

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Южно-Уральский государственный университет  
(национальный исследовательский университет)»  
Политехнический институт  
Факультет «Политехнический заочный»  
Кафедра «Безопасность жизнедеятельности»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ  
Заведующий кафедрой БЖД  
\_\_\_\_\_ / А.И. Сидоров /  
«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2017 г.

Анализ пожарной опасности и разработка инженерно-технических мероприятий  
по совершенствованию противопожарной защиты нефтеперекачивающей станции  
НПС Челябинск

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ  
ЮУрГУ – 20.03.01.2017.003 ПЗ ВКР

Руководитель работы, доцент  
\_\_\_\_\_ / И.В. Скуртова /  
«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2017 г.

Автор работы  
студент группы ПЗ–559  
\_\_\_\_\_ / А.Н. Помельцев /  
«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2017 г.

Нормоконтролер, доцент  
\_\_\_\_\_ / А.В. Кудряшов /  
«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2017 г.

Челябинск 2017

## АННОТАЦИЯ

Помельцев А.Н. Анализ пожарной опасности и разработка инженерно-технических мероприятий по совершенствованию противопожарной защиты нефтеперекачивающей станции НПС Челябинск: ЮУрГУ, 2017г., 78 стр., 19 рис., 9 табл.; библиогр. список – 16 наим., альбом иллюстраций – 14 стр.

В дипломной работе рассмотрены вопросы обеспечения пожарной безопасности технологического процесса нефтеперекачивающей станции. В проекте произведен анализ статистических данных о пожарах в нефтедобывающей и перерабатывающей отрасли, причин их возникновения. Результаты анализа показывают актуальность данной темы и необходимость разработки пожарно-технических мероприятий по совершенствованию противопожарной защиты НПС.

Разработанные в проекте рекомендации противопожарной защиты НПС имеют практическое значение, а так же способствуют обеспечению пожарной безопасности нефтеперекачивающей станции.

					<b>20.03.01.2017.003 ПЗ ВКР</b>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>	Анализ пожарной опасности и разработка инженерно-технических мероприятий по совершенствованию противопожарной защиты нефтеперекачивающей станции НПС Челябинск	<i>Лит</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Разраб.</i>		<i>Помельцев А.Н.</i>				3	78	
<i>Пров.</i>		<i>Скуртова И.В.</i>						
<i>Н. контр.</i>		<i>Кудряшов А.В.</i>				<b>ЮУрГУ Кафедра БЖД</b>		
<i>Уте.</i>		<i>Сидоров А.И.</i>						





мировой экономики и основой энергетики подавляющего большинства стран мира. В свою очередь, энергетика является одной из основных отраслей народного хозяйства любой страны, показателем ее экономической мощи. Сохранение и рациональное использование запасов энергии - необходимое условие развития экономики не только отдельных государств, но и всего мира. Современную энергетическую ситуацию в мире можно назвать относительно благополучной благодаря открытиям новых месторождений ископаемого топлива, совершенствованию энергетических технологий, более эффективному применению рыночных регуляторов. Нефть – один из важнейших видов энергетического и химического сырья. В ближайшем будущем потребность в нефти будет оставаться очень высокой [8].

Обобщенные данные о пожарах с нефтепродуктами показывают, что около 54 % зарегистрированных пожаров и загораний произошло на резервуарах, заполненных бензином, около 32% – на резервуарах с нефтью, остальные пожары произошли на резервуарах с другими нефтепродуктами (мазутом, керосином, дизельным топливом, маслами и другими продуктами).

Отмечаются следующие причины возникновения пожаров на резервуарах (в процентах):

- нарушение правил пожарной безопасности при огневых и ремонтных работах – 24;
- неисправности электрооборудования – 15;
- проявления атмосферного электричества – 9;
- разряды статического электричества – 10;
- самовозгорание пирофорных отложений, неосторожное обращение с огнем, поджоги.

Основная тенденция в обеспечении взрывобезопасности резервуарных парков базируется на предотвращении образования горючей среды снаружи резервуаров и предотвращении образования (появления) внутри и снаружи резервуаров источников зажигания.

					20.03.01.2017.003 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		6

Одним из специфических источников зажигания в резервуарных парках являются разряды атмосферного электричества. При устройстве молниеприемников не исключена возможность местного перегрева в узле сочленения молниеприемника с корпусом резервуара при разряде атмосферного электричества и последующего воспламенения паровоздушной смеси от высоконагретых поверхностей.

Источник зажигания, возникающий при ручном замере уровня или отборе пробы, довольно трудно идентифицировать: был ли это разряд статического электричества или фрикционная искра. Как правило, такие пожары сопровождаются гибелью и травмированием людей, выполняющих работы на крыше резервуара.

Загазованность резервуарных парков и территорий, прилегающих к резервуарным паркам, парами нефтепродуктов также является частой причиной пожаров.

Наиболее опасны аварии, связанные с квазимгновенным разрушением резервуаров. Около 50% всех аварий, связанных с разрушением резервуаров, квалифицировались как крупные или катастрофические. Наиболее опасным фактором при разрушении резервуара является образование волны прорыва, которая в 49% случаев аварий полностью разрушала обвалование (или стену), а в 29% – перехлестывала через них.

Аварии в резервуарных парках могут сопровождаться пожарами, взрывами и загазованностью территории продуктами горения с поражением персонала.

Особенности возникновения и развития аварий и пожаров в резервуарных парках показывают, что основными поражающими факторами являются: ударная волна при взрыве паровоздушной или газовой смеси в резервуаре; действие гидродинамической «волны прорыва», образующейся при квазимгновенном разрушении резервуара; вскипание и выброс горячей жидкости при пожаре в резервуаре; тепловое излучение при пожаре в резервуаре, разливе горячей жидкости или образовании «огненного шара»; токсичность продуктов горения; осколки разрушенного оборудования [16].

					20.03.01.2017.003 ПЗ ВКР	Лист
						7
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

При особых условиях (групповой пожар, взрывы, рельеф местности) возможно цепное развитие аварии по эффекту «домино», а также распространение поражающих факторов на селитебные территории.

В связи с описанным выше тема дипломной работы является актуальной.

Целью данной дипломной работы является повышение пожарной безопасности и разработка инженерно-технических мероприятий по совершенствованию противопожарной защиты нефтеперекачивающей станции НПС Челябинск.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- провести анализ пожарной опасности нефтеперекачивающей станции.
- проверить соответствие противопожарной защиты нефтеперекачивающей станции требованиям пожарной безопасности.
- разработать инженерно-технические мероприятия, направленные на совершенствование пожарной безопасности нефтеперекачивающей станции.

					20.03.01.2017.003 ПЗ ВКР	Лист
						8
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



Площадь которого 2750 м. кв. высота обвалования 1,5 метра. Резервуары РВСП-5000 № 35 и РВС-5000 № 36 имеют одно каре размером 110 х 50 метров, площадь которого 5500 м. кв. высота обвалования 1,5 метра. Расстояние от резервуаров № 31, 32 до резервуаров № 35, 36 составляет 100 метров, между каре – 80 метров. Расстояние между резервуарами № 35 и № 36 – 28 метров, № 31 и № 32 – 38 метров. Между каре резервуаров № 31, 32 и № 35, 36 проходит дорога с твердым покрытием и огибает резервуары № 35, 36 [АИ стр.7].

Таблица 2 – Сведения о резервуарном парке

Наименование параметра	Ед. измерения	Количество
Площадь резервуарного парка	м <sup>2</sup>	11000
Емкость резервуаров в группе:		
1 группа – резервуары РВСП-5000 № 31 и № 32	тыс.м <sup>3</sup>	20
2 группа – резервуары РВСП-5000 № 35,		10
РВС-5000 № 36		10
Количество резервуаров	шт.	4
Количество групп резервуаров	ед.	2
Площадь каре наибольшей группы (худший вариант развития пожара).	м <sup>2</sup>	5500
Высота обвалования.	м	1,5

### 1.3 Характеристика нефтеперекачивающей насосной станции

В здании насосной (ТОН-2) находятся защитно-распределительное устройство, насосный зал, электрозал, маслонасосная (маслоприямок), комплектная трансформаторная подстанция, операторная. Насосный зал оборудован 3 основными магистральными насосами НМ 1250 х 260, № 1, № 2; № 3 производительностью 1250 м<sup>3</sup>/ч, и 2-мя подпорными насосами 14 НДсН № 1, № 2 производительностью 1250 м<sup>3</sup>/ч. В помещении электrozала размещены

электродвигатели приводов 3 основных магистральных насосов напряжением 6кВ и 1 электродвигатель подпорного насоса 380 V, электродвигатель подпорного насоса № 2 380 V расположен в насосном зале. Под всем электрозалом расположен кабельный подвал.

Таблица 3 – Характеристика насосной станции

Наименование параметра	Ед. изм.	Количество
Размеры в плане	м х м (м <sup>2</sup> )	24х18(432м <sup>2</sup> )
Этажность	эт.	1
Степень огнестойкости		II
Наличие легкобрасываемых конструкций		Плиты ВНИСТА, оконные проемы
Противопожарные преграды. Предел огнестойкости	мин	Разделит. стена 120 мин.
Отметка уровня пола по отношению к земле	м	+ 0,3
Диаметр нефтепровода	мм	720
Производительность насосов и их количество: НМ-1250х260 14 НДсН	м <sup>3</sup> /час шт	1250 м <sup>3</sup> /ч -3шт. 1250 м <sup>3</sup> /ч -2шт.
Пути возможного распространения пожара по технологическим коммуникациям	-	Промышленная канализация, кабельные каналы
Места установки огнезадерживающих клапанов, возможность их закрытия вручную	-	-
Наличие аварийной вентиляции	-	-

# 1.4 Характеристика зданий (сооружений), технологических площадок

Таблица 4 – Характеристика зданий (сооружений), технологических площадок

Размеры geometr. (м <sup>2</sup> )	Предел огнестойкости конструктивных элементов, мин.				Степень огнестойкости здания, мин.	Кол-во входов	Характеристика лестничных клеток	Энергет. обеспечение		Вентиляци	Наличие пожарной автоматики (АУПТ, АУПС, СОиУЭ)	Кол-во людей в здании, чел.	
	Стены	Перекрытия	Перегородки	Кровля				Напр. в сети (В)	Отопление			В дневное время	В ночное время
Административно-бытовой корпус													
475	90	45	45	-	2	4	-	380, 220	Ц/в	П/в	-	20	-
Котельная													
182	90; 15	45; 15	45; 15	-	3	4	-	380, 220	Ц/в	П/в	АУПС от КСАПТ	2	1
Склад экологического оборудования													
175	90	45	45	-	2	1	-	380, 220	Ц/в	Е	АУПС	5	-
Пожарное депо													
130	90	45	45	-	2	2	-	220	Ц/в	Е	-	3	2
Проходная													
28	90	45	45	-	2	1	-	220	Ц/в	Е	-	2	1
Помещение КСБ (оружейная)													
50	90	45	45	-	2	1	-	220	Ц/в	Е	-	3	2
Лаборатория УСА и ТМ													
54	90	45	45	-	2	1	-	220	Ц/в	Е	-	5	-
Насосная станция КСАПТ													
480	90	45	45	-	2	2	-	380, 220	Ц/в	П/в	-	2	-
Насосная станция АППТ													
81	90	45	45	-	2	1	-	380, 220	Ц/в	Е	-	2	-
ДЭС-630 КСАПТ													
21	15	15										2	-

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

20.03.01.2017.003 ПЗ ВКР

Лист

12

Продолжение таблицы 4

Размеры geometr. (м²)	Предел огнестойкости конструктивных элементов, мин.				Степень огнестойкости здания, мин.	Кол-во входов	Характеристика лестничных клеток	Энергет. обеспечение		Вентиляци	Наличие пожарной автоматики (АУПТ, АУПС, СОиУЭ)	Кол-во людей в здании, чел.	
	Стены	Перекрытия	Перегородки	Кровля				Напр. в сети (В)	Отопление			В дневное время	В ночное время
ЩСУ- 0,4 кВ АППТ													
12	90	45	45	-	2	1	-	380	-	Е	-	2	-
Ампулохранилище СУПЛАВ													
21	90	45	45	-	2	1	-	380, 220	-	П/в	-	1	-
Нефтенасосная ТОН-1 (выведена из эксплуатации)													
760	90	45	45	-	2	4	ж\б	-	Ц/в	П/в	-	2	-
ЗРУ 6-кВ (в здании нефтенасосной ТОН-2)													
114	90	45	45	-	2	2	-	6000	Эл.	Е	АУПС от КСАПТ	2	1
Операторная (в здании нефтенасосной ТОН-2)													
108	90	30	45	-	2	2	-	380, 220	Ц/в	Е	АУПС от КСАПТ	3	-
Камеры фильтров-грязеуловителей ТОН-2													
100	-	-	-	-	-	-	-	380	-	Е	-	2	-
Камеры ёмкостей утечек нефти и сброса ударной волны													
100	-	-	-	-	-	-	-	380	-	Е	-	2	-
Блок-боксы запорной арматуры КСАПТ №№ 3.1; 3.2; 3.3; 3.4													
18	15	15	15	-	3	1	-	380, 220	Эл.	Е	-	2	-
ЩСУ- 0,4 кВ котельной													
12	15	15	15	-	4	1	-	380	-	Е	-	2	-
Реакторные кабины (выведены из эксплуатации)													
24	90	45	45	-	2	1	-	6000 транзит. эл.кабель	-	Е	АУПС от КСАПТ	2	-
Топливные ёмкости котельной с нефтью РГС-20 (2 шт.)													

