

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

Институт инженерной и экологической безопасности

(наименование института полностью)

20.03.01 Техносферная безопасность

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Пожарная безопасность

(направленность (профиль)/специализация)

## ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Разработка мероприятий, направленных на совершенствование тушения пожаров на объектах нефтегазового сектора

Студент

Р.С. Шамсутдинов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

Н.Ю. Мичурина

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Консультант

к.э.н., доцент, Т.Ю. Фрезе

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2023

## Аннотация

Тема выпускной квалификационной работы: «Разработка мероприятий, направленных на совершенствование тушения пожаров на объектах нефтегазового сектора».

В разделе «Оперативно-тактическая характеристика здания» рассмотрена оперативно-тактическая характеристика производственного склада СУГ.

В разделе «Мероприятия, направленные на совершенствование тушения пожаров на объектах нефтегазового сектора» произведён анализ применения мероприятий, направленных на совершенствование тушения пожаров на объектах нефтегазового сектора.

В разделе «Разработка технологии (программы) мероприятий, направленных на совершенствование тушения пожаров на объектах нефтегазового сектора» рассматривалась возможность внедрения современных технологий, направленных на совершенствование тушения пожаров на объектах нефтегазового сектора.

В разделе «Охрана труда» разработана процедура реализации мероприятий по улучшению условий труда, в том числе разработанных по результатам специальной оценки рабочих мест по условиям труда, и оценки уровней профессиональных рисков.

В разделе «Охрана окружающей среды и экологическая безопасность» произведена идентификация экологических аспектов организации и разработан план мероприятий по восстановлению загрязненных земельных ресурсов при аварийных проливах СУГ.

В разделе «Оценка эффективности мероприятий по обеспечению техносферной безопасности» произведена оценка эффективности мероприятий по обеспечению техносферной безопасности.

Количественная характеристика ВКР: объем работы составляет 50 страниц, 4 рисунка, 8 таблиц.

## Содержание

Введение.....	4
Термины и определения .....	6
Перечень сокращений и обозначений.....	8
1 Оперативно-тактическая характеристика здания .....	9
2 Мероприятия, направленные на совершенствование тушения пожаров на объектах нефтегазового сектора .....	18
2.1 Анализ применения мероприятий, направленных на совершенствование тушения пожаров на объектах нефтегазового сектора .....	18
3 Разработка технологии (программы) мероприятий, направленных на совершенствование тушения пожаров на объектах нефтегазового сектора...	27
4 Охрана труда.....	32
5 Охрана окружающей среды и экологическая безопасность .....	34
6 Оценка эффективности мероприятий по обеспечению техносферной безопасности .....	38
Заключение .....	44
Список используемых источников.....	47

## Введение

В Российской Федерации по результатам статистики за 5 лет в области нефтяной, а также нефтеперерабатывающей промышленности было зарегистрировано 46 пожаров в год. Наиболее опасными для возникновения пожара считается весеннее-летний период, на который приходится приблизительно 73 % с единого количества пожаров.

На всех этих объектах существует опасность взрыва. Вот почему при использовании этих пожароопасных и взрывоопасных веществ производители и операторы установок должны обращать внимание на специальные правила в целях обеспечения взрывозащиты.

Взрывоопасная смесь представляет собой смесь горючих газов, паров, тумана или взвешенной пыли с воздухом или другим окислителем, в результате чего после того, как источник воспламенения стал активным, происходит автоматическое распространение пламени, которое обычно сопровождается внезапным повышением температуры и давления.

Цель исследования – разработать мероприятия, направленные на совершенствование тушения пожаров на объектах нефтегазового сектора.

Задачи работы:

- ознакомиться с общей характеристикой предприятия (расположение; функциональное назначение; коммунальные и инженерные системы объекта (водоснабжение, электроснабжение, отопление, вентиляция/кондиционирование); пожарно-технические характеристики здания(й) (класс функциональной пожарной опасности, степень огнестойкости и класс конструктивной пожарной опасности зданий/сооружений и др.), имеющиеся системы противопожарной защиты, противопожарное водоснабжение; вид, количество и размещение пожарной нагрузки);

- провести анализ применения мероприятий, направленных на совершенствование тушения пожаров на объектах нефтегазового сектора;
- рассмотреть возможность внедрения современных технологий, направленных на совершенствование тушения пожаров на объектах нефтегазового сектора;
- разработать процедуры реализации мероприятий по улучшению условий труда, в том числе разработанных по результатам специальной оценки рабочих мест по условиям труда, и оценки уровней профессиональных рисков;
- провести инвентаризацию экологических аспектов организации;
- выявить антропогенное воздействие объекта на окружающую среду;
- предложить план мероприятий по восстановлению загрязненных земельных ресурсов на прилегающей к исследуемому объекту территории при аварийных проливах СУГ;
- разработать план мероприятий по обеспечению пожарной безопасности на объекте;
- произвести оценку эффективности мероприятий по обеспечению техносферной безопасности.

## Термины и определения

В настоящей работе применяют следующие термины с соответствующими определениями.

Авария – опасное техногенное происшествие, создающее на объекте, определенной территории или акватории угрозу жизни и здоровью людей и приводящее к разрушению зданий, сооружений, оборудования и транспортных средств, нарушению производственного или транспортного процесса, а также к нанесению ущерба окружающей природной среде [9].

Меры пожарной безопасности – «действия по обеспечению пожарной безопасности, в том числе по выполнению требований пожарной безопасности» [8].

Негативное воздействие на окружающую среду – «воздействие хозяйственной и иной деятельности, последствия которой приводят к негативным изменениям качества окружающей среды» [7].

Нефтепродукт – «готовый продукт, полученный при переработке нефти, газоконденсатного, углеводородного и химического сырья» [1].

Пожарная безопасность объекта защиты – «состояние объекта защиты, характеризующее возможность предотвращения возникновения и развития пожара, а также воздействия на людей и имущество опасных факторов пожара» [18].

Пожарная сигнализация – «совокупность технических средств, предназначенных для обнаружения пожара, обработки, передачи в заданном виде извещения о пожаре, специальной информации и (или) выдачи команд» [18].

Пожарная опасность веществ и материалов – «состояние веществ и материалов, характеризующее возможность возникновения горения или взрыва веществ и материалов» [18].

Правила пожарной безопасности – «вид нормативного документа по пожарной безопасности, регламентирующего для группы однородных

объектов защиты или видов деятельности требования пожарной безопасности, которые устанавливают правила (положения, описывающие действия, предназначенные для выполнения) поведения людей, порядок организации производства, выполнения работ (услуг) и содержания помещений, зданий (сооружений) и территории, обеспечивающие безопасность людей, предупреждение и тушение пожара» [8].

Резервуарный парк – «это сложное сооружение при каком-то технологическом объекте, например при заводе, НПС, нефтебазе» [1].

Система обеспечения пожарной безопасности – «совокупность сил и средств, а также мер правового, организационного, экономического, социального и научно-технического характера, направленных на борьбу с пожарами» [18].

Экологическая безопасность – «состояние защищенности природной среды и жизненно важных интересов человека от возможного негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности, чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, их последствий» [7].

## Перечень сокращений и обозначений

В настоящей работе применяют следующие сокращения и обозначения:  
АСУ ТП – автоматизированная система управления технологическим процессом.

ГСС – газоспасательная служба.

ИЦПР – Инженерный центр пожарной робототехники.

КПП – контрольно-пропускной пункт.

НКПВ – нижний концентрационный предел воспламенения.

ПАЗ – противоаварийная автоматическая защита.

ПБА – пропан-бутан автомобильный.

ПБФ – пропан-бутановая фракция.

СБП – система бесперебойного питания.

СГСН – сепаратор газовый центробежный.

СОУТ – специальная оценка условий труда.

СУГ – сжиженные углеводородные газы.

ТК – трудовой кодекс.

ФЗ – федеральный закон.

## 1 Оперативно-тактическая характеристика здания

Исследуемый склад сжиженного углеводородного газа состоит из следующих пожароопасных объектов:

- ёмкостный парк хранения ПБА;
- узловые площадки управления;
- компрессорные технологические установки;
- односторонняя сливноналивная железнодорожная эстакада;
- установка испарительная для СУГ.

Склад сжиженного углеводородного газа предназначен для приема и хранения ПБА перед подачей его в котельную на технологию.

Для приема и хранения ПБА предусмотрена установка шести подземных горизонтальных цилиндрических сосудов (резервуаров) Е-1-6. Резервуары объемом 50 м<sup>3</sup> каждый, с расчетным давлением 1,8 МПа.

