. – 2018. – № 4. – С. 75–77.

6. Баширов, М. Г. Оценка технического состояния оборудования предприятий нефтегазовой отрасли / М. Г. Баширов, У. Ф. Юмагузин, В. Л. Талаев. – Текст: непосредственный // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». – 2014. – № 5. – С. 293–302.

7. ГОСТ 1510–2022. Нефть и нефтепродукты. Маркировка, упаковка, транспортирование и хранение: дата введения 2023-01-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/350939601> (дата обращения: 04.02.2023). – Текст: электронный.

8. Краснов, А. В. Статистика чрезвычайных происшествий на объектах нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности за 2007-2016 гг. / А. В. Краснов, З. Х. Садыкова, Д. Ю. Пережогин [и др.]. – Текст: непосредственный // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». – 2017. – № 6. – С. 179–191.

9. ГОСТ Р 58473–2019. Классификация опасности химической продукции. Общие требования: дата введения 2022-06-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200167656> (дата обращения: 06.02.2023). – Текст: электронный.

10. ГОСТ 12.1.044–89. Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения: дата введения: 1991-01-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200004802> (дата обращения: 09.02.2023). – Текст: электронный.

11. ГОСТ 12.1.007–76. Система стандартов безопасности труда. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности: дата введения 1977-01-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/5200233> (дата обращения: 10.02.2023). – Текст: электронный.

12. Уроки, извлеченные из аварий. — Текст: электронный // Ростехнадзор: [сайт]. — URL: <https://www.gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons/> (дата обращения: 15.02.2023).

13. Полякова, С. А. Анализ аварийности на объектах нефтегазовой отрасли России / С. А. Полякова, С. С. Ильичёв. – Текст: непосредственный // Молодой ученый. – 2022. – № 16 (411). – С. 115–117.

14. Лебедева, М. И. Аналитический обзор статистики по опасным событиям на объектах нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности / М. И. Лебедева, А. В. Богданов, Ю. Ю. Колесников. – Текст: непосредственный // Экологическая безопасность. – 2013. – С. 1–8.

15. Волков, О. М. Пожарная безопасность резервуаров с нефтепродуктами / О. М. Волков. – Санкт-Петербург: Изд-во политехнического университета, 2017. – 258 с. – ISBN 978-5-7422-2697-0.

16. Приказ федеральной службы по экологическому, техническому и атомному надзору от 15.12.2020 № 533 «Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности. Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств». – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573200380> (дата обращения: 18.02.2023). – Текст: электронный.

17. Тимченко, Р. А. Производственная безопасность в нефтегазовой отрасли / Р. А. Тимченко. – Текст: непосредственный // Молодой ученый. – 2023. – № 3 (450). – С. 104–105.

18. Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29.12.2004 №190-ФЗ (ред. от 19.12.2022). URL: <https://docs.cntd.ru/document/901919338> (дата обращения: 19.02.2023). – Текст: электронный.

19. Постановление Правительства РФ от 15.09.2020 № 1437 «Об утверждении Положения о разработке планов мероприятий по локализации и ликвидации последствий аварий на опасных производственных объектах». – URL: <https://docs.cntd.ru/document/565738495> (дата обращения: 20.02.2023). – Текст: электронный.

20. Федеральный закон от 27.07.2010 № 225-ФЗ (последняя редакция) «Об обязательном страховании гражданской ответственности владельца опасного объекта за причинение вреда в результате аварии на опасном

объекте». – URL: <https://docs.cntd.ru/document/902228214> (дата обращения: 22.02.2023). – Текст: электронный.

21. Зиновьев, С. М. Декларация промышленной безопасности готовность к безопасности ОПО /С. М. Зиновьев. – Текст: электронный // Электронный научный журнал «Регламент». – 2015. – № 6. – С. 57–59.

22. Приказ федеральной службы по экологическому, техническому и атомному надзору от 03.11.2022 № 387 Об утверждении Руководства по безопасности «Методические основы анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах». – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1300154647> (дата обращения: 01.03.2023). – Текст: электронный.

23. Постановление Правительства РФ от 17.08.2020 № 1241 «Об утверждении Правил представления декларации промышленной безопасности опасных производственных объектов». – URL: <https://docs.cntd.ru/document/565557816> (дата обращения: 03.03.2023). – Текст: электронный.

24. Приказ федеральной службы по экологическому, техническому и атомному надзору от 23.06.2014 № 257 (ред. от 30.06.2017) «Об утверждении Административного регламента Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору по предоставлению государственной услуги по ведению реестра деклараций промышленной безопасности». – URL: <https://docs.cntd.ru/document/420205064> (дата обращения: 07.03.2023). – Текст: электронный.

25. Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 16.10.2020 № 414 «Об утверждении Порядка оформления декларации промышленной безопасности опасных производственных объектов и перечня включаемых в нее сведений». – URL: <https://docs.cntd.ru/document/566406891> (дата обращения: 10.03.2023). – Текст: электронный.