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

20.03.01.2017.003 ПЗ ВКР

Лист

13

Примечание:

е – естественная вентиляция;

п/в – приточно-вытяжная вентиляция;

ц/в – центральное водяное отопление;

эл – электрическое отопление.

## 1.5 Водоснабжение объекта

### 1.5.1 Общие сведения о противопожарном водоснабжении

Водоснабжение НПС «Челябинск» осуществляется с кольцевого хозяйственно-питьевого водопровода диаметром 200 мм., запитанного с общего водовода поселка Сосновка, проходящего по периметру резервуарного парка, на нем установлено 15 пожарных гидрантов с рабочим давлением 2-3 кг/см<sup>2</sup>. Напор в водопроводе в случае возникновения пожара возможно повысить через дежурного диспетчера поселка Сосновка или ЕДДС ГУ МЧС России.

Кроме того, на территории НПС имеется:

- 2 наземных железобетонных резервуара ЖБР-1 и ЖБР-2 с общим  $V=200$  м<sup>3</sup> (по 100 м<sup>3</sup>каждый), расположенные у насосной станцией КСАПТ, оборудованных 2-мя колодцами для забора от АЦ;
- 2 подземных железобетонных резервуара ЖБР-1 и ЖБР-2 с общим  $V=3000$  м<sup>3</sup> (по 1500 м<sup>3</sup>каждый), расположенные на территории ЛПДС «Челябинск» ВПО УТНП, в 50 м от ограждения;
- естественный водоём  $V=1500$  м<sup>3</sup>, расположенный в 1 км от НПС, оборудованный пожарным пирсом, на котором можно установить в летний период один пожарный автомобиль;
- кольцевой растворопровод с 6% раствором пенообразователя средней кратности диаметром 100 мм, проходящий по периметру резервуарного парка, на котором установлено 4 пожарных гидранта.
- 8 внутренних пожарных кранов.

										Лист
										14
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	20.03.01.2017.003 ПЗ ВКР					

- 2 бака-дозатора БДП-10000Г с пенообразователем «Мультипена»; 2 наземных ёмкости с 6% раствором пенообразователя средней кратности с общим  $V = 100 \text{ м}^3$  (по  $50 \text{ м}^3$  каждая), расположенные у насосной станцией АППТ, оборудованные для забора от АЦ;
- 2 внутренних ёмкости пенообразователя средней кратности с общим  $V = 7,8 \text{ м}^3$  (по  $3,8 \text{ м}^3$  каждая), расположенные в насосной станции АППТ, оборудованные для забора от АЦ;
- $V = 20 \text{ м}^3$  (по  $10 \text{ м}^3$  каждый), расположенные в насосной станции КСАПТ, оборудованные для забора от АЦ;
- резерв пенообразователя «Мультипена» = 10 т, расположенного в насосной станции КСАПТ;
- резерв пенообразователя средней кратности = 11 т, расположенного в насосной станции КСАПТ;
- резерв пенообразователя «Подслойный» = 9,95 т, расположенного на 2 автоприцепах в ПК;

### 1.5.2 Характеристика наружного противопожарного водоснабжения

Таблица 5 – Наружное водоснабжение

Наименование водо-, пеноисточников	Количество	Вид, диаметр сети (мм), объём ( $\text{м}^3$ )	Расход (л/с)	Напор (атм)		Место расположения
				Номинальное	Максимальное	
Вода						
Пожарные гидранты	15 шт.	К-250	90	2	4	По периметру резервуарного парка

Продолжение таблицы 5

Наименование водо- пеноисточников	Количество	Вид, диаметр сети (мм), объём (м <sup>3</sup> )	Расход (л/с)	Напор (атм)		Место расположения
				Номинальное	Максимальное	
Пожарный водоём	1 шт.	500	-	-	-	в 1 км. за территорией НПС
Пенораствор						
Пенные пожарные гидранты	4 шт.	К-150	45	4	6	По периметру резервуарного парка
Ёмкости с 6% раствором пенообразователя средней кратности	2 шт.	2x50	-	-	-	У насосной станцией АППТ
Пенообразователь						
Ёмкости с пенообразователем	2 шт. 7,6 т.	2x3,8 средней кратности	-	-	-	В насосной станции АППТ
Баки-дозаторы КСАПТ	2 шт. 20 т.	2x10 мультипена	-	-	-	В насосной станции КСАПТ
Резерв пенообразователя мультипена	10 т.	10x1 мультипена	-	-	-	В насосной станции КСАПТ
Резерв пенообразователя средней кратности	11 т.	40x0,2 средней кратности	-	-	-	В насосной станции КСАПТ

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

20.03.01.2017.003 ПЗ ВКР

Лист

16

Продолжение таблицы 5

Наименование водо-, пеноисточников	Количество	Вид, диаметр сети (мм), объём (м <sup>3</sup> )	Расход (л/с)	Напор (атм)		Место расположения
				Номинальное	Максимальное	
Резерв пенообразователя подслонный	9,950 т.	10x1, подслонный	-	-	-	В пожарном депо

1.5.3 Характеристика внутреннего противопожарного водоснабжения

Таблица 6 – Внутреннее водоснабжение

Место расположения пожарных кранов	Количество	Наличие насосов-повысителей, способ включения	Напор (атм.)
Электрозаланфтенасосной ТОН-2	4	-	2-3
Насосный зал нефтенасосной ТОН-2	2	-	2-3
Насосная станция КСАПТ	1	-	2-3
Котельная	1	-	2-3
Пожарное депо	1	-	2-3

1.5.4 Характеристика системы охлаждения резервуаров

Система охлаждения резервуаров состоит из: запорной арматуры, горизонтального секционного кольца орошения с перфорацией в верхнем поясе стенок резервуара, сухих стояков и горизонтальных трубопроводов, соединяющих секционное кольцо орошения с сетью хозяйственно-питьевого водопровода расположенного на территории НПС.

Напор у входа в кольцо орошения составляет 11,22 м. Расход на охлаждение одного резервуара составляет 35,83 л/с. Продолжительность охлаждения составляет 4 часа.

					20.03.01.2017.003 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		18



Продолжение таблицы 7

Наименование показателей	Значение
Температура застывания нефти	-38С <sup>0</sup>
Температура прогретого слоя нефти	+130, 160С <sup>0</sup>
Температура пламени	+1100С <sup>0</sup>
Скорость выгорания	9 – 12 см/час
Скорость нарастания прогретого слоя	24 – 36 см/час

## 2.2 Анализ возможности образования взрывоопасных концентраций

В свободном (паровоздушном) пространстве дышащего аппарата с ЛВЖ и ГЖ взрывоопасная концентрация образуется при выполнении соотношения:

где  $\varphi_{\text{н}}$  и  $\varphi_{\text{в}}$  – соответственно нижний и верхний концентрационные пределы распространения пламени;

$\varphi_{\text{р}}$  – рабочая (фактическая) концентрация пара.

Наибольшую трудность представляет определение рабочей концентрации пара жидкости в паровоздушном пространстве аппарата, которая в зависимости от целого ряда условий и обстоятельств может изменяться практически от 0 до максимального при рабочей температуре жидкости значения – насыщенной концентрации  $\varphi_{\text{с}}$  [7]:

$$\varphi_{\text{с}} = \frac{P_{\text{с}} \cdot 100\%}{P_{\text{р}}}, \quad (1)$$

где  $\varphi_{\text{с}}$  - объемная доля насыщенных паров;

$P_{\text{р}}$  - рабочее давление в аппарате, Па,  $P_{\text{р}}=101000$  Па;

$P_{\text{с}}$  - давление насыщенного пара при рабочей температуре жидкости, Па.

Давление насыщенных паров нефти принимаем равным 32 кПа (данные получены на рассматриваемом объекте).

Концентрация паров в надпонтонном пространстве вертикального стального резервуара с понтоном примерно в 10 раз ниже насыщенной концентрации. В этом случае:

$$\varphi_{\delta} = \frac{\varphi_s}{10}, \quad (2)$$

При эксплуатации резервуаров со стационарной крышей без понтона насыщенная концентрация пара жидкости в паровоздушном пространстве не образуется вследствие следующих причин: притока воздуха через дыхательное устройство внутрь при снижении уровня жидкости, изменения температуры окружающей среды, колебания барометрического давления или выветривания внутреннего пространства[7]. Условие образования ВОК в этом случае выражается неравенством:  $\varphi_s \geq \varphi_1$ .

Резервуары типа РВСП с нефтью.

Определяем концентрацию паров нефти в над понтонном пространстве вертикального стального резервуара с понтоном:

$P_s = 32$  кПа;  $\varphi_s = 32 \cdot 100 / 101 = 31,68\%$  (об.);  $\varphi_p = 31,68 / 10 = 3,2\%$  (об.), что больше  $\varphi_n = 1,1\%$  (об.).

Следовательно, в паровоздушном пространстве резервуаров типа РВСП с нефтью ВОК образуется.

Резервуары типа РВС с нефтью.

Определяем концентрацию паров нефти в паровоздушном пространстве вертикального стального резервуара:

$P_s = 32$  кПа;  $\varphi_s = \varphi_p = 32 \cdot 100 / 101 = 31,68\%$  (об.), что значительно вероятно больше  $\varphi_n = 1,1\%$  (об.).

Следовательно, в паровоздушном пространстве резервуаров типа РВС с нефтью ВОК также образуется.

### 2.3 Анализ возможности выхода горючих веществ из оборудования

При нормальной эксплуатации резервуаров, в результате больших и малых дыханий происходит вытеснение паров нефти наружу.

					20.03.01.2017.003 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		21

И как следствие происходит образование горючей концентрации паров около резервуаров, если температура нефти равна или больше величины нижнего температурного предела распространения пламени.

При повреждении резервуаров со стационарной крышей с понтоном и без понтона горючесть среды в них по сравнению с нормальным режимом эксплуатации не изменяется, т. е. ВОК имеется в них постоянно. В случае возникновения аварийной ситуации на трубопроводах происходит истечение продуктов из них и заполнение свободного пространства воздухом, что приводит к образованию ВОК в трубопроводах с нефтью.

Локальное повреждение оборудования в резервуарном парке приводит к возникновению проливов нефтепродуктов. Определим размеры зоны ВОК при проливе внутри обвалования, например, 500 л нефти вследствие утечки нефти через прокладку на задвижке. Площадь испарения нефти будет равна площади пролива[4]:

$$F_{\text{и}} = S_{\text{р}} = f_{\text{н}} V_{\text{ж}}, \quad (3)$$

Где  $f_{\text{н}}$  - коэффициент разлива нефти на наружной установке,  $f_{\text{н}} = 0,15 \text{ м}^2/\text{л}$ .

$$F_{\text{и}} = S_{\text{р}} = 0,15 \cdot 500 = 75 \text{ м}^2.$$

Масса разлившейся нефти:

$$m_{\text{р}} = V_{\text{ж}} \rho_{\text{н}}, \quad (4)$$

$$m_{\text{р}} = 500 \cdot 10^{-3} \cdot 903 = 451,5 \text{ кг}.$$

Интенсивность испарения нефти летом при температуре воздуха  $40^{\circ}\text{C}$  :

$$W = 10^{-6} \sqrt{I} E_s, \quad (5)$$

$$W = 10^{-6} \cdot \sqrt{60} \cdot 32 = 2,47 \cdot 10^{-4} \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$$

Количество испарившейся нефти за 3600 с:

$$m_{\text{и}} = W F_{\text{и}} \tau, \quad (6)$$

т. е. разлившаяся нефть в течение 3600 с испарится не полностью и  $K = 1,0$ .

$$m_{\text{и}} = 2,47 \cdot 10^{-4} \cdot 75 \cdot 3600 = 66,9 \text{ кг}.$$

Плотность паров нефти  $\rho_{\text{п}}$  при  $t_{\text{р}}$  и атмосферном давлении:

					20.03.01.2017.003 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		22

$$\rho_{\Pi} = \frac{60 \cdot 273}{22,41 \cdot (273 + 40)} = 2,34 \text{ кг/м}^3,$$

$$R_{\text{НКПР}} = 3,2 \cdot \left(\frac{T}{3600}\right)^{0,5} \cdot \left(\frac{P_H}{C_{\text{НКПР}}}\right)^{0,8} \cdot \left(\frac{m_{\Pi}}{\rho_{\Pi} \cdot P_H}\right)^{0,33} \quad (7)$$

$$R_{\text{НКПР}} = 3,2 \cdot 1 \cdot \left(\frac{32}{1,1}\right)^{0,8} \cdot \left(\frac{66,9}{2,34 \cdot 32}\right)^{0,33} = 47,4 \text{ м.}$$

$$Z_{\text{НКПР}} = 0,12 \cdot \left(\frac{T}{3600}\right)^{0,5} \cdot \left(\frac{P_H}{C_{\text{НКПР}}}\right)^{0,8} \cdot \left(\frac{m_{\Pi}}{\rho_{\Pi} \cdot P_H}\right)^{0,33} \quad (8)$$

$$Z_{\text{НКПР}} = 0,12 \cdot 1 \cdot \left(\frac{32}{1,1}\right)^{0,8} \cdot \left(\frac{13,4}{2,34 \cdot 32}\right)^{0,33} = 1,76 \text{ м.}$$

Даже при таком незначительном проливе, через 1 час граница зоны ВОК будет находиться на расстоянии 47,4 м от стенки трубопровода, а высота зоны ВОК достигает  $h_6 = 1,76$  м.