Характеристика технологического оборудования приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристика технологического оборудования

Наименование оборудования	Краткая характеристика оборудования	Кол-во шт.
СУГ 2400-1,6-50-П1	Емкость горизонтальная подземная для хранения СУГ Объем – 50 м <sup>3</sup> Диаметр - 2000 мм Длина полная - 11445мм Давление расчетное – 1,8 МПа Давление рабочее – 1,6 МПа Материал – 09Г2С Среда - пропан-бутановая фракция	6
СУГ 2400-1,6-50-П1	Буферная емкость горизонтальная подземная Объем – 50 м <sup>3</sup> Диаметр - 2000 мм Длина полная - 11445мм Давление расчетное – 1,8 МПа Давление рабочее – 1,6 МПа Материал – 09Г2С Среда - пропан-бутановая фракция	1

Продолжение таблицы 1

Наименование оборудования	Краткая характеристика оборудования	Кол-во шт.
ЕП-8	Емкость подземная дренажная Объем – 8 м <sup>3</sup> Диаметр - 2000 мм Длина полная - 2900мм Давление расчетное – 0,6 МПа Давление рабочее – атм. Материал – 09Г2С	1
РПГ-5-1,6-1400- СУГ	Емкость горизонтальная подземная Объем – 5 м <sup>3</sup> Диаметр - 1400 мм Длина полная – 3500 мм Давление расчетное – 1,8 МПа Давление рабочее – 1,6 МПа Материал – 09Г2С Среда - пропан-бутановая фракция	1
СУГ 2400-1,6-50-П1	Емкость горизонтальная подземная (газгольдер) Объем – 50 м <sup>3</sup> Диаметр - 2000 мм Длина полная - 11445мм Давление расчетное – 1,8 МПа Давление рабочее – 1,6 МПа Материал – 09Г2С Среда - пропан-бутановая фракция	1
ГЭЭ1-2-6,3-0,6	Емкость горизонтальная цельносварная с эллиптическими днищами с электрообогревом Объем – 6,3 м <sup>3</sup> Диаметр – 1600 мм Длина цилиндрической части – 3530 мм Давление расчетное – 0,6 МПа Материал – 09Г2С Среда – пары пропан-бутановой фракции	1
HD942 «Влекмер»	Компрессорный агрегат одноступенчатый с воздушным охлаждением безмасляный поршневой Производительность - 210-500 м <sup>3</sup> /час Мощность двигателя - 37 кВт Среда - пропан-бутановая фракция	2
ТХ-320	Испаритель углеводородов электрический Производительность – 320 м <sup>3</sup> /час Поверхность теплообмена - 0,66 м <sup>2</sup> Мощность двигателя - 33 кВт	1
СГСН 80/50	Комплекс для верхнего слива с отводом паровой фазы Условный проход 80/50 мм Рабочее давление 1,6 МПа Радиус рабочей зоны обслуживания – 500÷4000 мм Среда - пропан-бутановая фракция.	1

«Для проведения операций по приему и отпуску ПБФ резервуары Е-1-6, газгольдер Г-1 оснащены арматурой и оборудованием, а также средствами

КиА, обеспечивающими безопасную эксплуатацию их при:

- наполнении и опорожнении;
- поддержания рабочего давления;
- замере уровня» [21].

«Для обеспечения безопасной эксплуатации резервуаров непосредственно у каждого резервуара установлена арматура с ручным приводом, которая дублируется отсечными клапанами с электроприводами, устанавливаемыми в узлах управления запорной арматурой» [21].

Территория сливо-наливного парка эстакад имеет твердое покрытие. Для предотвращения растекания сжиженного углеводородного газа периметр эстакад оборудован железобетонными лотками, имеющими сток в аварийные подземные емкости.

«Для выброса в атмосферу и рассеивания азотных продувок при подготовке оборудования к пуску или ремонту предусмотрена свеча рассеивания» [21].

«Диаметр свечи 300 мм, высота 30 м. Диаметр трубопровода обеспечивает необходимую скорость продувки. Высота свечи рассчитана, исходя из условий эффективного рассеивания сбрасываемых газов, исключая образование взрывоопасных концентраций в зоне размещения оборудования» [21].

Для опорожнения оборудования и трубопроводов перед ремонтом предусмотрена дренажная подземная емкость Е-9 объемом 5м<sup>3</sup>.

Железнодорожная эстакада предназначена для слива ПБА из железнодорожных цистерн в подземные резервуары склада СУГ.

На сливную эстакаду ПБА поступает в железнодорожных цистернах объемом 54 м<sup>3</sup> (полезный объем 45м<sup>3</sup>), сжиженный газ – в железнодорожных цистернах объемом 75,5 м<sup>3</sup> (полезный объем 64,2 м<sup>3</sup>).

Железнодорожные цистерны для перевозки сжиженного углеводородного газа (СУГ) отвечают требованиям «Правил перевозки опасных грузов железнодорожным транспортом» [5].

Для слива ПБА предусмотрена сливная эстакада, состоящая из двух сливных стояков (стояки №1, №2) со сливными устройствами СГСН 80/50.

Основные технические характеристики комплекса СГСН 80/50 представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Основные технические характеристики комплекса СГСН 80/50

Показатель	Значение
Условный проход, мм	
- трубопровода жидкой фазы	80
- трубопровода паровой фазы	50
Рабочее давление жидкости, МПа	1,6
Присоединение к трубопроводу	фланцевое по ГОСТ 12820-81

На сливную эстакаду ПБА поступает в железнодорожных цистернах объемом 54 м<sup>3</sup> (полезный объем 45 м<sup>3</sup>),

На стояках слива ПБА и газов поддавливания установлены отсечные клапаны ОК-6, ОК-7 и электроприводные задвижки Э-1 и Э-2 соответственно для управления операциями слива и отключения коллекторов в аварийных ситуациях от железнодорожных цистерн.

Пары ПБФ (газовая фаза емкостного парка из газгольдера Г-1) поступает на всас компрессора К-1. Давление на всасе компрессора поддерживается (0,2 МПа) постоянным регулятором давления, клапан которого установлен на всасывающем коллекторе компрессора. Сжатый компрессором газ до давления 1,6 МПа и поступает на сдавливание ПБФ при сливе ее из железнодорожных цистерн.

«Для приема отсасываемых из железнодорожных цистерн и компримированных паров устанавливается газгольдер Г-1 объемом 50 м<sup>3</sup> с расчетным давлением 1,8 МПа» [21].

«Для обеспечения нормального режима слива и исключения срабатывания скоростных клапанов, установленных в цистернах, поддерживается постоянный перепад давления (0,2÷0,3 МПа) между

давлением газа, поступающем на поддавливание цистерн, и давлением продукта на выходе из железнодорожных цистерн перепуском избытка паров с нагнетания на всас компрессоров. Давление на нагнетании компрессоров поддерживается постоянным за счет перепуска избытка паров с нагнетания на всас. Во избежание попадания газа в коллектор слива ПБФ по мере опорожнения цистерн и увеличения в связи временем слива предусматривается автоматическое отключение сливных стояков при исчезновении жидкости в сливном стояке» [21].

«Отсасываемые пары из железнодорожных цистерн компримируются до давления 1,6 МПа и направляются в газгольдер Г-1» [21].

«После отсоса паров из железнодорожных цистерн до давления 0,2 МПа необходимо стравить давление со шлангов на свечу, отсоединить шланги, заглушить угловые вентили на цистернах, опломбировать колпаки цистерн» [21].

«Опорожнение коллектора ПБА предусматривается в подземную емкость Е-9 объемом 5 м<sup>3</sup> с расчетным давлением 1,8 МПа. В эту же емкость предусматривается слив углеводородного конденсата в случае его образования в буферных емкостях компрессоров К-1, К-2» [21].

«В емкости Е-9 предусмотрен замер и сигнализация превышения уровня от двух независимых датчиков, замер температуры и давления» [21].

«Для обеспечения безаварийной работы компрессоров К-1,2 и безопасности проведения технологического процесса комплектно поставляемой автоматикой предусматривается:

- а) автоматический останов их с сигнализацией при:
  - 1) линии превышении давления во всасывающей выше 0,2 МПа,
  - 2) повышении давления нагнетания выше 1,6 МПа;
- б) запрет на пуск электродвигателей компрессоров предусматривается при:
  - 1) давлении во всасывающей линии ниже и выше 0,2 МПа,

- 2) давлении защитного газа (воздуха) в оболочке двигателя и газопроводах вентиляционной обдувки ниже установленной величины (500 Па),
  - 3) без предварительного пуска электродвигателей приводов системы механизма движения,
- в) предупредительная сигнализация при:
- 1) давлении газа на всасе 0,18 МПа,
  - 2) давлении газа выше 1,6 МПа» [21].

Пожаротушение железнодорожной эстакады слива осуществляется водой с помощью лафетных стволов.

Для тушения локальных возгораний предусмотрены необходимые первичные средства пожаротушения [14].

Предусмотрена двухсторонняя громкоговорящая связь между железнодорожной эстакадой слива и помещением управления.

На объекте выполнены все «необходимые мероприятия, обеспечивающие безопасную работу объекта, а именно:

- во взрывоопасных зонах устанавливаются приборы во взрыво- и искробезопасном исполнении;
- кабельные трассы прокладываются с учетом защиты от механических повреждений;
- все электрооборудование, контрольно-измерительные приборы, щит КиА зануляются и заземляются в соответствии с действующими нормами и правилами» [21].

«Для предотвращения постороннего несанкционированного вмешательства в деятельность опасного производственного объекта предусмотрено ограждение территории предприятия с установкой камер видеонаблюдения» [21]. На автомобильном и железнодорожном въезде на предприятии предусматривается установка ворот.

Предусматривается КПП и военизированная охрана всего предприятия.

«В соответствии с требованиями приказа Федеральной службы по экологическому, технологическому 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» предусматривается автоматизированная система управления операциями слива, хранения и откачки ПБА на базе электронных средств контроля и автоматики, включая средства вычислительной техники» [21].

Управление и контроль за работой входящих в состав склада СУГ технологических блоков предусматривается из помещения управления, расположенного в здании операторной, выполненном устойчивым к воздействию ударной волны.

На объекте предусмотрена установка сигнализаторов дозрывных концентраций: на нулевой отметке вдоль фронта слива железнодорожных цистерн – 2 шт. (1 датчик на две цистерны); в узлах управления запорной арматурой резервуаров – 8 шт.; на площадках компрессоров К-1-2 – по 1 шт.; возле дренажной емкости Е-9 – 1 шт.

Помещения объекта оборудованы системой автоматической пожарной сигнализации с выводом шлейфов на пост круглосуточного централизованного наблюдения. Для обнаружения опасных факторов пожара используются дымовые датчики.

На объекте установлены ручные пожарные извещатели (2 шт – на железнодорожной сливной эстакаде) с передачей сигнала в помещение управления [16].

Технологическая схема производственного склада СУГ разделена на технологические блоки, выполнен расчет энергетических потенциалов и определена категория взрывоопасности каждого технологического блока.

Технологические блоки резервуарного парка ПБА характеризуются высокими энергетическими потенциалами и относятся к блокам I категории

взрывоопасности.

На границах технологических блоков предусмотрена установка быстродействующей отсечной арматуры с дистанционным управлением и временем срабатывания не более 12 секунд [3].