26. СП 14.13330.2018. Свод правил. Строительство в сейсмических районах: дата введения 2018-05-24. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/550565571/titles> (дата обращения: 15.03.2023). – Текст: электронный.

27. СП 131.13330.2020. Свод правил. Строительная климатология: дата введения 2021-06-25. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573659358> (дата обращения: 15.03.2023). – Текст: электронный.

28. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 22.11.2011 № 145 «Об установлении размера санитарно-защитной зоны имущественного комплекса ООО «Томскнефтехим» на территории города Томска Томской области, Кузовлевский тракт, д. 2». – URL: <https://docs.cntd.ru/document/902314481> (дата обращения: 17.03.2023). – Текст: электронный.

29. Постановление Правительства РФ от 31 декабря 2020 г. № 2451 «Об утверждении Правил организации мероприятий по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов на территории Российской Федерации, за исключением внутренних морских вод Российской Федерации и территориального моря Российской Федерации, а также о признании утратившими силу некоторых актов Правительства Российской Федерации». – URL: <https://base.garant.ru/400170332/> (дата обращения: 16.03.2023). – Текст: электронный.

30. СП 155.13130.2014. Свод правил. Склады нефти и нефтепродуктов. Требования пожарной безопасности: дата введения 2014-01-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200108948> (дата обращения: 24.03.2023). – Текст: электронный.

31. Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 03.11.2022 № 387 Об утверждении Руководства по безопасности «Методические основы анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах» – URL:

https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_433652/ (дата обращения: 15.04.2023). – Текст: электронный.

32. Баратов А. Н. и др. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов, и средств их тушения. Справочник / А. Н. Баратов, А. Я. Корольченко, Г. Н. Кравчук. – Москва: Химия, 1990. – 496 с. – ISBN 5-901283-02-3

33. ГОСТ Р 12.3.047-2012. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля: дата введения 2014-01-01. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200103505> (дата обращения: 25.04.2023). – Текст: электронный.

34. Приказ МЧС России от 29 апреля 2013 г. № 290 «Об утверждении категорий военнослужащих, проходящих военную службу по контракту в МЧС России, сотрудников федеральной противопожарной службы Государственной противопожарной службы, федеральных государственных гражданских служащих и работников МЧС России, имеющих право на продовольственное обеспечение в период несения дежурства, участия в полевых учениях, проведения аварийно-спасательных и других неотложных работ, нахождения в служебных командировках на территориях иностранных государств для ликвидации последствий стихийных бедствий и чрезвычайных ситуаций, норм и порядка их продовольственного обеспечения» – URL: <https://docs.cntd.ru/document/499022784> (дата обращения: 27.04.2023). – Текст: электронный.

35. Постановление Правительства РФ от 13 сентября 2016 г. № 913 «О ставках платы за негативное воздействие на окружающую среду и дополнительных коэффициентах» – URL: <https://docs.cntd.ru/document/420375216> (дата обращения: 29.04.2023). – Текст: электронный.

36. ГОСТ 12.0.003-2015. Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация: дата

введения 2017-03-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1o200136071> (дата обращения: 21.04.2023). – Текст: электронный.

37. Кудратиллаев, К. Р. Что такое ЭМИ? Влияние электромагнитного излучения на человека / К. Р. Кудратиллаев. – Текст: непосредственный // Молодой ученый. – 2020. – № 23 (313). – С. 78–80.

38. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормы. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы: URL: <https://docs.cntd.ru/document/901865498> (дата обращения: 23.04.2023). – Текст: электронный.

39. Каххарова, Т. А. Влияние на организм неблагоприятного производственного микроклимата / Т. А. Каххарова. – Текст: непосредственный // Сборник трудов Международной научно-технической конференции «Перспективные направления научно-исследовательской деятельности молодых ученых и специалистов». – 2015. – № 15. – С. 81–85.

40. ГОСТ 12.1.005-88. Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны: дата введения 1989-01-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200003608> (дата обращения: 24.04.2023). – Текст: электронный.

41. СанПиН 2.2.4.548-96. Санитарно-эпидемиологические правила и нормы. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/901704046> (дата обращения: 25.04.2023). – Текст: электронный.

42. Рожин, В. М. Исследование производственного освещения и создание безопасных и комфортных условий труда / В. М. Рожин. – Текст: непосредственный // Научные труды студентов Ижевской ГСХА. – 2021. – Том 2 (13). – С. 437–441.

43. СП 52.13330.2016. Свод правил. Естественное и искусственное освещение: дата введения 2017-05-08. – URL:

<https://docs.cntd.ru/document/456054197> (дата обращения: 27.04.2023). – Текст: электронный.

44. Приказ Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства от 7 ноября 2016 года № 777/пр Об утверждении СП 52.13330 «СНиП 23-05-95 Естественное и искусственное освещение». – URL: <https://docs.cntd.ru/document/456046667> (дата обращения: 29.04.2023). – Текст: электронный.