Особенно высокая пожарная опасность возникает при повреждении корпуса резервуара и, тем более, при разрушении трубопровода. Оценим параметры зоны ВОК при возникновении утечки нефти при разгерметизации фланцевого соединения на приемо-раздаточном патрубке резервуара (например, при образовании щели длиной  $a = 70$  мм и шириной  $b = 2$  мм).

Масса нефти, выходящей наружу при таком повреждении [5]:

$$m_{\text{ж}} = (\mu f_{\text{отв}} w \tau_{\text{х,р}} + 0,785 d_{\Pi}^2 l_{\text{тр}}) \rho_{\text{б}}, \text{ кг,} \quad (9)$$

где  $\mu$  – коэффициент расхода,  $\mu = 0,65$ ;

$f_{\text{отв}}$  – сечение отверстия, через которое нефть выходит наружу,

$$f_{\text{отв}} = ab = 70 \cdot 2 = 140 \text{ мм}^2 = 14,0 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2;$$

$w$  – скорость истечения нефти из патрубка резервуара под постоянным напором, м/с

$$w = \sqrt{2 g h_{\text{ж}}}, \quad (10)$$

где  $g$  – ускорение свободного падения,  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ ;

$h_{\text{ж}}$  – максимальный уровень нефти в резервуаре,  $h_{\text{ж}} = 10,87 \text{ м}$ ;

$$w = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 10,87} = 14,6 \text{ м/с.}$$

					20.03.01.2017.003 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		23

При продолжительности ручного перекрытия приемо-раздаточного патрубка хлопушкой  $\tau_x = 1800$  с (принято) масса разлившейся нефти будет равна:

$$m_{ж} = (0,65 \cdot 14,0 \cdot 10^{-5} \cdot 14,6 \cdot 1800 + 0,785 \cdot 0,125^2 \cdot 5,0) \cdot 903 = 2164,2 \text{ кг.}$$

Объем разлившейся нефти [3]:

$$V_{ж} = m_{ж} / \rho_{б}, \quad (11)$$

$$V_{ж} = 2164,2 / 903 = 2,3 \text{ м}^3 \text{ (или 2300 л).}$$

Возможная площадь разлива нефти:

$$S_p = 0,15 V_{ж}, \quad (12)$$

$$S_p = 0,15 \cdot 2300 = 345 \text{ м}^2.$$

Количество испарившейся нефти за 3600 с:

$$m_{и} = 2,47 \cdot 10^{-4} \cdot 345 \cdot 3600 = 306,7 \text{ кг.}$$

Так как разлившаяся нефть в течение 3600 с, как и в предыдущем случае, испарится не полностью, то  $K = 1,0$ .

Тогда:

$$R_{\text{НКПР}} = 3,2 \cdot 1 \cdot \left( \frac{32}{1,1} \right)^{0,8} \cdot \left( \frac{306,7}{2,34 \cdot 32} \right)^{0,33} = 72,9 \text{ м,}$$

$$Z_{\text{НКПР}} = 0,12 \cdot 1 \cdot \left( \frac{32}{1,1} \right)^{0,8} \cdot \left( \frac{306,7}{2,34 \cdot 32} \right)^{0,33} = 2,7 \text{ м.}$$

При таком повреждении зона ВОК имеет значительно большие размеры чем при рассмотренной выше утечке.

Для предотвращения выхода нефти из оборудования при его повреждении или разрушении рекомендуются следующие мероприятия:

- контроль герметичности оборудования, своевременный его ремонт, испытания на прочность и плотность;
- строгое соблюдение технологического регламента;
- предотвращение переполнения резервуаров путем устройства систем КИПиА (автоматический контроль уровня заполнения резервуаров, применение концевых отключателей и др.);
- предотвращение опасных воздействий на оборудование.

					20.03.01.2017.003 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		24

- контроль за процессом работы действующих механизмов;
- предотвращение опасных факторов.

Для предотвращения выхода нефтепродуктов за пределы защитного ограждения при квазимгновенном разрушении резервуара рекомендуется вместо земляного обвалования предусматривать устройство ограждающей стены с отбойным козырьком.

#### 2.4 Пожарная опасность выхода горючей среды при повреждении

Для резервуарного парка хранения нефти при возникновении заданных начальных событий характерны следующие сценарии развития аварии:

- локальная разгерметизация приемного патрубка резервуара, разлив нефти в пределах обвалования, образование зоны ВОК без ее воспламенения;
- локальная разгерметизация приемного патрубка резервуара, разлив нефти в пределах обвалования, её мгновенное воспламенение, пожар пролива нефти;
- локальная разгерметизация приемного патрубка резервуара, разлив нефти в пределах обвалования без её мгновенного воспламенения, образование зоны ВОК, воспламенение и сгорание облака паровоздушной смеси, пожар пролива нефти;
- локальная разгерметизация приемного патрубка резервуара, разлив нефти в пределах обвалования без её мгновенного воспламенения, образование зоны ВОК, воспламенение и быстрое (взрывное) сгорание паровоздушного облака с развитием избыточного давления, пожар пролива нефти;
- локальная разгерметизация приемного патрубка резервуара, разлив нефти в пределах обвалования, её воспламенение или воспламенение паровоздушного облака, пожар пролива нефти в обваловании, пожар резервуара (далее возможно вскипание горячей нефти или разрушение, в т.ч. квазимгновенное, резервуара);
- квазимгновенное разрушение резервуара, разлив нефти в пределах обвалования, образование зоны ВОК без ее воспламенения;
- квазимгновенное разрушение резервуара, разлив нефти в пределах обвалования и её мгновенное воспламенение, пожар в обваловании;

					20.03.01.2017.003 ПЗ ВКР	Лист
						25
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- квазимгновенное разрушение резервуара, разлив нефти в пределах обвалования без её мгновенного воспламенения, образование зоны ВОК, воспламенение и сгорание облака паровоздушной смеси, возникновение очагов горения на соседних объектах, пожар в обваловании;

- квазимгновенное разрушение резервуара, разлив нефти за пределы обвалования, образование зоны ВОК без ее воспламенения;

- квазимгновенное разрушение резервуара, разлив нефти за пределы обвалования и её мгновенное воспламенение, возникновение пожаров на соседних объектах, пожар в обваловании;

- квазимгновенное разрушение резервуара, разлив нефти за пределы обвалования без её мгновенного воспламенения, образование зоны ВОК, воспламенение и быстрое (взрывное) сгорание паровоздушного облака с развитием избыточного давления, возникновение пожаров на соседних объектах, пожар в обваловании [15].

Реализация рассмотренных сценариев развития аварии приводит к появлению опасных факторов пожара и взрыва, способных привести к гибели людей и социально-опасным последствиям. Такими факторами являются:

- тепловое излучение (сгорание паровоздушной смеси, горение разлива нефти, пожар резервуара и вскипание нефти в горящем резервуаре);

- избыточное давление (быстрое сгорание паровоздушной смеси);

- тепловое воздействие высокотемпературных продуктов сгорания паровоздушной смеси («пожар-вспышка»);

- гидродинамическая волна (квазимгновенное разрушение резервуара);

- горящая гидродинамическая волна (квазимгновенное разрушение резервуара).

Все расчеты проводились с помощью программ MathCAD 14, Microsoft Office, Excel 2007.

Определение количества нефти, испарившегося из пролива

Исходные данные для расчетов:

					20.03.01.2017.003 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		26

- плотность  $\rho_{ж} = 736 \text{ кг/м}^3$ ;
- диаметр резервуара,  $D_p = 22,8 \text{ м}$ ;
- коэффициент разлития при растекании на грунтовом покрытии,  $f_p = 20 \text{ м}^{-1}$ ;
- константы уравнения Антуана:  $A = 4,12311, B=664,976, C=221,695$ ;
- расчетная температура жидкости,  $t_p = 40^0 \text{ С}$ ;
- нижний концентрационный предел распространения пламени,  $\varphi_n = 1,0 \%$  (об.);
- молярная масса,  $M = 98 \text{ кг/кмоль}$ ;
- молярный объем пара  $V_0 = 22,41 \text{ м}^3/\text{кмоль}$ ;
- ускорение свободного падения,  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ ;
- атмосферное давление,  $p_0 = 101325 \text{ кПа}$ ;
- высота резервуара,  $H_p = 11,9 \text{ м}$ ;
- степень заполнения РВС  $\varepsilon = 0,9$ ;
- число РВС в обваловании  $n=2$ ;
- высота обвалования  $a = 1,5 \text{ м}$ ;
- диаметр образовавшегося отверстия при локальной разгерметизации РВС,  $d_{отв} = 0,025 \text{ м}$ ;
- коэффициент расхода из отверстия при локальной разгерметизации РВС,  $\mu = 0,62$ ;
- расстояние от днища РВС до образовавшегося отверстия при локальной разгерметизации РВС,  $h_{отв} = 0,1 \text{ м}$ ;
- время блокирования поступления жидкости из отверстия при локальной разгерметизации РВС,  $\tau_{бл} = 3600 \text{ с}$ ;
- давление насыщенных паров при расчетной температуре [6]:  

$$\lg P_s = A - B/(C_A + t_p) = 1,582, P_s = 35,695 \text{ кПа}$$
;
- концентрация насыщенных паров при расчетной температуре:

					20.03.01.2017.003 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		27

$$\varphi_s = \frac{P_s}{P_0} \cdot 100\% = 35,228\% \text{ (об.)};$$

- интенсивность испарения:

$$W = 10^{-6} \sqrt{M P_s} = 3,533 \cdot 10^{-4} \text{ кг/(м}^2 \cdot \text{с)};$$

Плотность при рабочей температуре и атмосферном давлении:

$$\rho_{\text{п}} = \frac{M}{V_0 (1 + 0,00367 t_p)} = 3,859 \text{ кг/м}^3$$

Расчет массы испарившейся жидкости, и локальная разгерметизация РВС:

Площадь горизонтального сечения резервуара:

$$F_p = \frac{\pi D_p^2}{4} = 408 \text{ м}^2.$$

Площадь отверстия, из которого происходит истечение:

$$f_{\text{отв}} = \frac{\pi d_{\text{отв}}^2}{4} = 0,4906 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2.$$

Время опорожнения РВС без учета действий персонала по блокированию поступления жидкости из отверстия[6]:

$$T = \frac{F_p \sqrt{2(\varepsilon H_p - h_{\text{отв}})}}{\mu f_{\text{отв}} \sqrt{g}}, \quad (13)$$

Изменение напора при его свободном вытекании из отверстия:

					20.03.01.2017.003 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		28

$$h(\tau) = \begin{cases} \frac{\left( 2\sqrt{\varepsilon H_p - h_{\text{отв}}} - \sqrt{2g} \frac{\mu \cdot f_{\text{отв}}}{F_p} \tau \right)^2}{2}, & \text{если } \tau \leq T \\ 0, & \text{если } \tau > T \end{cases} \quad (14)$$

Изменение уровня при его свободном вытекании из отверстия:

$$H(\tau) = h(\tau) + h_{\text{отв}}. \quad (15)$$

График изменения уровня при его свободном вытекании из отверстия представлен на рисунке 1.