На «трубопроводах, полностью заполненных ПБА и имеющих отключающую арматуру на концевых участках, в которых возможно завышение давления за счет теплового расширения находящейся в них жидкости, предусмотрена установка перепускных предохранительных клапанов» [21]. «Для обеспечения возможности ревизии перепускных клапанов до и после них предусмотрена установка отключающей запорной арматуры, опломбированной в открытом состоянии» [21].

В соответствии с «Правилами защиты от статического электричества» предусмотрено заземление технологического оборудования и трубопроводов всех сооружений производственного склада ПБА. На территории склада СУГ предусмотрена установка указателя направления ветра.

Для обслуживания склада СУГ предусматриваются штаты в количестве 16 человек.

Выводы по разделу.

В разделе рассмотрена оперативно-тактическая характеристика производственного склада СУГ.

Производственный склад СУГ предназначен для приема и хранения ПБА перед подачей его в котельную на технологию.

Исследуемый склад сжиженного углеводородного газа состоит из следующих пожароопасных объектов:

- ёмкостный парк хранения ПБА;
- узловые площадки управления;
- компрессорные технологические установки;
- односторонняя сливноналивная железнодорожная эстакада;
- установка испарительная для СУГ.

Железнодорожная эстакада предназначена для слива ПБА из железнодорожных цистерн в подземные резервуары склада СУГ.

На сливную эстакаду ПБА поступает в железнодорожных цистернах объемом 54 м<sup>3</sup> (полезный объем 45 м<sup>3</sup>), сжиженный газ – в железнодорожных цистернах объемом 75,5 м<sup>3</sup> (полезный объем 64,2 м<sup>3</sup>).

На объекте предусмотрена установка сигнализаторов дозрывных концентраций: на нулевой отметке вдоль фронта слива железнодорожных цистерн – 2 шт. (1 датчик на две цистерны); в узлах управления запорной арматурой резервуаров – 8 шт.; на площадках компрессоров К-1-2 – по 1 шт.; возле дренажной емкости Е-9 – 1 шт.

Помещения объекта оборудованы системой автоматической пожарной сигнализации с выводом шлейфов на пост круглосуточного централизованного наблюдения. Для обнаружения опасных факторов пожара используются дымовые датчики.

Пожаротушение железнодорожной эстакады слива осуществляется водой с помощью лафетных стволов. Для тушения локальных возгораний предусмотрены необходимые первичные средства пожаротушения.

## **2 Мероприятия, направленные на совершенствование тушения пожаров на объектах нефтегазового сектора**

### **2.1 Анализ применения мероприятий, направленных на совершенствование тушения пожаров на объектах нефтегазового сектора**

Пожарная опасность объектов склада СУГ в основном обусловлена наличием взрывоопасного газа – пропан-бутан (автомобильный).

«Производственный склад СУГ по характеристике обращающихся веществ (сжиженный углеводородный газ) относится к взрывопожароопасному производству» [21].

«Взрывопожароопасность склада СУГ определяется:

- наличием в аппаратах и трубопроводах большого количества сжиженных углеводородных газов (пропан-бутан автомобильный) под давлением (до 16 кгс/см<sup>2</sup>), которые при разгерметизации системы (при нарушении правил эксплуатации оборудования или проведения ремонтных работ) обладают высоким потенциальным разрушающим действием;
- токсичностью ПБА;
- возможностью образования статического электричества при движении сжиженного углеводородного газа по трубопроводам» [21].

Случайное воспламенение легковоспламеняющихся газов или паров из вентиляционных труб резервуара для хранения или технологической емкости представляет постоянную угрозу для установки и персонала.

«Санитарно-гигиеническая характеристика производства определена обращением ПБА, который является веществом 4-го класса опасности и обладает способностью вредного воздействия на организм человека, а также работе на открытом воздухе» [21].

«Для каждого технологического блока определены значения энергетического уровня и категория взрывоопасности» [10].

«По полученным результатам все блоки отнесены к I категории, в связи с этим для максимального снижения выбросов в окружающую среду горючих и взрывоопасных веществ при аварийной разгерметизации системы предусмотрено отсечение блоков с помощью быстродействующих отсечных клапанов с временем срабатывания не более 12 секунд» [21].

Классификация зданий и сооружений приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Классификация сооружений по взрывопожароопасности

Наименование сооружения	Категория взрывопожарной и пожарной опасности	Классификация взрывоопасных зон для выбора и установки электрооборудования по ПУЭ		
		Класс взрывопожароопасной зоны	Категория взрывоопасной смеси [15]	Группа взрывоопасной смеси
Резервуарный парк	Ан	В-1г класс 2	ПА	T2 (бутан)
Узел управления запорной арматурой	Ан	В-1г класс 2	ПА	T2 (бутан)
Площадка для компрессаров	Ан	В-1г класс 2	ПА	T2 (бутан)
Ж/д эстакада слива ПБА	Ан	В-1г класс 2	ПА	T2 (бутан)
Площадка установки дренажной емкости Е-2	Ан	В-1г класс 2	ПА	T2 (бутан)
Здание операторной	В4	-	-	-

Категория взрывоопасности, величина относительного энергетического потенциала, а также радиусы зон разрушений приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Классификация технологических блоков по взрывоопасности

Состав блока	Относительный энергетический потенциал	Категория взрывоопасности	Класс зоны по уровню опасности возможных разрушений, травмирования персонала (при давлении ударной волны)	Радиус зоны разрушения, м
Резервуар (Е-1-6)	44,01	I	Сильное повреждение всех зданий ( $P \geq 100$ кПа)	54.195

Был проведен анализ риска выхода из строя предохранительного клапана – резервуара с пропан-бутановой смесью. Неконтролируемый выброс жидкого сжиженного газа, вызванный отказом вышеупомянутой системы, рассматривается как наиболее пожароопасная ситуация.

Результаты исследования подтвердили, что предохранительные клапаны являются основной защитой установки (резервуара) от сбоев, которые могут привести к гибели людей, материальному ущербу.

Проектирование и применение установок для сжиженного газа должно включать условия, обеспечивающие их безопасную эксплуатацию. На стадии проектирования существует обязательство управлять риском путем его оценки и снижения. Снижение риска может быть достигнуто с помощью соответствующих структур надежности и правильно подобранных компонентов системы обеспечения пожарной безопасности и пожаротушения. Для резервуаров высокого давления, используемых для хранения пропан-бутана (сжиженного газа), таким элементом является предохранительный клапан.

«При правильной эксплуатации оборудования склада СУГ опасность возникновения пожаров и взрывов, а также отравления и травматизма обслуживающего персонала исключены» [21].

Газораспределительные станции сжиженного газа оснащены рядом технических средств защиты. Одним из них является предохранительный клапан, используемый для защиты резервуара для сжиженного газа от повреждений, вызванных избыточным давлением.

«При несоблюдении правил промышленной и пожарной безопасности возможны аварии, сопровождающиеся выбросом большого количества сжиженных углеводородных газов с последующим их воспламенением и сгоранием при наличии источника зажигания» [21].

«Наиболее вероятные причины возникновения взрывов и пожаров:

- загазованность территории склада (эстакада слива, резервуарный парк, площадка компрессоров) взрывоопасными парами при утечке через неплотности фланцевых соединений» [21];
- нарушение технологического режима оборудования;
- «производство ремонтных работ на территории отгрузочного склада с применением открытого огня без строгого соблюдения условий безопасного проведения работ, указанных в плане проведения огневых работ, согласованном с отделом техники безопасности, газоспасательной службой и пожарной охраной и утвержденном руководителем предприятия;
- неисправность технологического и электрооборудования, электроосвещения, а также средств защиты от статического электричества и молниезащиты;
- неполное удаление воздуха из систем и трубопроводов при включении их в работу и неполное удаление паров СУГ при остановке и вскрытии оборудования» [21].

«Аварийные ситуации на объекте могут возникнуть вследствие воздействий природного характера, человеческих ошибок и технологического терроризма» [21].

«Влияние воздействий природного характера на возникновение аварийной ситуации сведено к минимуму соответствующими расчетами опор резервуаров на ветровую нагрузку. Все оборудование снабжено средствами защиты от статического электричества и молниезащиты, заземлено в соответствии с требованиями ПУЭ» [21].

«Влияние последствий человеческих ошибок сведено к минимуму применением АСУ ТП, системой ПАЗ, защитой от превышения расчетных давлений предохранительными клапанами» [21].

«Меры защиты от технологического терроризма – охранная система видеонаблюдения объекта, пропускная система» [21].

Сценарий 1. Утечка газа, вызванная человеческой ошибкой при

неправильном выборе предохранительного клапана. Поврежден индикатор процентного уровня. При перекачке газа из автоцистерны в резервуар произошло его переполнение. Из-за неправильно выбранного предохранительного клапана произошло чрезмерное повышение давления, приводящее к необратимому отключению системы. Значительное количество газа вытекло из резервуара и образовало облако, которое воспламенилось. Произошел взрыв, в результате которого три человека получили ранения, в том числе один – серьезные. Резервуар был безвозвратно поврежден.

Сценарий 2. Блокировка предохранительного клапана в закрытом положении. В осенний сезон, ночью, при температуре, близкой к 0 °С, резервуар из автоцистерны заполняется на 85%. В течение следующего солнечного дня под действием высокой температуры произошло значительное повышение давления газа в баллоне из-за заклинивания предохранительного клапана в закрытом положении. После открытия шарового крана, позволяющего заправлять транспортные средства, начался поток газа к патрубкам. Это привело к разрыву фланцевого соединения.

«При разгерметизации резервуара выделяется большое количество углеводородов (смесь пропана и бутана) как в жидкой, так и в газообразной фазе. Образуется взрывоопасное облако СУГ. Для предотвращения развития аварийной ситуации проектом предусматривается система ПАЗ. Предусмотрена возможность перекачивания продукта из аварийного резервуара в рабочий, исключена возможность перелива резервуара» [21].