45. Ширшова, Д. С., Кожевникова, Н. Ю. Нефть как вредный фактор для организма человека / Д. С. Ширшова, Н. Ю. Кожевникова. – Текст: непосредственный // Молодежь и наука. – 2017. – № 3. – С.60–64.

46. СанПиН 1.2.3685-21. Санитарные правила и нормы. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115?marker=6560Ю> (дата обращения: 01.05.2023). – Текст: электронный.

47. ГОСТ 25070-2013. Этилен. Технические условия: дата введения 2015-01-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200108168> (дата обращения: 03.05.2023). – Текст: электронный.

48. Синетов, Н. Н. Воздействие электрического тока на организм человека / Н. Н. Синетов. – Текст: непосредственной // Студенческий. – № 20-1 (148). – С. 35–36.

49. ГОСТ 12.1.030-81. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление: дата введения 1982-07-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/5200289> (дата обращения: 05.05.2023). – Текст: электронный.

50. ГОСТ 12.1.004-91. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования: дата введения 1992-07-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/9051953> (дата обращения: 07.05.2023). – Текст: электронный.

51. Российская Федерация. Трудовой кодекс Российской Федерации: Федеральный закон № 197-ФЗ от 30.12.2001. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/901807664> (дата обращения: 12.05.2023). – Текст: электронный.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(Справочное)

Таблица А.1 – Экспертная таблица для определения режима взрывного превращения

Класс горючего вещества	Вид окружающего пространства			
	1	2	3	4
	Ожидаемый диапазон скорости взрывного превращения			
1	1	1	2	3
2	1	2	3	4
3	2	3	4	5
4	3	4	5	6

Диапазон 1. Детонация или горение со скоростью фронта пламени 500 м/с и более.

Диапазон 2. Дефлаграция, скорость фронта пламени 300 – 500 м/с.

Диапазон 3. Дефлаграция, скорость фронта пламени 200 – 300 м/с.

Диапазон 4. Дефлаграция, скорость фронта пламени 150 – 200 м/с.

Диапазон 5. Дефлаграция, скорость фронта пламени определяется соотношением:

$$V_r = k_1 \cdot M_r^{1/6} \quad (\text{A.1})$$

где $k_1 = 43$, константа.

Диапазон 6. Дефлаграция, скорость фронта пламени определяется соотношением:

$$V_r = k_2 \cdot M_r^{1/6} \quad (\text{A.2})$$

где $k_2 = 26$, константа.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(Справочное)

Таблица Б.1 – Связь вероятности поражения с пробит-функцией

P, %	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0		2,67	2,95	3,12	3,25	3,38	3,45	3,52	3,59	3,66
10	3,72	3,77	3,82	3,86	3,92	3,96	4,01	4,05	4,08	4,12
20	4,16	4,19	4,23	4,26	4,29	4,33	4,36	4,39	4,42	4,45
30	4,48	4,50	4,53	4,56	4,59	4,61	4,64	4,67	4,69	4,72
40	4,75	4,77	4,80	4,82	4,85	4,87	4,90	4,92	4,95	4,97
50	5,00	5,03	5,05	5,08	5,10	5,13	5,15	5,18	5,20	5,23
60	5,25	5,28	5,31	5,33	5,36	5,39	5,41	5,44	5,47	5,50
70	5,52	5,55	5,58	5,61	5,64	5,67	5,71	5,74	5,77	5,81
80	5,84	5,88	5,92	5,95	5,99	6,04	6,08	6,13	6,18	6,23
90	6,28	6,34	6,41	6,48	6,55	6,64	6,75	6,88	7,05	7,33
99	7,33	7,37	7,41	7,46	7,51	7,58	7,65	7,75	7,88	

ПРИЛОЖЕНИЕ В

(Справочное)

Таблица Г.1 – Силы и средства сводной механизированной группы

№ п/п	Силы		Средства		Выполняемые работы
	Специальность	Кол-во, чел.	Вид средства	Кол-во, ед.	
1	Командир группы	1	-	-	Общее руководство работами и контроль за соблюдением мер безопасности
2	Крановщик Стропальщик	2 4	Автокран (16-25 т)	1	Подъем и перемещение железобетонных конструкций и поддонов с мелкими обломками
3	Экскаваторщик	2	Экскаватор (0,65м ³)	1	Загрузка мелких обломков
4	Компрессорщик	2	Компрессорная станция	1	Дробление железобетонных конструкций
5	Газосварщик	2	Керосинорез	1	Резка арматуры
6	Бульдозерист	2	Бульдозер (130-240 л.с.)	1	Сдвигание обломков конструкций, подготовка мест для автокрана и экскаватора
7	Водитель	4	Самосвал	2	Вывоз обломков конструкций
8	Загрузчики	4	Поддон (1,5 м ³)	1	Загрузка поддонов мелкими обломками конструкций
Итого		23		8	

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

(Обязательное)

Схема оповещения при аварийном проливе на ООО «Томскнефтехим»