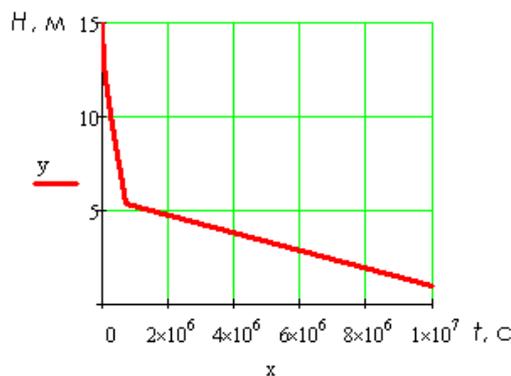


Рисунок 1 – График изменения уровня при свободном вытекании жидкости из отверстия

Изменение скорости при свободном вытекании из отверстия [7]:

$$v(\tau) = \begin{cases} \sqrt{2g \cdot h(\tau)}, & \text{если } \tau \leq T \\ 0, & \text{если } \tau > T \end{cases}, \quad (16)$$

Изменение расхода при свободном вытекании из отверстия [7]:

$$q(\tau) = \mu \cdot f_{\text{отв}} \cdot v(\tau). \quad (17)$$

Объем жидкости вышедшей из РВС с момента возникновения аварии до блокирования поступления жидкости из отверстия:

$$V_{\text{ж}} = \int_0^{\tau_{\text{бл}}} q(\tau) d\tau = 82,8 \text{ м}^3.$$

Масса жидкости, вышедшей из РВС:

$$m_{\text{ж}} = \rho_{\text{ж}} \cdot V_{\text{ж}} = 6,1 \cdot 10^4 \text{ кг.}$$

Площадь пролива при растекании на неограниченной поверхности:

$$F_{\text{п}} = fV_{\text{ж}} = 1656 \text{ м}^2.$$

где  $f_{\text{п}}$  – коэффициент разлития,  $\text{м}^{-1}$  (при отсутствии данных допускается принимать равным  $20 \text{ м}^{-1}$  при проливе на грунтовое покрытие,  $150 \text{ м}^{-1}$  при проливе на бетонное или асфальтовое покрытие).

Максимально возможная площадь пролива при растекании в пределах обвалования:

$$F_{\text{пл}} = F_{\text{обв}} - n \frac{\pi D_{\text{п}}^2}{4} = 4091,26 \text{ м}^2.$$

Фактическая площадь пролива:

$$F = \min(F_{\text{п}}, F_{\text{пл}}) = 1656 \text{ м}^2.$$

Так как масса, вышедшей в обвалование жидкости более  $20 \text{ кг}$ , то длительность испарения принимали равным:

$$\tau = \min\left(\frac{m_{\text{ж}}}{F \cdot W}; 3600 \text{ с}\right) = 3600 \text{ с}.$$

Полная разгерметизация РВС без образования волны прорыва и объем жидкости в РВС при условии полной разгерметизации резервуара без образования волны прорыва:

$$V_{\text{ж}} = a \frac{\pi D_{\text{п}}^2}{4} = 346,185 \text{ м}^3.$$

Масса, вышедшая из РВС:

$$m_{\text{ж}} = \rho_{\text{ж}} \cdot V_{\text{ж}} = 2,55 \cdot 10^5 \text{ кг}.$$

Площадь пролива при растекании на неограниченной поверхности:

$$F_{\text{п}} = fV_{\text{ж}} = 6923,7 \text{ м}^2.$$

Фактическая площадь пролива:

$$F = \min(F_{\text{п}}, F_{\text{пл}}) = 4091,26 \text{ м}^2.$$

Так как масса, вышедшая в обвалование более  $20 \text{ кг}$ , то длительность

					20.03.01.2017.003 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		30

испарения принимали равным:

$$\tau = \min\left(\frac{m_{\text{ж}}}{F \cdot W}; 3600 \text{ с}\right) = 3600 \text{ с},$$

Полная разгерметизация РВС с образованием волны прорыва

Объем жидкости в РВС при условии полной разгерметизации резервуара с образованием волны прорыва:

$$V_{\text{ж}} = \varepsilon H_{\text{п}} \frac{\pi D_{\text{п}}^2}{4} = 4673,5 \text{ м}^3.$$

Масса, вышедшая из РВС:

$$m_{\text{ж}} = \rho_{\text{ж}} \cdot V_{\text{ж}} = 3,44 \cdot 10^6 \text{ кг}.$$

Фактическая площадь пролива:

$$F = fV_{\text{ж}} = 93470 \text{ м}^2.$$

Так как масса, вышедшая в обвалование более 20 кг, то длительность испарения принимали равным:

$$\tau = \min\left(\frac{m_{\text{ж}}}{F \cdot W}; 3600 \text{ с}\right) = 3600 \text{ с}.$$

Прогнозирование размеров зон взрывоопасных концентраций

Выход углеводородов из РВС на территорию резервуарного парка при отсутствии мгновенного воспламенения и скорости ветра менее 1 м/с сопровождается образованием горючих паровоздушных смесей – зон взрывоопасных концентраций. Расчетное определение размеров зон, ограниченных нижним концентрационным пределом распространения пламени (НКПР) производили в соответствии с методом. При испарении с поверхности разлива радиус  $R_{\text{НКПР}}$ , ограничивающий область концентраций, превышающих НКПР, рассчитывали по формуле[4]:

$$R_{\text{НКПР}} = 3,2 \left(\frac{\tau}{3600}\right)^{0,5} \left(\frac{p_s}{\varphi_n}\right)^{0,8} \left(\frac{m_n}{\rho_n \cdot p_s}\right)^{0,33}. \quad (18)$$

Локальная разгерметизация РВС:

					20.03.01.2017.003 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		31

$$R_{\text{НКПР}} = 140,53 \text{ м.}$$

Полная разгерметизация РВС без образования волны прорыва:

$$R_{\text{НКПР}} = 189,4 \text{ м.}$$

Полная разгерметизация РВС с образованием волны прорыва:

$$R_{\text{НКПР}} = 531,9 \text{ м.}$$

Прогнозирование размеров зон поражения при пожаре – вспышке.

В случае образования паровоздушной смеси в не загроможденном технологическом оборудовании пространстве и его зажигании относительно слабым источником (например, искрой) сгорание этой смеси происходит, как правило, с небольшими видимыми скоростями пламени.

При этом амплитуды волны сжатия малы и могут не приниматься во внимание при оценке поражающего воздействия. В этом случае реализуется так называемый пожар-вспышка, при котором зона поражения высокотемпературными продуктами сгорания паровоздушной смеси практически совпадает с максимальным размером облака продуктов сгорания (т.е. поражаются в основном объекты, попадающие в это облако).

Радиус зоны поражения людей высокотемпературными продуктами сгорания паровоздушной смеси определяли по формуле [4]:

$$R_F = 1,2R_{\text{НКПР}}. \quad (19)$$

Локальная разгерметизация РВС:

$$R_F = 168,636 \text{ м.}$$

Полная разгерметизация РВС без образования волны прорыва:

$$R_F = 227,28 \text{ м.}$$

Полная разгерметизация РВС с образованием волны прорыва:

$$R_F = 638,3 \text{ м.}$$

Прогнозирование размеров зон поражения при быстром сгорании(взрыве) паровоздушной смеси в открытом пространстве.

При контакте горючей паровоздушной смеси с источником зажигания возможно ее быстрое сгорание с образованием волны давления (ударной волны),

					20.03.01.2017.003 ПЗ ВКР	Лист
						32
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

воздействие которой может привести к гибели людей или разрушению соседнего оборудования, сооружений и зданий.

Общие исходные данные для расчетов:

- число атомов углерода в молекуле горючего,  $n_c = 7,024$ ;
- число атомов водорода в молекуле горючего,  $n_h = 13,706$ ;
- число атомов галоидов в молекуле горючего,  $n_x = 0$ ;
- число атомов кислорода в молекуле горючего,  $n_o = 0$ ;
- значение корректировочного параметра,  $\beta = 1$ ;
- коэффициент участия горючего во взрыве,  $z = 0,1$ ;
- степень расширения продуктов сгорания,  $\lambda = 1$ ;
- скорость звука в воздухе,  $C_0 = 340 \text{ м/с}$ ;
- удельная теплота сгорания для углеводородов,  $E_{уд} = 44 \times 10^6 \text{ Дж /кг}$ ;
- атмосферное давление,  $p_0 = 101325 \text{ Па}$ ;
- класс горючего вещества по степени чувствительности к возбуждению взрывных процессов – 3;
- класс окружающего пространства по степени загроможденности – III;
- класс режима сгорания паровоздушной смеси – 4 (дефлаграция, скорость фронта пламени 150 – 200 м/с).

Методика проведения расчетов:

Определяли массу горючего вещества, содержащегося в облаке, с концентрацией между нижним и верхним концентрационными пределами распространения пламени [6]:

$$m_T = m_i Z, \quad (20)$$

где  $m_i$  – масса испарившаяся, кг.

Находили удельную теплоту сгорания, Дж/кг, по формуле:

$$E_{уд} = \beta \cdot E_{уд0}. \quad (21)$$

Определяли стехиометрический коэффициент при кислороде в реакции сгорания:

					20.03.01.2017.003 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		33

$$k = n_c + \frac{n_H - n_X}{4} - \frac{n_O}{2}, \quad (22)$$

Определяли стехиометрическую концентрацию паров, % (об.), по формуле:

$$C_{ст} = \frac{100}{1 + 4,84\beta}. \quad (23)$$

Концентрацию горючего в смеси  $C_r$  принимали равной стехиометрической.

Эффективный энергозапас горючей смеси, Дж, определяли из соотношения:

$$E = \begin{cases} m_T \cdot E_{уд}, & \text{если } C_r \leq C_{ст} \\ m_T \cdot E_{уд} \cdot \frac{C_{ст}}{C_r}, & \text{если } C_r > C_{ст} \end{cases} \quad (24)$$

Расчетную скорость фронта пламени, м/с, определяли по формуле[6]:

$$u_p = k_1 \cdot m_n^{1/6}, \quad (25)$$

где  $k_1$  – константа,  $k_1 = 43$ .

Видимую скорость фронта пламени, м/с, находили из соотношения:

$$u = \begin{cases} u_p, & \text{если } u_p > 300 \\ 300, & \text{если } u_p \leq 300 \end{cases} \quad (26)$$

Безразмерное расстояние от центра облака рассчитывали по формуле:

$$r_x = \frac{r}{(E/p_0)^{1/3}}, \quad (27)$$

где  $r$  – расстояние от центра облака, м.

Величину безразмерного давления определяли из соотношения[7]:

$$p_x = \begin{cases} \left( \frac{u^2}{C_0^2} \right) \cdot \left( \frac{\sigma - 1}{\sigma} \right) \cdot \left( \frac{0,83}{r_x} - \frac{0,14}{r_x^2} \right), & \text{если } r_x > 0,34 \\ \left( \frac{u^2}{C_0^2} \right) \cdot \left( \frac{\sigma - 1}{\sigma} \right) \cdot \left( \frac{0,83}{0,34} - \frac{0,14}{0,34^2} \right), & \text{если } r_x \leq 0,34 \end{cases} \quad (28)$$

Величину безразмерного импульса фазы сжатия находили из соотношения:

$$I_x = \begin{cases} W(1 - 0,4 \cdot W) \cdot \left( \frac{0,06}{r_x} + \frac{0,01}{r_x^2} - \frac{0,0025}{r_x^3} \right), & \text{если } r_x > 0,34 \\ W(1 - 0,4 \cdot W) \cdot \left( \frac{0,06}{0,34} + \frac{0,01}{0,34^2} - \frac{0,0025}{0,34^3} \right), & \text{если } r_x \leq 0,34 \end{cases} \quad (29)$$

$$W = \frac{u}{C_0} \cdot \left( \frac{\sigma - 1}{\sigma} \right). \quad (30)$$

Размерную величину избыточного давления, Па, определяли по формуле:

$$\Delta p = p_x \cdot p_0, \quad (31)$$

Размерную величину импульса фазы сжатия, Па·с, находили по формуле:

$$I^+ = I_x \cdot p_0^{2/3} \cdot E^{1/3} / C_0. \quad (32)$$

График избыточного давления в случае локальной разгерметизации РВС при быстром сгорании (взрыве) паровоздушной смеси в открытом пространстве представлен на рисунке 2.

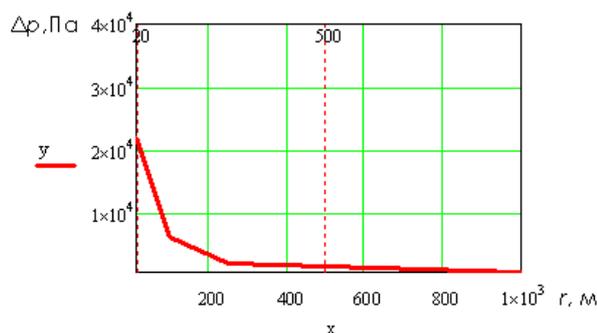


Рисунок 2 – Избыточное давление взрыва при сгорании паровоздушной смеси в случае локальной разгерметизации РВС

График импульса фазы сжатия в случае локальной разгерметизации РВС при быстром сгорании (взрыве) паровоздушной смеси в открытом пространстве представлен на рисунке 3.