«В случае отсоединения шарнирных трубопроводов комплекса слива от цистерны возможен пролив СУГ. При испарении пропан-бутановой смеси образуется взрывоопасная паровоздушная смесь» [21].

«Для предотвращения вышеописанной аварийной ситуации проектом предусмотрено автоматическое закрытие отсечных клапанов на трубопроводах слива. Проектом также предусмотрена возможность прекращения слива ПБА кнопками аварийного останова слива (КУ1,2),

расположенных на местных щитках сигнализации у каждого стояка слива» [21].

«Для предотвращения развития аварии, локализации выбросов вредных веществ в атмосферу и для снижения последствий пожара проектом предусмотрены следующие мероприятия:

- ограничение растекания жидкости по производственным площадкам (отбортовка площадок);
- возможность аварийного освобождения резервуаров (перекачка из одного резервуара в другой перекачиванием компрессорами поз. К-1,2);
- установка быстродействующих отсечных клапанов с дистанционным и автоматическим управлением;
- защита резервуаров и трубопроводов от превышения давления установкой предохранительных клапанов со стравливанием взрывопожароопасной среды на свечу;
- установка сигнализаторов дозрывных концентраций во всех производственных зонах;
- охлаждение резервуаров при пожаре с помощью лафетов;
- ограничение распространения пожара с помощью противопожарных расстояний между сооружениями;
- устройство подъездных путей для подразделений пожарной охраны;
- автоматическая пожарная сигнализация» [21].

Проанализируем мероприятия по обеспечению безопасной эксплуатации производственного склада СУГ.

«Для обеспечения пожарной безопасности на объекте предусмотрены меры по исключению условий образования горючей среды и исключению условий образования в горючей среде источников зажигания: применение герметичного оборудования и трубопроводов; применение устройств противоаварийной защиты; применение электрооборудования в исполнении, соответствующем классу взрывоопасных зон по ПУЭ, категории и группе

взрывоопасной смеси; устройство молниезащиты зданий, сооружений и оборудования производственного склада СУГ; защита от статического электричества и заземление оборудования, трубопроводов, контрольно-измерительных приборов; применение искробезопасного инструмента при ремонтных работах» [21].

«Для определения очагов возгорания в начальной стадии его развития и передачи информации о месте возгорания дежурному персоналу предусмотрена система пожарной сигнализации» [21].

«Предусмотрены необходимые противопожарные расстояния между сооружениями склада. Ко всем сооружениям склада предусмотрены автодороги, обеспечивающие подъезд пожарных машин» [21].

Противопожарные расстояния между зданиями и сооружениями всегда держатся свободными.

Все строительные конструкции покрыты огнезащитной краской с обеспечением необходимого предела огнестойкости [19].

«Для обеспечения противопожарной безопасности и тушения пожаров в аварийных ситуациях на территории предприятия предусмотрены пожарные резервуары, лафетные стволы» [21].

«Защита резервуаров от пожара предусмотрена путем охлаждения резервуаров водой, подаваемой через стационарную автоматическую установку водяного орошения, стационарными лафетными стволами» [21].

Для противопожарной защиты сливной железнодорожной эстакады предусмотрены водяные лафетные стволы. «Расположение лафетных стволов определено из условия орошения каждой точки эстакады двумя струями» [21].

На территории производственного склада СУГ предусмотрены ручные извещатели пожарной сигнализации с передачей сигнала в помещение управления, автоматическая пожарная сигнализация, система оповещения и управления эвакуацией при пожаре.

«Для размещения порошковых огнетушителей, предназначенных для

тушения пожаров класса С, предусмотрена установка пожарных шкафов типа ШПО-113» [21]. Пожарные шкафы установлены на автомобильной эстакаде слива – 1 шт., в резервуарном парке 2 шт., на железнодорожной эстакаде слива – 1 шт.

«Первичные средства пожаротушения имеют сертификаты соответствия, установленные стандартом или ТУ в Российской Федерации. Огнетушители опломбированы, имеют исправный растроб» [17].

«В тупике железнодорожной эстакады на расстоянии 30,5 м от нее установлена маневровая лебедка с тяговым усилием 5 т» [21].

Во время слива ПБА ж/д цистерны должны быть заземлены. Запрещается:

- «курить на расстоянии менее 100 м от ж/д цистерн;
- производить огневые работы на расстоянии менее 100 м от ж/д цистерн;
- производить слив ПБА во время грозы;
- держать ж/д цистерну, присоединенной к коммуникациям, когда слив не производится» [21].

Воздухозабор для приточной вентиляции в здании операторной предусмотрен на высоте 20 метров. В воздуховоде установлен датчик сигнализатора дозрывоопасных концентраций, от сигнала которого автоматически отключаются приточные вентсистемы П-1,1а; П-2,2а и автоматически закрывается воздушная заслонка на воздухозаборе.

На трубопроводе ПБА, поступающего в резервуарный парк на случай аварии, предусмотрена установка отсечного клапана с дистанционным управлением из помещения управления и со сливной эстакады (закрытие).

Ремонт оборудования и трубопроводов выполняется по графику, составленному в соответствии с отраслевыми положениями и утвержденному руководителем предприятия.

Для предотвращения возникновения аварийных ситуаций на объекте обслуживающий персонал обязан строго соблюдать технологический

регламент, производственные инструкции, инструкцию по технике безопасности. Для предотвращения возможности возникновения искровых разрядов предусматривается ограничение скоростей транспортирования жидкостей по трубопроводам и истечения их в аппараты в соответствии с допустимыми скоростями.

Для обеспечения электростатической безопасности сжиженные углеводородные газы (ПБА) должны подаваться в резервуары без разбрызгивания и бурного перемешивания. Ввод продукта в резервуары предусматривается под слой жидкости. Заполнение резервуаров предусматривается на 83% объема.

Выводы по разделу.

В разделе произведён анализ применения мероприятий, направленных на совершенствование тушения пожаров на объектах нефтегазового сектора.

Газораспределительные станции сжиженного газа оснащены рядом технических средств защиты. Одним из них является предохранительный клапан, используемый для защиты резервуара для сжиженного газа от повреждений, вызванных избыточным давлением.

Определено, что на объекте технологическая схема отгрузочного склада разделена на технологические блоки и установлены быстродействующие отсечные устройства с дистанционным управлением а на трубопроводах подачи ПБА в резервуары установлены обратные клапаны.

С одной стороны эстакады установлены лафетные стволы.

### **3 Разработка технологии (программы) мероприятий, направленных на совершенствование тушения пожаров на объектах нефтегазового сектора**

Технологические сооружения производственного склада СУГ по взрывопожарной опасности относятся к категории Ан в соответствии с требованиями Федерального закона от 22 июля 2008 года № 123-ФЗ. По уровню пожарной опасности технологического процесса объект относится к объектам повышенной опасности [19].

Персональная ответственность за обеспечение пожарной безопасности руководителя предприятия.

Руководитель обязан:

- разработать, согласовать с местной пожарной охраной и утвердить «инструкции о мерах пожарной безопасности для опасного производственного объекта;
- организовать обучение и инструктаж рабочих и инженерно-технических работников по вопросам пожарной безопасности;
- периодически проверять состояние пожарной безопасности, наличие и исправность технических средств пожаротушения» [11].

«На случай возникновения пожара должна быть обеспечена возможность безопасной эвакуации людей, находящихся в здании операторной» [21].

«Проведём анализ современных методов и средств обеспечивающих пожарную безопасность аналогичных объектов с использованием робототехнических комплексов» [21].

Рассмотрим предложения по техническим средствам дистанционного тушения пожаров при помощи передвигающихся робототехнических установок представленных в патенте № RU2739820C1 от 13.07.2020 г.

«Изобретение относится к автоматизированной противопожарной технике» [13].

На рисунке 1 изображена роботизированная установка пожаротушения.

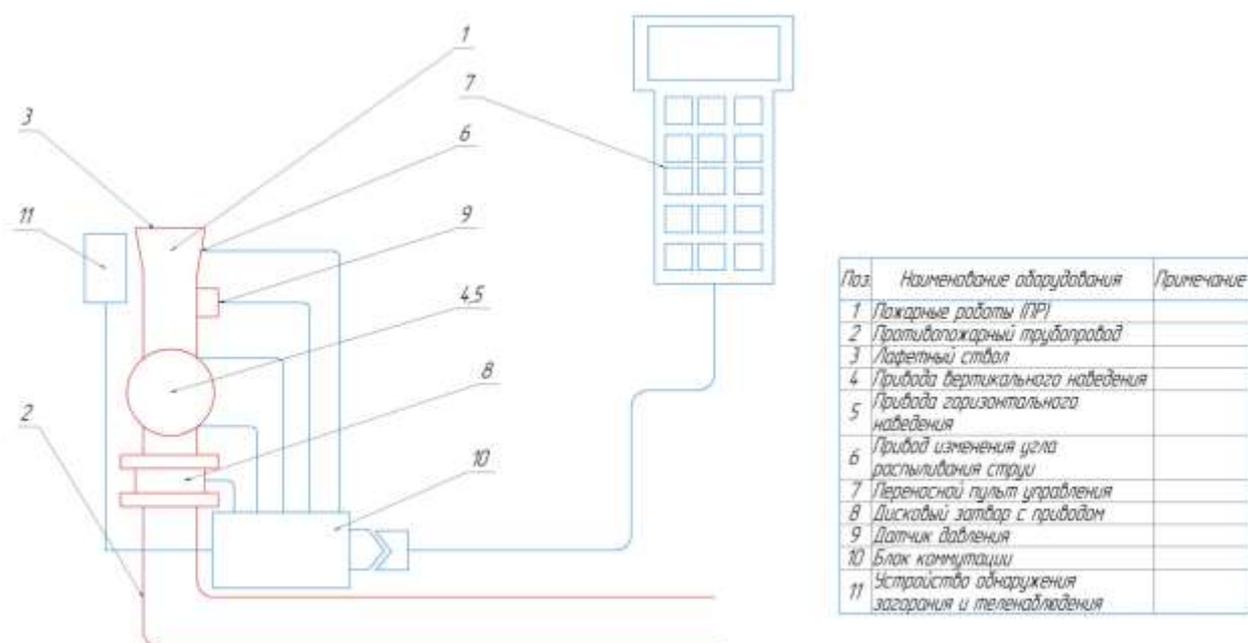


Рисунок 1 – Роботизированная установка пожаротушения

«Техническим результатом является повышение эффективности тушения пожаров, уменьшение расхода и, соответственно, количества используемого огнетушащего вещества, а также уменьшение ущерба от пожара, и снижение затрат на строительство капитальных сооружений: насосных станций, электрических подстанций и сетей коммуникаций. Предложена роботизированная установка пожаротушения с системой оптимизации и контроля параметров тушения, содержащая два и более пожарных робота, включающих в себя лафетный ствол с приводами вертикального и горизонтального наведения, насадок с приводом изменения угла распыливания струи, дисковый затвор, датчик давления и местный пульт управления, соединенные с блоком коммутации на входе, а на его выходе – с устройством управления, установленное на стволе устройство обнаружения загорания и теленаблюдения, соединенное с устройством цифровой обработки сигнала в ИК-диапазоне, соединенным с видеоконтрольным устройством и устройством управления, которое также

соединено с пожарными извещателями, блок управления процессом пожаротушения с программой тушения стручными струями с параметрами: площадь орошения, шаг сканирования, угловая скорость сканирования», соединенный на входе с приемно-контрольным устройством и устройством цифровой обработки сигнала в ИК-диапазоне, а на выходе – с устройством управления. Дополнительно содержится блок оптимизации и контроля параметров тушения с программой коррекции тушения, в базу данных которой включаются взаимосвязанные параметры, оптимизирующие и контролирующие пожаротушение» [13].

«Роботизированная установка пожаротушения с системой оптимизации и контроля параметров тушения, содержащая два и более пожарных робота, включающих в себя лафетный ствол с приводами вертикального и горизонтального наведения, насадок с приводом изменения угла распыливания струи, дисковый затвор с приводом, датчик давления и местный пульт управления, соединенные с блоком коммутации на входе, а на его выходе – с устройством управления, в котором формируются управляющие команды по наведению ствола и пожаротушению, установленное на стволе устройство обнаружения загорания и теленаблюдения, соединенное с устройством цифровой обработки сигнала в ИК-диапазоне, в котором программно реализуются алгоритмы определения координат очага загорания» [13].

«Предложенная роботизированная установка пожаротушения с системой оптимизации и контроля параметров тушения является эффективным автоматическим и дистанционно управляемым средством борьбы с пожарами, позволяющим направить мощный поток огнетушащего вещества непосредственно на очаг загорания, обнаруженный в ранней стадии, а также высвободить человека из опасных для жизни аварийных зон» [13].

Предложенная роботехническая установка дистанционного пожаротушения ИЦПР «ЭФЭР» – ПР-ЛСД-С20У (рисунок 2).



Рисунок 2 – Пожарный робототехнический комплекс ПР-ЛСД-С20У

«Пожарный робототехнический комплекс ПР-ЛСД-С20У представляет собой передвижной водопенный ствол с дистанционным управлением и подачей воды или пенного раствора по двум пожарным рукавам от пожарной автоцистерны» [13].

При возникновении пожара обслуживающий персонал должен прекратить прием и выдачу ПБА, отключить электропитание технологических систем (кроме электропитания системы противоаварийной защиты), немедленно сообщить о пожаре в подразделение пожарной охраны

и принять возможные меры к спасению людей, имущества и ликвидации пожара, строго соблюдая требования специальной инструкции «План локализации аварийных ситуаций», разработанной и утвержденной в установленном порядке.

При локализации и ликвидации аварийных ситуаций обслуживающий персонал должен следить за концентрацией СУГ в зоне размещения технологического оборудования и проведения работ.

При ликвидации аварийных ситуаций обслуживающий персонал должен находиться с подветренной стороны от зоны загазованности.

Вывод по 3 разделу.

В разделе рассматривалась возможность внедрения современных технологий, направленных на совершенствование тушения пожаров на объектах нефтегазового сектора.

Предложен роботизированный комплекс ПР-ЛСД-С20У пожаротушения с системой оптимизации и контроля параметров тушения.

Определено, что:

- при локализации и ликвидации аварийных ситуаций обслуживающий персонал должен следить за концентрацией СУГ в зоне размещения технологического оборудования и проведения работ;
- при ликвидации аварийных ситуаций обслуживающий персонал должен находиться с подветренной стороны от зоны загазованности.

## 4 Охрана труда

Регламентированная процедура реализации мероприятий по улучшению условий труда, в том числе разработанных по результатам специальной оценки рабочих мест по условиям труда [13], и оценки уровней профессиональных рисков [20] представлена на рисунке 3.

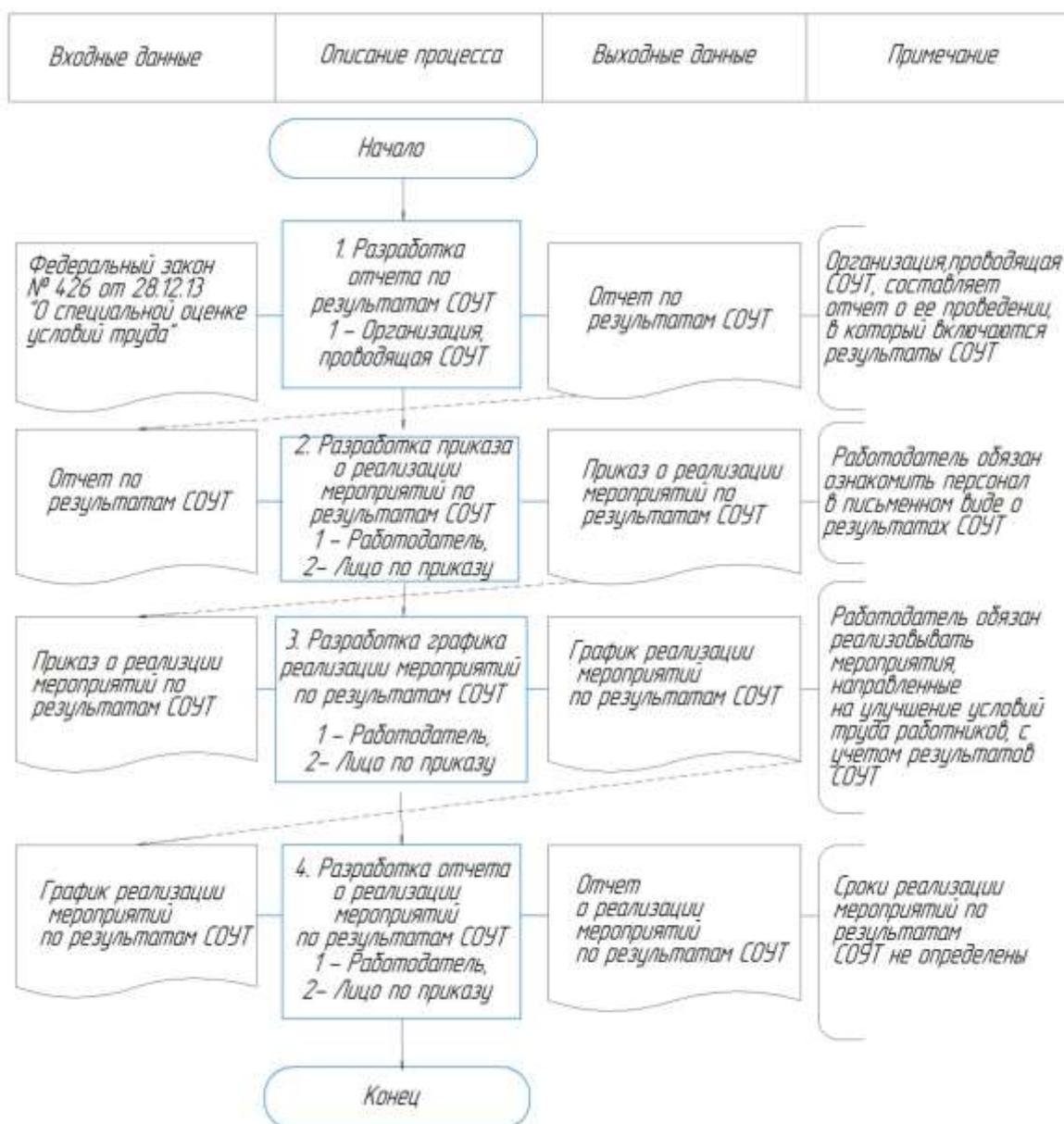


Рисунок 3 – Регламентированная процедура реализации мероприятий по улучшению условий труда, в том числе разработанных по результатам специальной оценки рабочих мест по условиям труда, и оценки уровней профессиональных рисков [12]

Министерством труда в приложении к приказу от 29 октября 2021 года № 771н предложен «примерный перечень ежегодно реализуемых работодателем мероприятий по улучшению условий и охраны труда, ликвидации или снижению уровней профессиональных рисков либо недопущению повышения их уровней» [6].

«Работодатель обязан ежегодно обеспечивать реализацию мероприятий, направленных на улучшение условий труда, в том числе разработанных по результатам специальной оценки условий труда и оценки профессиональных рисков, и направлять на эти цели, согласно ст. 226 Трудового кодекса РФ (далее – ТК РФ), не менее 0,2 % суммы затрат на производство продукции (работ, услуг)» [6].

Монтаж и ремонтные работы предусматривается выполнять подъемно-транспортным оборудованием и передвижными средствами.

В аварийных случаях все работающие должны строго соблюдать требования специальной инструкции «Плана локализации аварийных ситуаций».

Вывод по разделу.