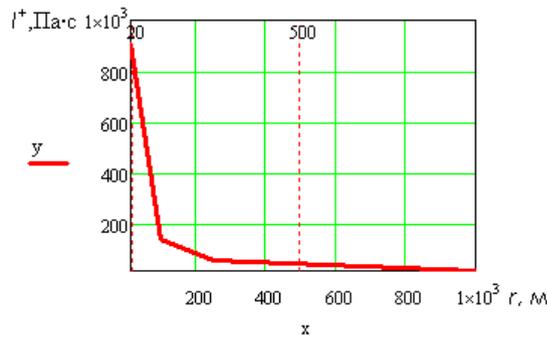


Рисунок 3 – Импульс фазы сжатия при сгорании паровоздушной смеси в случае локальной разгерметизации РВС

График избыточного давления в случае полной разгерметизации РВС без образования волны прорыва при быстром сгорании (взрыве) паровоздушной смеси в открытом пространстве представлен на рисунке 4.

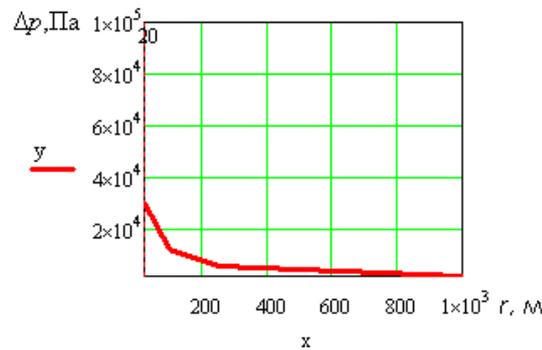


Рисунок 4 – Избыточное давление взрыва при сгорании паровоздушной смеси

График импульса фазы сжатия в случае полной разгерметизации РВС без образования волны прорыва при быстром сгорании (взрыве) паровоздушной смеси в открытом пространстве представлен на рисунке 5.

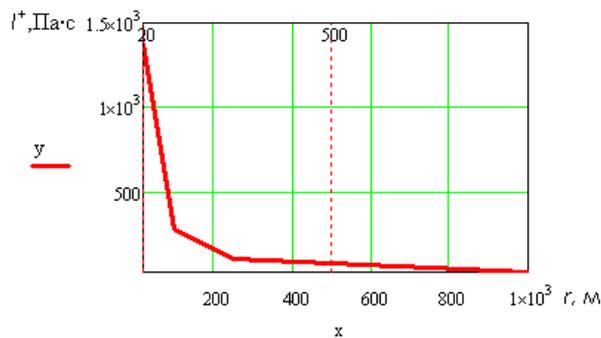


Рисунок 5 – Импульс фазы сжатия при сгорании паровоздушной смеси в случае полного разрушения РВС без образования волны прорыва

График избыточного давления в случае полной разгерметизации РВС с образованием волны прорыва при быстром сгорании (взрыве) паровоздушной смеси в открытом пространстве представлен на рисунке 6.

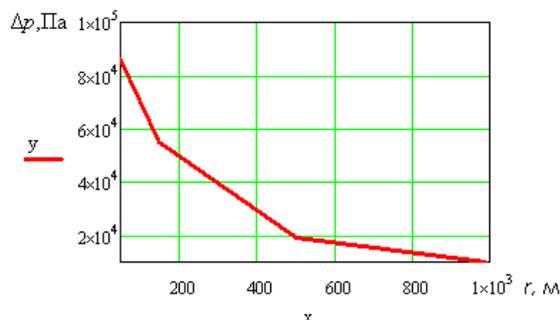


Рисунок 6 – Избыточное давление взрыва при сгорании паровоздушной смеси в случае полного разрушения РВС с образованием волны прорыва

График импульса фазы сжатия в случае полной разгерметизации РВС с образованием волны прорыва при быстром сгорании (взрыве) паровоздушной смеси в открытом пространстве представлен на рисунке 7.

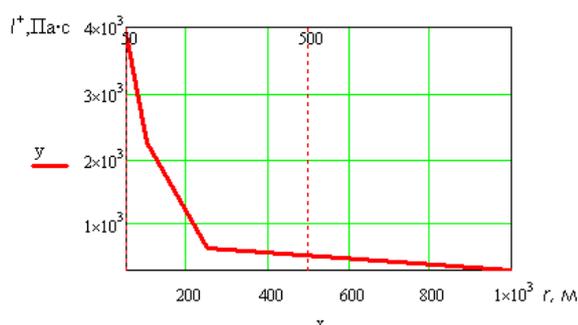


Рисунок 7 – Импульс фазы сжатия при сгорании паровоздушной смеси

#### Прогнозирование размеров зон поражения тепловым излучением пожара

Тепловое воздействие пожара пролива может привести к гибели людей, потере устойчивости соседнего оборудования и возникновению новых очагов пожара. Расчетное определение размеров зон теплового излучения пожара пролива производили в соответствии с методом.

Эффективный диаметр пролива [4]:

$$d = \sqrt{\frac{4F}{\pi}}, \quad (33)$$

где  $F$  – площадь пролива,  $\text{м}^2$ .

Высота пламени:

$$H = 42d \left( \frac{m_y}{\rho_B \sqrt{gd}} \right)^{0,61} . \quad (34)$$

где  $m_y$  – удельная массовая скорость выгорания,  $m_y = 0,06$  кг/(м<sup>2</sup>·с);

$\rho_B$  – плотность воздуха;

$g$  – ускорение свободного падения,  $g = 9,81$  м/с<sup>2</sup>.

Угловой коэффициент облученности [3]:

$$F_q = \sqrt{F_V^2 + F_H^2} , \quad (35)$$

$$F_V = \frac{1}{\pi} \cdot \left[ \frac{1}{S} \cdot \arctg\left(\frac{h}{\sqrt{S^2 - 1}}\right) - \frac{h}{S} \cdot \left\{ \arctg\left(\sqrt{\frac{S-1}{S+1}}\right) - \frac{A}{\sqrt{A^2 - 1}} \cdot \arctg\left(\sqrt{\frac{(A+1) \cdot (S-1)}{(A-1) \cdot (S+1)}}\right) \right\} \right] \quad (36)$$

$$F_H = \frac{1}{\pi} \cdot \left[ \frac{B-1/S}{\sqrt{B^2 - 1}} \cdot \arctg\left(\sqrt{\frac{(B+1) \cdot (S-1)}{(B-1) \cdot (S+1)}}\right) - \frac{(A-1/S)}{\sqrt{A^2 - 1}} \cdot \arctg\left(\sqrt{\frac{(A+1) \cdot (S-1)}{(A-1) \cdot (S+1)}}\right) \right] \quad (37)$$

$$h = 2H / d , \quad (38)$$

$$S = 2r / d , \quad (39)$$

$$A = (h^2 + S^2 + 1) / 2S , \quad (40)$$

$$B = (1 + S^2) / 2S , \quad (41)$$

Коэффициент пропускания атмосферы:

$$\tau = \exp\left[-7,0 \cdot 10^{-4} \left(\sqrt{r - 0,5 \cdot d}\right)\right], \quad (42)$$

где  $r$  – расстояние от геометрического центра пожара пролива до облучаемого объекта, м.

Интенсивность теплового излучения [3]:

					20.03.01.2017.003 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		38

$$q = E_f F_q \tau, \text{ кВт/м}^2, \quad (43)$$

где  $E_f$  – средне поверхностная плотность теплового излучения пламени,

$$E_f = 60 \text{ кВт/м}^2.$$

График интенсивности теплового излучения при горении пролива в случае локальной разгерметизации РВС представлен на рисунке 8.

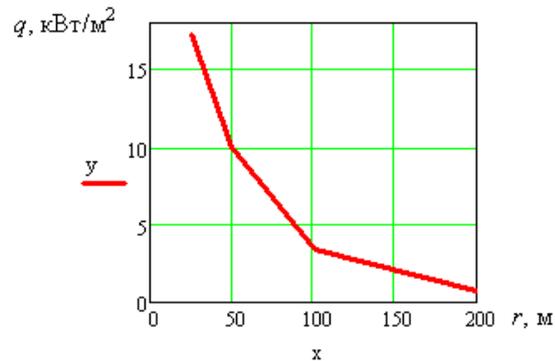


Рисунок 8 – Интенсивность теплового излучения при горении пролива в случае локальной разгерметизации РВС

График интенсивности теплового излучения при горении пролива в случае полного разрушения РВС без образования волны прорыва представлен на рисунке 9.

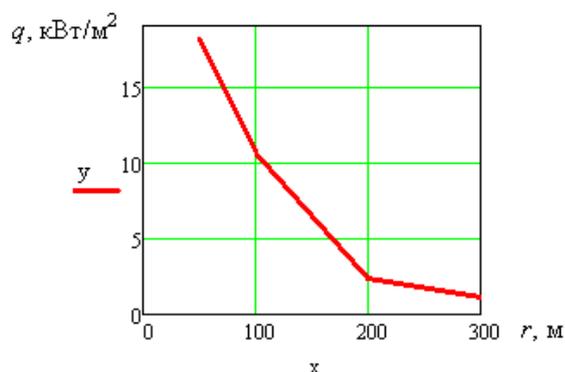


Рисунок 9 – Интенсивность теплового излучения при горении пролива бензина в случае полного разрушения РВС без образования волны прорыва

График интенсивности теплового излучения при горении пролива случае полного разрушения РВС с образованием волны прорыва представлен на рисунке 10.

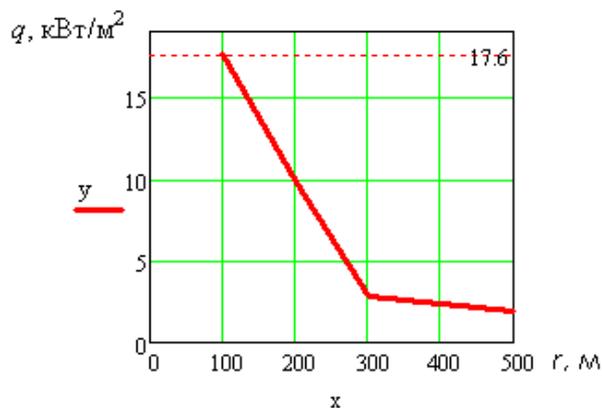


Рисунок 10 – Интенсивность теплового излучения при горении пролива в случае полного разрушения РВС с образованием волны прорыва

#### Определение условной вероятности поражения людей

В качестве вероятностного критерия поражения человека используется понятие пробит-функции. В общем случае пробит-функция описывается формулой [7]:

$$P_r = a + b \cdot \ln S, \quad (44)$$

где  $a$  и  $b$  – константы, зависящие от степени поражения человека и вида объекта;

$S$  – интенсивность воздействующего фактора.

Значения условной вероятности поражения человека рассчитывают по формуле:

$$Q(r) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{Pr-5} \exp\left(-\frac{P_r^2}{2}\right) dx, \quad (45)$$

Соотношения между величиной  $P_r$  и условной вероятностью поражения человека представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Величина пробит – функции  $P_r$  в зависимости от условной вероятностью поражения человека

Условная вероятность поражения, %	Величина пробит-функции $P_r$									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	-	2,67	2,95	3,12	3,25	3,36	3,45	3,52	3,59	3,66
10	3,72	3,77	3,82	3,87	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
-	0,00	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90
99	7,33	7,37	7,41	7,46	7,51	7,58	7,65	7,75	7,88	8,09

Условная вероятность поражения человека при быстром сгорании (взрыве) паровоздушной смеси в открытом пространстве

Для оценки воздействия волны давления на человека, находящегося в здании, использовали пробит-функцию вида [7]:

$$P_r = 5,0 - 0,26 \cdot \ln V, \quad (46)$$

$$V = \left( \frac{17500}{\Delta p} \right)^{8,4} + \left( \frac{290}{I^+} \right)^{9,3}. \quad (47)$$



График условной вероятности поражения человека, находящегося в здании, при быстром сгорании (взрыве) паровоздушной смеси в открытом пространстве в случае полного разрушения РВС с образованием волны прорыва представлен на рисунке 13.