В разделе разработана процедура реализации мероприятий по улучшению условий труда, в том числе разработанных по результатам специальной оценки рабочих мест по условиям труда, и оценки уровней профессиональных рисков.

В аварийных случаях все работающие должны строго соблюдать требования специальной инструкции «Плана локализации аварийных ситуаций».

Монтаж и ремонтные работы предусматривается выполнять подъемно-транспортным оборудованием и передвижными средствами.

## 5 Охрана окружающей среды и экологическая безопасность

Рассмотрим перечень мероприятий по обеспечению выполнения требований, предъявляемых к техническим устройствам, оборудованию, зданиям, строениям и сооружениям на опасном производственном объекте.

«При поддержании заданных норм технологического режима и содержании в исправном состоянии технологического оборудования, трубопроводов, отсекающих, регулирующих и предохранительных устройств, средств КиА, исключения контакта с атмосферой газовой фазы всего оборудования, загрязнение окружающей среды сведено к минимуму, в основном за счет утечек через неплотности фланцевых соединений» [21].

«Для защиты окружающей среды при приеме, хранении и откачке ПБА проектом предусмотрены следующие основные мероприятия:

- герметичный слив продукта;
- технологический процесс осуществляется в герметичном оборудовании;
- емкости для приема и хранения ПБА соединены между собой газоуравнительными линиями;
- для перекачки ПБА предусматриваются герметичные (бессальниковые) компрессора, останов которых предусматривается дистанционно из ПУ;
- выполнено разделение технологической схемы процесса на технологические блоки с установкой на границах блоков быстродействующей отсечной арматуры для быстрого дистанционного отключения из ПУ аварийного блока, снижая тем самым поступление вредных веществ в атмосферу;
- установка сигнализаторов дозрывных концентраций во взрывоопасных зонах со звуковой и световой сигнализацией в ПУ и звуковой сигнализацией по месту;

- применение на трубопроводах фланцевых соединений с уплотнительной поверхностью «выступ-впадина» для блоков I категории взрывоопасности» [21].

«Постоянные организованные выбросы на объекте отсутствуют» [21].

«К периодическим выбросам относятся:

- аварийные выбросы при срабатывании предохранительных клапанов (залповые выбросы);
- при опорожнении оборудования перед останом» [21].

«Все выбросы направляются на стравливание на свечу» [21].

«Сбросы от предохранительных клапанов сведены к минимуму. С целью снижения выбросов приняты меры по уменьшению вероятности срабатывания предохранительных клапанов: расчетное давление аппаратов превышает рабочее давление не менее, чем на 3 кгс/см<sup>2</sup>. Единственным источником срабатывания предохранительных клапанов является теплоприток из окружающей среды при пожаре» [21].

«Постоянные жидкостные выбросы на объекте отсутствуют» [21].

«Загрязненные дождевые и талые воды с, железнодорожной эстакады слива СУГ и с открытой технологической площадки компрессоров собираются в подземные емкости объемом 8 м<sup>3</sup>, откуда вывозятся на специализированные очистные сооружения» [21].

«Для предотвращения загрязнения почвы предусматриваются следующие мероприятия:

- бетонирование с отбортовкой площадок слива, площадки компрессоров и организация сбора ливневых и талых вод;
- организация закрытой системы дренажа аппаратов и трубопроводов» [21].

«Твердые отходы на объекте отсутствуют» [21].

На объекте предусмотрена установка нового оборудования отечественного производства.

Для аппаратов, устанавливаемых на открытой площадке, при выборе материалов учтена средняя температура воздуха наиболее холодной пятидневки данного района с обеспеченностью 0,92.

Заказ на изготовление нового отечественного (серийно выпускаемого) оборудования предусматривается на основании опросных листов.

«При отсутствии оборудования и аппаратуры для инструментального лабораторного определения видов и количества загрязняющих веществ органы Госкомприроды могут разрешать предприятиям временно производить учет таких выбросов с использованием расчетных (балансовых) методов определения массы и интенсивности выбросов» [4].

Схема восстановления загрязненных земельных ресурсов представлена на рисунке 4.

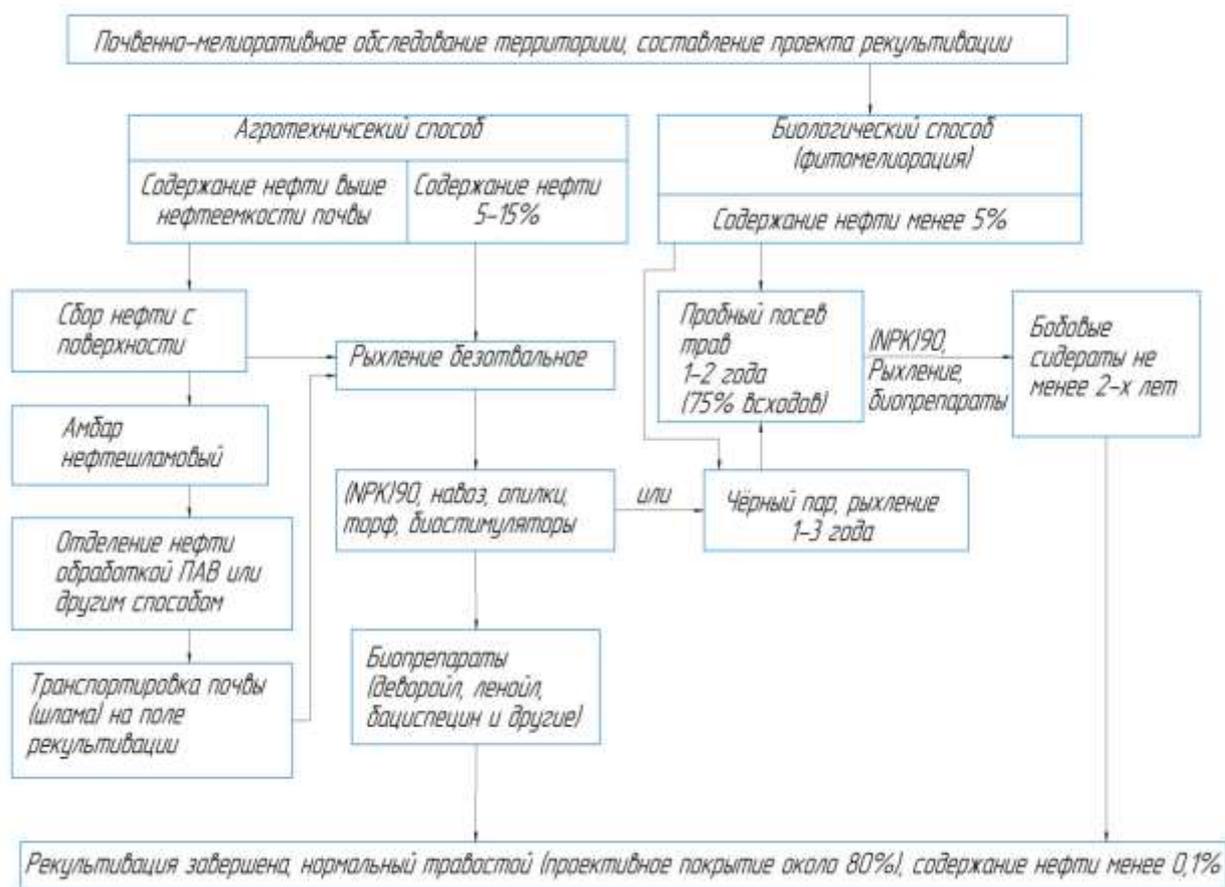


Рисунок 4 – Схема восстановления загрязненных земельных ресурсов

Обработка загрязненной почвы и воды традиционным методом оказывается неосуществимой из-за его высокой стоимости и образования вторичных загрязняющих веществ. Таким образом, биоремедиация возникла как естественный, экономичный, устойчивый подход, который может восстановить загрязненную почву, поверхностные и грунтовые воды с помощью биологических агентов, таких как бактерии, грибы и другие организмы или их ферменты. Это развивающаяся экологичная технология, при которой микробы выращиваются в присутствии загрязненной почвы, донных отложений, поверхностных и грунтовых вод для ускорения разложения и/или удаления неорганических и органических загрязнителей.

Вывод по разделу.

В разделе разработана схема восстановления загрязненных земельных ресурсов на производственной территории с СУГ. Устранение токсичных органических и неорганических загрязнителей из загрязненной окружающей среды является глобальной задачей для продвижения устойчивого развития с низким воздействием на окружающую среду.

На объекте предусмотрена установка нового оборудования отечественного производства. Для аппаратов, устанавливаемых на открытой площадке, при выборе материалов учтена средняя температура воздуха наиболее холодной пятидневки данного района с обеспеченностью 0,92.

Заказ на изготовление нового отечественного (серийно выпускаемого) оборудования предусматривается на основании опросных листов.

## 6 Оценка эффективности мероприятий по обеспечению техносферной безопасности

В работе рассматривалась возможность внедрения современных технологий, направленных на совершенствование тушения пожаров на объектах нефтегазового сектора.

План реализации данных мероприятий представлен в таблице 5.

Таблица 5 – План мероприятий по обеспечению пожарной безопасности

Мероприятия	Срок исполнения
Разработка проекта внедрения в систему обеспечения пожарной безопасности роботизированного комплекса ПР-ЛСД-С20У пожаротушения с системой оптимизации и контроля параметров тушения	2023 год
Монтаж роботизированного комплекса ПР-ЛСД-С20У пожаротушения с системой оптимизации и контроля параметров тушения	2023 год
Наладочные работы	2023 год
Приёмка работ	2023 год

«Все оборудование, применяемое во взрывоопасной зоне, должно иметь взрывозащищенное исполнение» [21].

Расчёт ожидаемых потерь склада сжиженного углеводородного газа (пропан-бутан автомобильный) от возможных пожаров произведём по следующим вариантам:

- на территории склада сжиженного углеводородного газа автомобильной пропан-бутановой смеси реализована система пожаротушения от передвижной автомобильной пожарной техники;
- на территории склада сжиженного углеводородного газа автомобильной пропан-бутановой смеси реализована система дистанционного пожаротушения при помощи роботехнических передвижных средств ИЦПР «ЭФЭР» ПР-ЛСД-С20У.

Данные для расчёта ожидаемых потерь представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Данные для расчёта ожидаемых потерь

Показатель	Измерение	Обоз.	1 вариант	2 вариант
«Площадь объекта» [2]	м <sup>2</sup>	F	5616	
«Стоимость поврежденного технологического оборудования и оборотных фондов» [2]	руб./м <sup>2</sup>	Ст	50000	51000
«Стоимость поврежденных частей здания» [2]	руб./м <sup>2</sup>	Ск	30000	
«Площадь пожара при отказе всех средств пожаротушения» [2]	м <sup>2</sup>	F'' пож	5616	
«Площадь пожара на время тушения первичными средствами» [2]	м <sup>2</sup>	Fпож	4	
«Вероятность возникновения пожара» [2]	1/м <sup>2</sup> в год	J	9·10 <sup>-5</sup>	
«Вероятность тушения пожара первичными средствами» [2]	-	p1	0,79	
«Вероятность тушения пожара привозными средствами» [2]	-	p2	0,86	
«Коэффициент, учитывающий степень уничтожения объекта тушения пожара привозными средствами» [2]	-	-	0,52	
«Коэффициент, учитывающий косвенные потери» [2]	-	к	1,63	
«Линейная скорость распространения горения по поверхности» [2]	м/мин	vл	1	
«Время свободного горения» [2]	мин	Всвг	14	8
«Норма текущего ремонта» [2]	%	Нт.р.	-	5
«Норма амортизационных отчислений» [2]	%	На	-	10
«Период реализации мероприятия» [2]	лет	T	10	

Рассчитаем площадь пожара при тушении привозными средствами по формуле 1:

$$F''_{\text{пож}} = n(v_{\text{л}} B_{\text{св.г}})^2 \text{ м}^2, \quad (1)$$

«где  $v_{\text{л}}$  – линейная скорость распространения горения по поверхности, м/мин;

$B_{\text{св.г}}$  – время свободного горения, мин.» [2]

$$F''_{\text{пож-1}} = 3,14(1 \times 14)^2 = 615,44 \text{ м}^2$$

$$F''_{\text{пож-2}} = 3,14(1 \times 8)^2 = 201 \text{ м}^2$$

Произведём расчёт ожидаемых потерь от пожаров по формуле 2.

$$M(\Pi) = M(\Pi_1) + M(\Pi_2) + M(\Pi_3), \quad (2)$$

«где  $M(\Pi_1)$  – математическое ожидание годовых потерь от пожаров, потушенных первичными средствами пожаротушения;

$M(\Pi_2)$  – математическое ожидание годовых потерь от пожаров, ликвидированных подразделениями пожарной охраны;

$M(\Pi_3)$  – математическое ожидание годовых потерь от пожаров при отказе всех средств пожаротушения» [2]:

$$M(\Pi_1) = J \times F \times C_m \times F_{\text{пож}} \times (1+k) \times p_1; \quad (3)$$

«где  $J$  – вероятность возникновения пожара,  $1/\text{м}^2$  в год;

$F$  – площадь объекта,  $\text{м}^2$ ;

$C_T$  – стоимость поврежденного технологического оборудования и оборотных фондов, руб./ $\text{м}^2$ ;

$F_{\text{пож}}$  – площадь пожара на время тушения первичными средствами;

$p_1$  – вероятность тушения пожара первичными средствами;

$k$  – коэффициент, учитывающий косвенные потери» [2].

$$M(\Pi_2) = J \times F \times (C_m \times F'_{\text{пож}} + C_k) \times 0,52 \times (1+k) \times (1-p_1) \times p_2; \quad (4)$$

«где  $p_2$  – вероятность тушения пожара привозными средствами;

$C_k$  – стоимость поврежденных частей здания, руб./ $\text{м}^2$ ;

$F'_{\text{пож}}$  – площадь пожара за время тушения привозными средствами»

[2].

$$M(\Pi_3) = J \cdot F \cdot (C_T \cdot F''_{\text{пож}} + C_k) \cdot (1+k) \cdot [1 - p_1 - (1 - p_1) \cdot p_2] \quad (5)$$

где  $F''_{\text{пож}}$  – площадь пожара при отказе всех средств пожаротушения,  $\text{м}^2$ .

Для первого варианта:

$$M(\Pi_1) = 9 \times 10^{-5} \times 5616 \times 50000 \times 4 \times (1+1,63) \times 0,86 = 228640,84 \text{ руб./год};$$

$$M(\Pi_2) = 9 \times 10^{-5} \times 5616 \times (50000 \times 615,44 + 30000) \times 0,52 \times (1 + 1,63) \times (1 - 0,79) \times 0,86 = \\ = 3845256,93 \text{ руб./год.}$$

$$M(\Pi_3) = 9 \times 10^{-5} \times 5616 \times (50000 \times 5616 + 30000) \times (1 + 1,63) \times [1 - 0,79 - (1 - 0,79) \times 0,86] = \\ = 11199280,23 \text{ руб./год.}$$

Для второго варианта:

$$M(\Pi_1) = 9 \times 10^{-5} \times 5616 \times 51000 \times 4 \times (1 + 1,63) \times 0,86 = 233213,66 \text{ руб./год;}$$

$$M(\Pi_2) = 9 \times 10^{-5} \times 5616 \times (51000 \times 201 + 30000) \times 0,52 \times (1 + 1,63) \times (1 - 0,79) \times 0,86 = \\ = 1283458,43 \text{ руб./год.}$$

$$M(\Pi_3) = 9 \times 10^{-5} \times 5616 \times (51000 \times 5616 + 30000) \times (1 + 1,63) \times [1 - 0,79 - (1 - 0,79) \times 0,86] = \\ = 11423241,91 \text{ руб./год.}$$

Ожидаемые потери склада сжиженного углеводородного газа (пропан-бутан автомобильный) от возможных пожаров составят:

- если на территории склада сжиженного углеводородного газа автомобильной пропан-бутановой смеси реализована система пожаротушения от передвижной автомобильной пожарной техники:

$$M(\Pi)_1 = 228640,84 + 3845256,93 + 11199280,23 = 15273178 \text{ руб./год;}$$

- если на территории склада сжиженного углеводородного газа автомобильной пропан-бутановой смеси реализована система дистанционного пожаротушения при помощи роботехнических передвижных средств ИЦПР «ЭФЭР» ПР-ЛСД-С20У:

$$M(\Pi)_2 = 233213,66 + 1283458,43 + 11423241,91 = 12939914 \text{ руб./год.}$$

Стоимость реализации системы дистанционного пожаротушения при помощи роботехнических передвижных средств ИЦПР «ЭФЭР» ПР-ЛСД-

С20У представлена в таблице 7.

Таблица 7 – Стоимость реализации системы дистанционного пожаротушения при помощи роботехнических передвижных средств ИЦПР «ЭФЭР» ПР-ЛСД-С20У

Виды работ	Стоимость, руб.
Разработка проекта реализации системы дистанционного пожаротушения при помощи роботехнических передвижных средств ИЦПР «ЭФЭР» ПР-ЛСД-С20У	50000
Монтаж системы дистанционного пожаротушения при помощи роботехнических передвижных средств ИЦПР «ЭФЭР» ПР-ЛСД-С20У	500000
Стоимость оборудования	8000000
Пуско-наладочные работы	200000
Итого:	8750000

Экономический эффект от монтажа системы дистанционного пожаротушения при помощи роботехнических передвижных средств ИЦПР «ЭФЭР» ПР-ЛСД-С20У на территории склада сжиженного углеводородного газа автомобильной пропан-бутановой смеси составит:

$$I = \sum_{t=0}^T ([M(\Pi_1) - M(\Pi_2)] - [P_2 - P_1]) \times \frac{1}{(1+НД)^t} - (K_2 - K_1) \quad (6)$$

«где T – горизонт расчета (продолжительность расчетного периода);

t – год осуществления затрат;

НД – постоянная норма дисконта, равная приемлемой для инвестора норме дохода на капитал.

M(Π1), M(Π2) – расчетные годовые материальные потери в базовом и планируемом вариантах, руб./год;

K1, K2 – капитальные вложения на осуществление противопожарных мероприятий в базовом и планируемом вариантах, руб.;

P1, P2– эксплуатационные расходы в базовом и планируемом вариантах в t-м году, руб./год» [2].

Расчёт денежных потоков от монтажа системы дистанционного пожаротушения при помощи роботехнических передвижных средств ИЦПР «ЭФЭР» ПР-ЛСД-С20У на территории склада сжиженного углеводородного газа автомобильной пропан-бутановой смеси представлен в таблице 8.

Таблица 8 – Расчёт денежных потоков

Год осуществления проекта Т	$M(П1)-M(П2)$	$P_2-P_1$	$1/(1+НД)^t$	$[M(П1)-M(П2)-(C_2-C_1)] * 1/(1+НД)^t$	$K_2-K_1$	Чистый дисконтированный поток доходов по годам проекта (И)
1	2333264	-	0,91	2123270,24	8750000	-6626729,76
2	2333264	-	0,83	1936609,12	-	1936609,12
3	2333264	-	0,75	1749948	-	1749948
4	2333264	-	0,68	1586619,52	-	1586619,52
5	2333264	-	0,62	1446623,68	-	1446623,68
6	2333264	-	0,56	1306627,84	-	1306627,84
7	2333264	-	0,51	1189964,64	-	1189964,64
8	2333264	-	0,47	1096634,08	-	1096634,08
9	2333264	-	0,42	979970,88	-	979970,88
10	2333264	-	0,39	909972,96	-	909972,96
Экономический эффект						5576240,96

Вывод по разделу 6.