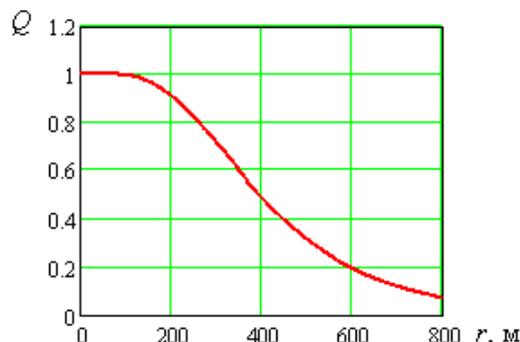


Рисунок 13 – Условная вероятность поражения человека, находящегося в здании, при быстром сгорании (взрыве) паровоздушной смеси в открытом пространстве в случае полного разрушения РВС с образованием волны прорыва

Условная вероятность поражения человека тепловым излучением пожара пролива, для оценки поражения человека тепловым излучением пожара пролива использовали пробит-функцию вида [7]:

$$P_r = -12,8 + 2,56(t_s \cdot q^{4/3}) \quad (48)$$

Величина эффективного времени экспозиции  $t_s$  определяется по формуле:

$$t_s = t_0 + x/u \quad (49)$$

где  $t_0$  – характерное время, за которое человек обнаруживает пожар и принимает решение о своих дальнейших действиях, допускается принимать равным 5 с;

$x$  – расстояние от места расположения человека до безопасной зоны (зона, где интенсивность теплового излучения меньше 4 кВт/м<sup>2</sup>;

$u$  – средняя скорость движения человека к безопасной зоне, допускается

принимать равной 5 м/с.

Для определения расстояние  $x$  применялся метод последовательных приближений. Условная вероятность поражения человека, попавшего в зону непосредственного воздействия пламени пожара пролива принимается равной 1.

График условной вероятности поражения человека тепловым излучением пожара пролива в случае локальной разгерметизации РВС представлен на рисунке 14.

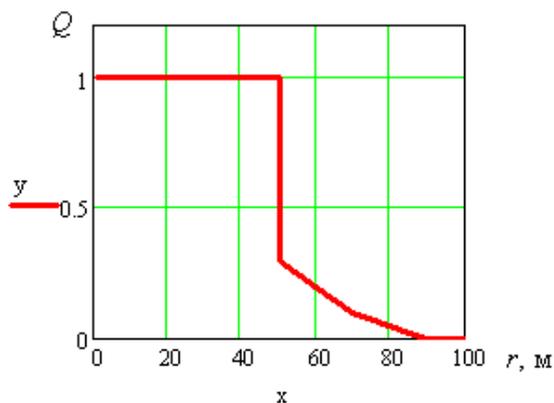


Рисунок 14 – Условная вероятность поражения человека тепловым излучением пожара пролива в случае локальной разгерметизации РВС

График условной вероятности поражения человека тепловым излучением пожара пролива в случае полного разрушения РВС без образования волны прорыва представлен на рисунке 15.

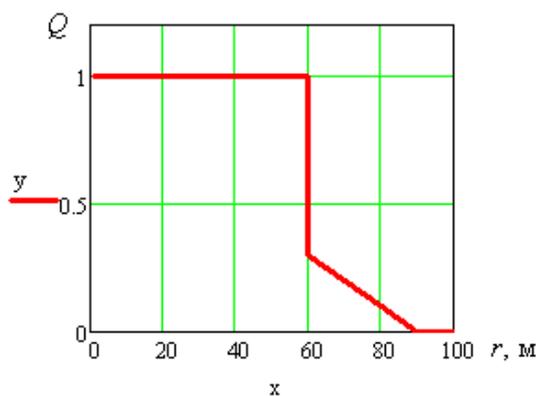


Рисунок 15 – Условная вероятность поражения человека тепловым излучением пожара пролива в случае полного разрушения РВС без образования волны

График условной вероятности поражения человека тепловым излучением пожара пролива в случае полного разрушения РВС с образованием волны прорыва представлен на рисунке 16.

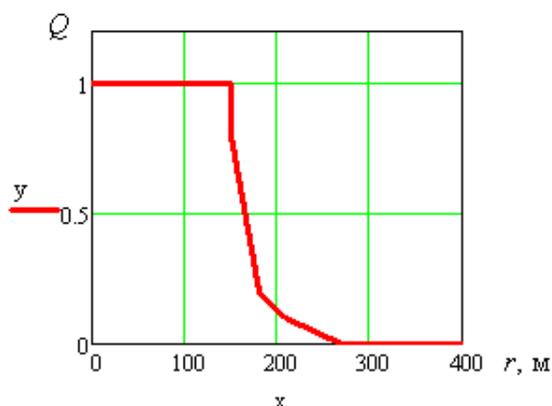


Рисунок 16 – Условная вероятность поражения человека тепловым излучением пожара пролива в случае полного разрушения РВС с образованием волны прорыва

Условная вероятность поражения человека тепловым излучением пожара – вспышки. Для пожара – вспышки принимают, что условная вероятность поражения человека, попавшего в зону воздействия высокотемпературными продуктами сгорания паровоздушного облака, равна 1, за пределами этой зоны условная вероятность поражения человека принимают равной 0.

Потенциальный пожарный риск. Величину потенциального пожарного риска (год<sup>-1</sup>) (далее – потенциальный риск) в определенной точке ( $r$ ) на территории объекта и в селитебной зоне вблизи объекта определяли по формуле [7]:

$$P(r) = \sum_{j=1}^J Q_{dj}(r) \cdot Q_j, \quad (50)$$

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

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

В необходимых случаях оценка условной вероятности поражения человека проводилась с учетом совместного воздействия более чем одного опасного фактора. Условную вероятность поражения человека  $Q_{dj}(r)$  от совместного независимого воздействия несколькими опасными факторами в результате реализации  $j$ -го сценария развития пожароопасных ситуаций определяли по формуле [7]:

$$Q_{dj}(r) = 1 - \prod_{k=1}^h (1 - Q_{djk}(r)), \quad (51)$$

где  $h$  – число рассматриваемых опасных факторов;

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

График распределения потенциального риска в зависимости от расстояния от РВС представлен на рисунке 17.

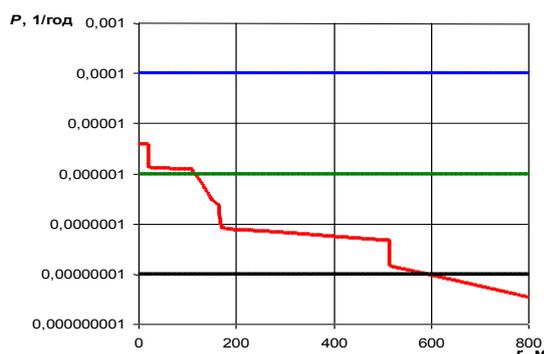


Рисунок 17 – Потенциальный пожарный риск

## 2.5 Возможные источники зажигания

На территории парка имеются постоянно действующие или могут возникнуть потенциально возможные источники зажигания.

Постояннодействующие источники зажигания:

- 1) Лучистое тепло, искры и пламя при проведении огневых ремонтных работ на ремонтной площадке.
- 2) Высоко нагретая поверхность обрабатываемого материала на ремонтной площадке.
- 3) Искры удара и трения при выполнении работ на ремонтной площадке.

4) Разряды статического электричества в резервуарах и других емкостях при перекачке нефтепродуктов.

Потенциально возможные источники зажигания:

1) разряды молний и их вторичные проявления;  
2) тепловое проявление электрической энергии в электрооборудовании;  
3) самовозгорание пиррофорных отходов и отложений;  
4) искры удара и трения при техническом обслуживании и ремонте технологического оборудования;

5) разряды статического электричества при обслуживании технологического оборудования;

б) занос искр с соседних объектов;

7) источник зажигания, появившийся в результате нарушений обслуживающим персоналом правил пожарной безопасности;

8) источник зажигания, появившийся в результате действий проникших на объект посторонних лиц, диверсионных актов или иных преднамеренных действий [16].

## 2.6 Пути распространения пожара

Начавшийся пожар на территории резервуарного парка может быстро распространиться, чему способствуют следующие причины и условия:

- наличие большого количества нефтепродуктов в резервуарах и трубопроводах, а также образование зон ВОК даже при нормальном режиме эксплуатации резервуаров;

- появление в процессе пожара факторов, ускоряющих его развитие (разрушение оборудования в очаге пожара, вскипание нефти);

- наличие путей распространения огня и раскаленных продуктов горения, к которым относятся:

а) работающие неполным сечением трубопроводы;

б) дыхательные линии при наличии в них ВОК;

					20.03.01.2017.003 ПЗ ВКР	Лист
						47
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- в) тепловое излучение пламени пожара;
- г) промышленная канализация при затекании в нее нефти;
- д) поверхность разлившейся нефти;
- е) горючая паровоздушная смесь (горючее облако);
- ж) грунт, пропитанный нефтью;
- з) горящая волна прорыва.

Основные направления ограничения развития начавшегося пожара в резервуарном парке следующие:

- применение автоматических установок пожарной сигнализации и пожаротушения;
- организация с помощью технических средств, включая автоматические установки, своевременного оповещения о пожаре;
- проведение учений с целью отработки действий обслуживающего персонала на пожаре и привития навыков пользования первичными средствами пожаротушения;
- поддержание в работоспособном состоянии первичных средств пожаротушения;
- поддержание в работоспособном состоянии систем противопожарного водоснабжения;
- устройство блокировок, препятствующих при пожаре в резервуарном парке проведению операций, способных привести к его развитию;
- устройство системы аварийной откачки нефти из резервуара;
- ликвидация путей распространения огня и раскаленных продуктов горения, что достигается следующими способами и техническими решениями:

- а) исключением возможности размещения в противопожарных разрывах горючих веществ или материалов;
- б) устройством на резервуаре легко сбрасываемой крыши;
- в) защитой коммуникаций огнепреграждающими устройствами;
- г) защитой промышленной канализации гидрозатворами;
- д) устройством защитной стены вокруг резервуара;

					20.03.01.2017.003 ПЗ ВКР	Лист
						48
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- е) планировкой территории с уклоном в сторону сливных трапов и люков;
- ж) применением быстродействующих отсекающих, отключающих и других устройств на производственных коммуникациях;
- з) устройством отводных каналов и амбаров для сбора нефти;
- и) очисткой аппаратов, коммуникаций и территории от горючих отходов и отложений, сухой травы и др.

Проведенный анализ пожарной опасности процесса хранения нефти в резервуаре типа РВС показывает, что:

- взрывоопасная концентрация паров в резервуаре образуется в летнее время года;
- выход паровоздушной смеси из резервуара при нормальном режиме эксплуатации или испарение нефти с поверхности аварийного разлива приводит к образованию зон ВОК в летнее время года;
- в течение 1 часа испаряется часть нефти, разлившейся на производственной площадке при аварийной разгерметизации оборудования;
- наиболее опасной является аварийная ситуация сквазимгновенным разрушение резервуара, т.к. при этом вся содержащаяся в резервуаре нефть практически мгновенно выходит наружу, перехлестывает через обвалование (или разрушает его) и разливается далеко за пределами территории резервуарного парка [8].

## 2.7 Определение категории по взрывопожарной пожарной опасности

Правильный выбор категории производственных помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности позволяет установить оптимальное соотношение между безопасностью производства и размером капитальных затрат на его проектирование, строительство, монтаж и эксплуатацию [17].

Температура воздуха внутри здания нефтенасосной,  $t_b=20^{\circ}\text{C}$ , помещение оборудовано приточной, вытяжной и аварийной вентиляцией кратностью  $K=10$ .

					20.03.01.2017.003 ПЗ ВКР	Лист
						49
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

За аварийную ситуацию примем разрушение напорного трубопровода магистрального насоса. В результате аварии в помещение нефтенасосной поступит нефть за счёт работы насоса и нефти находящейся в трубопроводах [5]:

$$m_{жк} = m_{1\tau_3} + m_{2\tau_3} = (q \cdot \tau_3 + V_{тр}) \cdot \rho_{жк}, \text{ кг}, \quad (52)$$

где  $m_{1\tau_3}$  и  $m_{2\tau_3}$  – масса нефти, вышедшая из трубопроводов соответственно до и после их отключения, кг;

$\rho_{жк}$  – плотность жидкости,  $\rho_{жк}=830 \text{ кг/м}^3$ ;

$q$  – производительность нефтенасоса,  $q=2,78 \text{ м}^3/\text{с}$ ;

$\tau_3$  – время отключения задвижки в автоматике,  $\tau_3=3 \text{ с}$ ;

$V_{тр}$  – объём трубопроводов, определяем по формуле [5]:

$$V_{тр} = f_{мп} \cdot (l_{вс} + l_{нач}) = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot (l_{вс} + l_{нач}), \text{ м}^3, \quad (53)$$

$$V_{тр} = \frac{3,14 \cdot 1,02^2}{4} \cdot (12 + 15) = 22,05 \text{ м}^3.$$

Подставляя значения  $V_{тр}$  и других известных величин, получаем:

$$m_{жк} = (2,78 \cdot 3 + 22,05) \cdot 830 = 25223,7 \text{ м}^3.$$

В помещение насосной в результате аварии выйдет и разольётся на её полу 25223,7 кг нефти  $\approx 25$  тонн.