В разделе рассчитан экономический эффект от монтажа системы дистанционного пожаротушения при помощи роботехнических передвижных средств ИЦПР «ЭФЭР» ПР-ЛСД-С20У на территории склада сжиженного углеводородного газа автомобильной пропан-бутановой смеси.

Интегральный экономический эффект от от монтажа системы дистанционного пожаротушения при помощи роботехнических передвижных средств ИЦПР «ЭФЭР» ПР-ЛСД-С20У на территории склада сжиженного углеводородного газа автомобильной пропан-бутановой смеси за десять лет составит 5576240,96 рублей.

## Заключение

В первом разделе рассмотрена оперативно-тактическая характеристика производственного склада СУГ. Производственный склад СУГ предназначен для приема и хранения ПБА перед подачей его в котельную на технологию.

Исследуемый склад сжиженного углеводородного газа состоит из следующих пожароопасных объектов:

- ёмкостный парк хранения ПБА;
- узловые площадки управления;
- компрессорные технологические установки;
- односторонняя сливноналивная железнодорожная эстакада;
- установка испарительная для СУГ.

Железнодорожная эстакада предназначена для слива ПБА из железнодорожных цистерн в подземные резервуары склада СУГ.

На сливную эстакаду ПБА поступает в железнодорожных цистернах объемом  $54 \text{ м}^3$  (полезный объем  $45 \text{ м}^3$ ), сжиженный газ – в железнодорожных цистернах объемом  $75,5 \text{ м}^3$  (полезный объем  $64,2 \text{ м}^3$ ).

На объекте предусмотрена установка сигнализаторов довзрывных концентраций: на нулевой отметке вдоль фронта слива железнодорожных цистерн – 2 шт. (1 датчик на две цистерны); в узлах управления запорной арматурой резервуаров – 8 шт.; на площадках компрессоров К-1-2 – по 1 шт.; возле дренажной емкости Е-9 – 1 шт.

Помещения объекта оборудованы системой автоматической пожарной сигнализации с выводом шлейфов на пост круглосуточного централизованного наблюдения. Для обнаружения опасных факторов пожара используются дымовые датчики.

Пожаротушение железнодорожной эстакады слива осуществляется водой с помощью лафетных стволов. Для тушения локальных возгораний предусмотрены необходимые первичные средства пожаротушения.

Во втором разделе произведён анализ применения мероприятий,

направленных на совершенствование тушения пожаров на объектах нефтегазового сектора.

Газораспределительные станции сжиженного газа оснащены рядом технических средств защиты. Одним из них является предохранительный клапан, используемый для защиты резервуара для сжиженного газа от повреждений, вызванных избыточным давлением.

Определено, что на объекте технологическая схема отгрузочного склада разделена на технологические блоки и установлены быстродействующие отсечные устройства с дистанционным управлением а на трубопроводах подачи ПБА в резервуары установлены обратные клапаны.

С одной стороны эстакады установлены лафетные стволы.

В третьем разделе рассматривалась возможность внедрения современных технологий, направленных на совершенствование тушения пожаров на объектах нефтегазового сектора.

Предложена система дистанционного пожаротушения при помощи роботехнических передвижных средств ИЦПР «ЭФЭР» ПР-ЛСД-С20У на территории склада сжиженного углеводородного газа автомобильной пропан-бутановой смеси.

Определено, что:

- при локализации и ликвидации аварийных ситуаций обслуживающий персонал должен следить за концентрацией СУГ в зоне размещения технологического оборудования и проведения работ;
- при ликвидации аварийных ситуаций обслуживающий персонал должен находиться с подветренной стороны от зоны загазованности.

В пятом разделе разработана схема восстановления загрязненных земельных ресурсов на производственной территории с СУГ. Устранение токсичных органических и неорганических загрязнителей из загрязненной

окружающей среды является глобальной задачей для продвижения устойчивого развития с низким воздействием на окружающую среду.

На объекте предусмотрена установка нового оборудования отечественного производства. Для аппаратов, устанавливаемых на открытой площадке, при выборе материалов учтена средняя температура воздуха наиболее холодной пятидневки данного района с обеспеченностью 0,92. Заказ на изготовление нового отечественного (серийно выпускаемого) оборудования предусматривается на основании опросных листов.

В шестом разделе рассчитан экономический эффект от монтажа системы дистанционного пожаротушения при помощи роботехнических передвижных средств ИЦПР «ЭФЭР» ПР-ЛСД-С20У на территории склада сжиженного углеводородного газа автомобильной пропан-бутановой смеси.

Интегральный экономический эффект от от монтажа системы дистанционного пожаротушения при помощи роботехнических передвижных средств ИЦПР «ЭФЭР» ПР-ЛСД-С20У на территории склада сжиженного углеводородного газа автомобильной пропан-бутановой смеси за десять лет составит 5576240,96 рублей.

## Список используемых источников

1. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Термины и определения [Электронный ресурс] : ГОСТ Р 22.0.02-2016. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200001517?section=status> (дата обращения: 18.07.2022).

2. Методика и примеры технико-экономического обоснования противопожарных мероприятий к СНиП 21-01-97\* [Электронный ресурс] : МДС 21-3.2001. URL: [http://pozhprouekt.ru/nsis/Rd/Mds/21-3\\_2001.htm](http://pozhprouekt.ru/nsis/Rd/Mds/21-3_2001.htm) (дата обращения: 21.08.2022).

3. Об утверждении Правил противопожарного режима в Российской Федерации [Электронный ресурс]: Постановление правительства РФ от 16 сентября 2020 г. № 1479. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_363263](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_363263) (дата обращения: 13.07.2022).

4. Об охране окружающей среды [Электронный ресурс] : Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/901808297> (дата обращения: 17.08.2022).

5. Об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств [Электронный ресурс] : Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 15.12.2020 № 533. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573200380?ysclid=19mi0o136586337636> (дата обращения: 17.07.2022).

6. Об утверждении Примерного перечня ежегодно реализуемых работодателем мероприятий по улучшению условий и охраны труда, ликвидации или снижению уровней профессиональных рисков либо недопущению повышения их уровней [Электронный ресурс] : Приказ

Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 29 октября 2021 года № 771н. URL: <https://docs.cntd.ru/document/727092795?ysclid=179zuwk3a1461969035> (дата обращения: 04.07.2022).

7. Об охране атмосферного воздуха [Электронный ресурс] : Федеральный закон от 04.05.1999 г. № 96-ФЗ. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/13789> (дата обращения: 18.07.2022).

8. Об отходах производства и потребления [Электронный ресурс] : Федеральный закон от 24.06.1998 № 89-ФЗ (с изменениями на 2 июля 2021 года). URL: <https://docs.cntd.ru/document/901711591> (дата обращения: 18.08.2022).

9. О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера [Электронный ресурс]: Федеральный закон от 21.12.1994 № 68-ФЗ. URL: <https://sudrf.cntd.ru/document/9009935> (дата обращения: 23.06.2022).

10. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности [Электронный ресурс]: СП 12.13130.2009 URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200071156> (дата обращения: 17.07.2022).

11. О порядке обучения по охране труда и проверки знания требований охраны труда [Электронный ресурс] : Постановление Правительства Российской Федерации от 24 декабря 2021 года № 2464. URL: <https://docs.cntd.ru/document/727688582#7D20K3> (дата обращения: 13.07.2022).

12. О специальной оценке условий труда [Электронный ресурс] : Федеральный закон от 28.12.2013 № 426-ФЗ. URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=382318> (дата обращения: 24.07.2022).

13. Патент RU2739820C1 Российская Федерация. Роботизированная установка пожаротушения с системой оптимизации и контроля параметров

тушения / Горбань Юрий Иванович (RU) : заявитель и правообладатель Общество с ограниченной ответственностью «Инженерный центр пожарной робототехники «ЭФЭР» (RU) ; заявл. 13.07.2020 г. [Электронный ресурс]. URL: [https://yandex.ru/patents/doc/RU192049U1\\_20190902](https://yandex.ru/patents/doc/RU192049U1_20190902) (дата обращения: 07.08.2022).

14. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля [Электронный ресурс] : ГОСТ Р 12.3.047-2012. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200103505> (дата обращения: 14.07.2022).

15. Правила устройства электроустановок [Электронный ресурс] : ПУЭ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200030218> (дата обращения: 02.07.2022).

16. Системы противопожарной защиты. Система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре. Требования пожарной безопасности [Электронный ресурс] : СП 3.13130.2009. URL: <https://www.mchs.gov.ru/dokumenty/svody-pravil/675> (дата обращения: 17.07.2022).

17. Техника пожарная. Огнетушители. Требования к эксплуатации [Электронный ресурс] : СП 9.13130.2009. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200071153> (дата обращения: 11.08.2022).

18. Техника пожарная. Огнетушители переносные. Общие технические требования. Методы испытаний [Электронный ресурс] : ГОСТ 51057-2001. URL: <https://www.nfcom.ru/info/normy-pozharnoi-bezopasnosti/gost-r-51057-2001-tekhnika-pozharnaya-ognetushiteli-perenosnye> (дата обращения: 19.06.2022).

19. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности [Электронный ресурс] : Федеральный закон от 22 июля 2008 года № 123-ФЗ. URL: <http://docs.cntd.ru/document/902111644> (дата обращения: 19.06.2022).

20. Трудовой кодекс Российской Федерации [Электронный ресурс] : Федеральный закон от 30.12.2001 № 197-ФЗ. URL: <http://docs.cntd.ru/document/901807664> (дата обращения: 21.07.2022).

21. Шевцов С.А., Фетисов Е.В. Технология безопасного и энергоэффективного хранения сжиженного углеводородного газа (СУГ) на объектах стратегического назначения // Вестник ВГУИТ. 2021. №1 (87). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologiya-bezopasnogo-i-energoeffektivnogo-hraneniya-szhizhennogo-uglevodorodnogo-gaza-na-obektah-strategicheskogo-naznacheniya> (дата обращения: 15.05.2023).