Исходя из того, что 1 литр нефти (ЛВЖ) разливается на 1 м<sup>2</sup> площади пола помещения, определяем максимально возможную площадь разлива испарения нефти, поступившей в помещение нефтенасосной по формуле:

$$F_u = f_p \cdot \frac{m_{жк}}{\rho_{жк}}, \text{ м}^2, \quad (54)$$

где  $f_p$  – переводной коэффициент.

$$F_u = 1000 \cdot \frac{25223,7}{830} = 30390 \text{ м}^2.$$

Площадь испарения нефти в нефтенасосной принимаем равной площади пола помещения [5]:

$$F'_u = F_{ном} = 24 \cdot 18 = 432 \text{ м}^2.$$

					20.03.01.2017.003 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		50

Определяем интенсивность испарения нефти:

$$W_u = 10^{-6} \cdot \eta \cdot \sqrt{M} \cdot P_s, \quad (55)$$

где  $\eta$  – коэффициент, зависящий от температуры и скорости движения воздуха;

$M$  – молекулярная масса нефти, задана на НПС;

$P_s$  – давление насыщенных паров нефти.

$$W_u = 10^{-6} \cdot 2,4 \cdot \sqrt{196} \cdot 25,8 = 8,76 \cdot 10^{-4}, \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с}).$$

Определяем время полного испарения нефти  $\tau_u$ , разлившейся на полу нефтенасосной в результате аварии:

$$\tau_u = \frac{m_{\text{жс}}}{W_u \cdot F_u}, \text{ с},$$

где все величины известны – определены выше, отсюда:

$$\tau_u = \frac{25223,7}{8,67 \cdot 10^{-4} \cdot 432} = 30213 \text{ с} = 8,3 \text{ ч},$$

$\tau_u = 30213 \text{ с} > 3600 \text{ с}$ , поэтому для дальнейших расчётов принимаем длительность испарения нефти –  $\tau_p = 3600 \text{ с}$ .

Определяем массу паров нефти, образующихся и поступающих в помещение насосной при испарении с поверхности разлива (площади пола) [5]:

$$m = W \cdot F_g' \cdot \tau_p, \quad (56)$$

$$m = 8,76 \cdot 10^{-4} \cdot 432 \cdot 3600 = 1348,3 \text{ кг}.$$

Определяем массу паров нефти с учётом работы аварийной вентиляции, обеспеченной резервными вентиляторами, автоматическим пуском при превышении ПДВК (предельно допустимой взрывобезопасной концентрации) и электроснабжением по первой категории надёжности (ПУЭ) [5]:

$$m' = \frac{m}{k} = \frac{m}{\frac{A_v \cdot \tau_p}{3600} + 1}, \quad (57)$$

где  $A_v$  – кратность аварийной вентиляции;

$$m' = \frac{1348,3}{\frac{10 \cdot 3600}{3600} + 1} = 122,5 \text{ кг}.$$

					20.03.01.2017.003 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		51

Определяем массу паров нефти, участвующих в образовании реальных зон взрывоопасных концентраций по формуле:

$$m'' = m' \cdot z, \quad (58)$$

где  $z$  – коэффициент участия горючего вещества во взрыве,  $z=0,3$ .

$$m'' = 122,5 \cdot 0,3 = 36,7 \text{ кг.}$$

Определяем свободный объём помещения нефтенасосной[5]:

$$V_{св} = 0,8 \cdot V_{пом}, \quad (59)$$

где  $V_{пом}$  – геометрический объём помещения нефтенасосной.

$$V_{пом} = 24 \cdot 18 \cdot 9 = 3888 \text{ м}^3.$$

$$V_{св} = 0,8 \cdot 3888 = 3110,4 \text{ м}^3.$$

Определяем плотность паров нефти:

$$\rho_n = \frac{M}{V_0 \cdot (1 + 0,00367 \cdot t_p)}, \text{ кг/м}^3, \quad (60)$$

где  $M$  – молярная масса паров нефти,  $M=96$  кг/кмоль;

$V_0$  – молярный объём паров,  $V_0=22,413$  м<sup>3</sup>/кмоль;

$t_p$  – расчётная температура,  $t_p=61$ °С.

$$\rho_n = \frac{96}{22,413 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 61)} = \frac{96}{27,43} = 3,5 \text{ кг/м}^3.$$

Определяем стехиометрическую концентрацию паров нефти [5]:

$$C_{cm} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot \beta}, \quad (61)$$

где  $\beta$  – стехиометрический коэффициент кислорода в реакции горения,

$$\beta = n_c + \frac{n_H - n_x}{4} - \frac{n_o}{2}, \quad (62)$$

где  $n_c$ ;  $n_H$ ;  $n_K$ ;  $n_o$  – число атомов С, Н, галоидов, О в молекуле горючего,  $n_c=3$ ;  $n_H=8$ ;  $n_K=0$ ;  $n_o=0$ .

$$\beta = 3 + \frac{8 - 0}{4} - \frac{0}{2} = 5,$$

$$C_{cm} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot 5} = 2 \text{ \% (об).}$$

Определяем по полученным выше данным избыточное давление взрыва паров нефти в помещении магистральной нефтенасосной по формуле [4]:

$$\Delta P = (P_{\max} - P_0) \cdot \frac{m' \cdot z}{V_{св} \cdot \rho_n} \cdot \frac{100}{C_{ст}} \cdot \frac{1}{K_n}, \quad (63)$$

где  $p_{\max}$  – максимальное давление взрыва стехиометрической паровоздушной смеси в замкнутом объёме,  $p_{\max}=900$  кПа;

$p_0 = 101$  кПа – начальное давление;

$K_n = 3$  – коэффициент, учитывающий не герметичность помещения и неадиабатичность процесса горения.

$$\Delta P = (900 - 101) \cdot \frac{36,7}{3110,4 \cdot 3,5} \cdot \frac{100}{2} \cdot \frac{1}{3} = 44,8 \text{ кПа.}$$

$$\Delta P = 45 \text{ кПа} > 5 \text{ кПа,}$$

Вывод: согласно СП 12.13130-2009 помещение магистральной нефтенасосной НПС по взрывопожарной и пожарной опасности относится к категории А.

					20.03.01.2017.003 ПЗ ВКР	Лист
						53
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

### 3 ПРОВЕРКА СООТВЕТСТВИЯ ТРЕБОВАНИЯМ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Таблица 9 – Проверка соответствия

Что проверяется	Принято, м	Требуется, м	Ссылка на пункты	Вывод
Расстояние от зданий и сооружений до:				
– зданий и сооружений соседних предприятий				
– лесных массивов:	-	40(100)	Табл.2 п. 2.1	Соотв.
а) хвойных и смешанных пород				
б) лиственных пород	-	50		Соотв.
– складов: лесных материалов, торфа, волокнистых веществ, сена, соломы, а также участков открытого залегания торфа	-	20	Табл.2 п. 2.1 Табл.2 п. 2.1	Соотв.
– железных дорог общей сети:				
а) на станциях	-	100		Соотв.
б) на разъездах				
в) на перегонах	-	100		Соотв.
– автомобильных дорог общей сети	-	70	Табл.2 п.	Соотв.
– жилых и общественных зданий	-	50	2.1	Соотв.
– раздаточных колонок АЗС общего пользования	-	50		Соотв.
– гаражей и открытых стоянок	-	100(200)	Табл.2 п. 2.1	Соотв.
– очистных канализационных сооружений и насосных станций, не относящихся к складу	-	30	Табл.2 п.	Соотв.
– водопроводных сооружений, не относящихся к складу	-	40(100)	2.1 Табл.2 п. 2.1	Соотв.
	-	100	Табл.2 п. 2.1	Соотв.
	-	150	Табл.2 п. 2.1 Табл.2 п. 2.1	Соотв.

Продолжение таблицы 9

Что проверяется	Принято, м	Требуется, м	Ссылка на пункты	Вывод
Расстояние от наземных резервуаров до:				
– сливноналивных устройств:				
а) для морских и речных судов	55	50	Табл.3 п. 2.5	Соотв.
б) для ж/д и автомобильных цистерн	20	20	Табл.3 п. 2.5	Соотв.
– продуктовых насосных станций	30	15	Табл.3 п. 2.5	Соотв.
– складских зданий	33	20	Табл.3 п. 2.5	Соотв.
– водопроводных и противопожарных насосных станций, противопожарных резервуаров, водоемов	60	40	Табл.3 п. 2.5	Соотв.
– зданий и сооружений с производственными процессами с применением открытого огня, гаражей				
– зданий пожарных депо, административных и бытовых зданий	45	40	Табл.3 п. 2.5	Соотв.
– края проезжей части внутренних автомобильных дорог и проездов	15	15	Табл.3 п. 2.5	Соотв.
– прочих зданий и сооружений	25	20	Табл.3 п. 2.5	Соотв.
<u>Расстояние от сливноналивных устройств до:</u>				
– продуктовых насосных станций	50	50	Табл.4 п. 2.7	Соотв.
– открытых площадок для хранения нефтепродуктов	-	20	Табл.4 п. 2.7	Соотв.
– водопроводных и противопожарных насосных станций	15	15	Табл.4 п. 2.7	Соотв.
– зданий пожарных депо, административных и бытовых зданий	20	20	Табл.4 п. 2.7	Соотв.
– зданий и сооружений с производственными процессами с применением открытого огня	40	40	Табл.4 п. 2.7	Соотв.
– ограждения территории склада	25	15	п. 2.12	Соотв.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

20.03.01.2017.003 ПЗ ВКР

Лист

55

Продолжение таблицы 9

Что проверяется	Принято, м	Требуется, м	Ссылка на пункты	Вывод
Расстояние между резервуарами:				
а) с плавающей крышей				
– 50000 м <sup>3</sup> и более	-	30	п. 3.2	Соотв.
– менее 50000 м <sup>3</sup>	-	0,5d<x<30		Соотв.
б) с понтоном				
– 50000 м <sup>3</sup>	-	30		Соотв.
– менее 50000 м <sup>3</sup>	-	0,65d<x<30		Соотв.
в) со стационарной крышей	0,75d<x<30	0,75d<x<30		Соотв.
Расстояние между группами резервуаров объемом 400 м <sup>3</sup> и менее	-	15	п. 3.3	Соотв.
Расстояние между резервуарами объемом до 400 м <sup>3</sup> (вкл) и более	-	15	п. 3.3	Соотв.
Расстояние между ближайшими резервуарами в соседних группах:				
а) 20000 м <sup>3</sup> и более	-	-	п. 3.5	Соотв.
б) до 20000 м <sup>3</sup>	-	40		Соотв.
Ширина обвалования	0,5	0,5	п. 3.5	Соотв.
Высота обвалования:				
а) до 10000 м <sup>3</sup>	1,2	1	п. 3.6	Соотв.
б) 10000 м <sup>3</sup> и более	-	1,5		Соотв.
Расстояние от обвалования до резервуаров:				
а) до 10000 м <sup>3</sup>	3	3	п. 3.6	Соотв.
б) 10000 м <sup>3</sup> и более	-	6		Соотв.

## 4 ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПОЖАРНОЙ ЗАЩИТЕ

### 4.1 Оборудование резервуара типа РВС понтоном

На территории площадки НПС «Челябинск» расположены три резервуара с понтоном РВСП-5000 № 31, №32, №35 и один РВС-5000 № 36 без понтона. В качестве одной из рекомендаций по обеспечению пожарной безопасности НПС, предлагается устройство в РВС-5000 понтона [АИ стр. 3].

Одним из технических решений, позволяющих обеспечить эксплуатацию аппаратов и емкостей без образования в них взрывоопасных концентраций паров является применение резервуаров с плавающей крышей и плавающими понтонами. Плавающая на жидкости крыша представляет собой полый диск из стальных листов толщиной 2 – 5мм. Чтобы сделать крышу незатопляемой, она разделена перегородками на ряд отсеков. Диаметр плавающей крыши меньше внутреннего диаметра резервуара. Имеющийся зазор между крышей и стенками резервуара уплотняют специальными затворами, обеспечивающими соответствующую герметичность при перемещениях крыши вверх и вниз[18].

Сравнительная оценка пожарной опасности для резервуаров с различной конструкцией показывает, что применение понтона резко снижает потери от испарения и как следствие этого снижает концентрацию горючих паров в свободном воздушном пространстве резервуара. Для уменьшения скопления паров целесообразно устройство вентиляции над, понтонного пространства резервуара.

Правильный выбор резервуара для хранения нефтепродуктов с учетом местных климатических условий играет большую роль в предотвращении потерь от испарения и возможного пожара.

В качестве проекта конструкции принимаем типовой стальной вертикальный цилиндрический резервуар, который рекомендовано применять для нефти и нефтепродуктов с температурой вспышки – 28°С и ниже.

Понтон представляет собой днище из листовой стали, по периметру которого привариваются два замкнутых кольцевых ребра, которые придают жесткость и

					20.03.01.2017.003 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		57

устойчивость всему понтону во время движения при наливе и сливе нефтепродукта, а также необходимую прочность при повреждении и затоплении центральной части понтона.

Для совместной работы и обеспечения устойчивости кольцевых ребер они соединены между собой радиальными ребрами. Для образования изолированных отсеков радиальные ребра, к которым не привариваются патрубки опорных стоек, привариваются к днищу и к кольцевым ребрам сплошными плотными швами. В нижнем положении понтон опирается на столбики трубчатого сечения. В каждом отсеке и в центре днища предусмотрена возможность слива продукта при течи.

Зазор между понтоном и стенкой резервуара шириной 200 мм перекрывается уплотняющим затвором, который состоит из двух рядов петель. Внутренняя петля одностолбная, а наружная изготавливается из промытых слоев обрезиненного бензостойкого материала. Прикрепляется затвор болтами к уголку, приваренному к наружному кольцевому ребру понтона [11].

Для избежания возможного поворота понтона при его движении используют две диаметрально расположенные трубы, служащие для пропуска резервуарного оборудования.

#### 4.2 Проверочный расчет огнепреградителя

Резервуары являются объектом повышенной пожарной опасности, поэтому они в обязательном порядке оснащаются огнепреградителями. Принцип действия огнепреградителей основан на том, что пламя или искра не способны проникнуть внутрь резервуара через отверстие малого сечения в условиях интенсивного кислорода.

Патрубки дыхательных и предохранительных клапанов резервуаров оснащены сухими огнепреградителями кассетного типа с диаметром каналов 3 мм. Производим проверку фактического диаметра каналов в кассетном огнепреградителе дыхательного устройства резервуара, пламегасящей способности огнепреградителя.

					20.03.01.2017.003 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		58

Основным расчетным параметром огнепреградителя является критический диаметр огнегасящего канала, который определяется по формуле[8]:

$$d_{кр} = 32,5 \cdot \frac{\lambda_{см} \cdot R \cdot T}{C_p \cdot \omega_n \cdot P_p}, \quad (64)$$

где  $\lambda_{см}$  – коэффициент теплопроводности смеси, Вт/м·К;

$R$  – газовая постоянная;

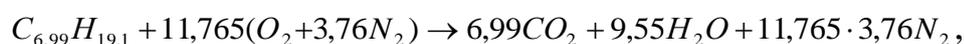
$T$  – температура, К;

$C_p$  – удельная теплоемкость смеси, Дж/кг·К;

$\omega_n$  – скорость распространения пламени, м/с;

$P_p$  – давление паров смеси, Па.

Запишем реакцию горения паров данного вещества:



Определим концентрацию в исходной смеси:

$$\varphi_2 = \frac{1}{1 + 11,765(1 + 3,76)} = 0,018 \text{ об. доли.}$$

Определим коэффициент теплопроводности:

$$\lambda_2 = 0,11 \text{ Вт / м} \cdot \text{К}.$$

Определим коэффициент теплопроводности воздуха при расчетной температуре:

$$\lambda_g = 0,0292 \text{ Вт / м} \cdot \text{К},$$

Определим коэффициент теплопроводности смеси[15]:

$$\lambda_{см} = \varphi_2 \cdot \lambda_2 + (1 - \varphi_2) \cdot \lambda_g, \quad (65)$$

$$\lambda_{см} = 0,018 \cdot 0,11 + (1 - 0,018) \cdot 0,0292 = 0,031 \text{ Вт / м} \cdot \text{К}.$$

Определим удельную теплоемкость:

$$C_{p,2} = 1550 \text{ Дж / кг} \cdot \text{К}.$$

Определим удельную теплоемкость воздуха при расчетной температуре:

$$C_{p,g} = 1006 \text{ Дж / кг} \cdot \text{К}.$$

Определяем удельную теплоемкость смеси:

$$C_p = \varphi_2 \cdot C_{p,2} + (1 - \varphi_2) \cdot C_{p,g}, \quad (66)$$

					20.03.01.2017.003 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		59

$$C_p = 0,018 \cdot 1550 + (1 - 0,018) \cdot 1006 = 1015,792 \text{ Дж / кг} \cdot \text{К}.$$

Определим газовую постоянную для смеси [15]:

$$R = \frac{8314,31}{\varphi_z \cdot M + (1 - \varphi_z) \cdot M_g}, \quad (67)$$

$$R = \frac{8314,31}{0,018 \cdot 97 + (1 - 0,018) \cdot 29} = 275,09.$$

где  $M$  – молекулярная масса данного вещества;

$M_g$  – молекулярная масса воздуха, ( $M_g = 29$ ).

Определим критический диаметр канала:

$$d_{кр} = 32,5 \cdot \frac{0,031 \cdot 275,09 \cdot 315}{1015,792 \cdot 0,5 \cdot 101325} = 0,0018 \text{ м}.$$

Проверочные расчеты показали, что установленные на патрубках резервуаров кассетные огнепреградители с фактическим диаметром каналов 3 мм не препятствуют распространению пламени по нефтепаровоздушным смесям.

Безопасный (гасящий) диаметр составит [15]:

$$d = 0,5 \cdot d_{кр}, \quad (68)$$

$$d = 0,5 \cdot 0,0018 = 0,0009 \text{ м}.$$

Во всех огнепреградителях необходимо установить кассеты с фактическим диаметром каналов не более 0,9 мм.

#### 4.3 Устройство ограждающей стены с отбойным козырьком

При определении геометрических параметров защитной стенки используем методику, изложенную в ГОСТ Р 53324-2009 «Ограждения резервуаров. Требования пожарной безопасности». Ограждающая стена с отбойным козырьком является одним из наиболее эффективных технических решений, способных предотвратить последствия гидродинамической аварии в резервуарном парке – истечение нефтепродукта при внезапном полном разрушении резервуара в виде волны прорыва. Диапазон изменения параметров:

$$100 \leq V_H \leq 30000,$$

										Лист
										60
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	20.03.01.2017.003 ПЗ ВКР					

$$3 \leq L \leq 30,$$

где  $V_n$  – номинальный объём резервуара, м<sup>3</sup>;

$L$  – расстояние от ограждающей стены до стенки резервуара, м.

Высоту ограждающей стены  $H_c$  рассчитывали по формуле [15]:

$$\frac{H_c}{K_3 H_{ж}} = -0,0664 \frac{a_1^2}{\sqrt{a_2}} + 0,0871 \sqrt{\frac{a_1}{a_2}} + 0,0639 \frac{a_1}{a_2}, \quad (69)$$

где  $K_3$  – коэффициент запаса, который рекомендуется принимать равным 1,1 для резервуаров вместимостью не более 5000 м<sup>3</sup> и равным 1,2 для резервуаров большей вместимости;

$a_1, a_2$  – переменные, зависящие от длины вылета отбойного козырька ( $b$ , м) и расстояния от центра резервуара до ограждающей стены ( $L_1$ , м),  $a_1 = f_1 \cdot (b / H_{ж})$ ,  $a_2 = f_2 \cdot (L / R_p)$ ;

$$a_1 = 15,2 \left( \frac{b}{H_{ж}} \right) + 0,485 = 15,2 \left( \frac{1,0}{10,87} \right) + 0,485 = 1,89,$$

где 1,0 – длина вылета отбойного козырька;

10,87 – максимальный уровень жидкости в резервуаре, м.

$$a_2 = \lg \left( \frac{L}{R_8} \right) = \lg \left( \frac{15,2}{11,4} \right) = 0,3,$$

где 15,2 – расстояние от ограждающей стены до стенки резервуара;

11,4 – радиус аварийного резервуара, м.

$$\frac{H_c}{1,1 \cdot 10,87} = -0,0664 \frac{1,89^2}{\sqrt{0,3}} + 0,0871 \sqrt{\frac{1,89}{0,3}} + 0,0639 \frac{1,89}{0,3}$$

Из полученного выражения следует, что высота ограждающей стены равна:  
 $H_c = 2,04$  м.

					20.03.01.2017.003 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		61

#### 4.4 Оборудование АУПТ

Нефтенасосная НПС оборудована автоматической установкой пенного пожаротушения с ручным и автоматическим пуском. В системе автоматического электропуска применены тепловые автоматические пожарные извещатели .

Данные извещатели хотя и рекомендуются для подобных помещений, но имеют большую инерционность (60 с). Для помещения нефтенасосной, нами предложено Модульную установку Буран 8В общее количество составит 41 шт, извещатели пламени Спектрон – 202 по два в каждом помещении и газоанализаторы по одному в каждом помещении в исполнении ВЗГ [16].

Расчет требуемого количества модулей пожаротушения.

Количество модулей определяется в соответствии с приложением И к СП 5.13130.2009 по формуле для защиты площади помещения [15]:

$$N = \frac{S}{S_m} k_1 k_2 k_3 k_4 \quad (70)$$

где  $S$  – площадь защищаемого помещения,  $m^3$ ,

$S_m$  – площадь защищаемый одним модулем,  $m^3$ .

Расчет количества модулей начинается с определения всех коэффициентов.

Коэффициент неравномерности распыления порошка  $k_1$  в рамках данной работы допускается принять равным 1,1.

Для того чтобы найти коэффициент  $k_2$  необходимо определить отношение площади по формуле:

$$\frac{S_3}{S_y} = \frac{60}{25 * 18} = 0,13 < 0,15,$$

где  $S_3$  – площадь затенения,  $m^2$ ;

$S_y$  – площадь защищаемого помещения,  $m^2$ .

					20.03.01.2017.003 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		62

Поскольку полученное значение  $S_3/S_y < 0,15$  то коэффициент запаса, учитывающий затененность возможного очага загорания определим по формуле:

$$k_2 = 1 + 1.33 \times 0.13 = 1.17.$$

Коэффициент  $k_3$ , учитывающий изменение огнетушащей эффективности используемого порошка по отношению к горючему веществу в защищаемой зоне по сравнению с бензином АИ-92. Поскольку определение данного коэффициента требует сведения о классах пожара, которые могут быть потушены применяемым порошком, то в качестве огнетушащих модулей примем МПП «Буран-8В», которые согласно техническим характеристикам используются для тушения пожаров класса А, В, Е. Тогда для горючей нагрузки в виде резинотехнических изделий коэффициент  $k_3$  примем равным 1,0, как для резины [15].

Для нахождения коэффициента  $k_4$  определим отношение суммарной площади постоянно открытых проемов  $F_{\text{нег}}$  к общей поверхности помещения размерами  $25 \times 18 \times 3.5$

$$f = \frac{F_{\text{нег}}}{F_{\text{пом}}} = \frac{F_{\text{нег}}}{2((L+B)H+LB)} = \frac{0,9}{2*((25+18)*3,5+25*18)} = 0,00074937, \quad (71)$$

Тогда коэффициент  $k_4$  по формуле будет равен:

$$k_4 = 1 + 10 \cdot f = 1 + 10 \cdot 0,00074937 = 1.0074937.$$

Произведем расчет требуемого количества модулей ««Буран-8В»» для тушения пожара по площади. Следует учесть, что поскольку пожар будет относиться к классу А, В, Е то согласно техническим характеристикам выбранного модуля площадь, защищаемая одним модулем принимается равной  $24 \text{ м}^2$ , тогда по формуле [15]:

$$N = \frac{S}{S_m} k_1 k_2 k_3 k_4 = \frac{25 \cdot 18}{24} \cdot 1 \cdot 1.17 \cdot 1 \cdot 1.0074937 = 33.15.$$

					20.03.01.2017.003 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		63

Округляя в большую сторону, получим 34 модулей. Полная масса заряженного модуля 12 кг.

Находим количество модулей для маслонасосной, определяется в соответствии приложением И к СП 5.13130.2009 по формуле для защиты площади помещения.

Для того чтобы найти коэффициент  $k_2$  необходимо определить отношение площади по формуле:

$$\frac{S_3}{S_y} = \frac{12}{10 * 9} = 0,13 < 0,15,$$

где  $S_3$  – площадь затенения,  $m^2$ ,

$S_y$  – площадь защищаемого помещения,  $m^2$ .

Поскольку полученное значение  $S_3/S_y < 0,15$  то коэффициент запаса, учитывающий затененность возможного очага загорания определим по формуле:

$$k_2 = 1 + 1.33 \cdot 0.13 = 1.17.$$

Коэффициент  $k_3$ , учитывающий изменение огнетушащей эффективности используемого порошка по отношению к горючему веществу в защищаемой зоне по сравнению с бензином АИ-92.

Поскольку определение данного коэффициента требует сведения о классах пожара, которые могут быть потушены применяемым порошком, то в качестве огнетушащих модулей примем МПП «Буран-8В», которые согласно техническим характеристикам используются для тушения пожаров класса А, В, Е. Тогда для горючей нагрузки в виде резинотехнических изделий коэффициент  $k_3$  примем равным 1,0, как для резины.

Для нахождения коэффициента  $k_4$  определим отношение суммарной площади постоянно открытых проемов  $F_{\text{нег}}$  к общей поверхности помещения размерами 10 x 9 x 3.5.

					20.03.01.2017.003 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		64

$$f = \frac{F_{\text{нег}}}{F_{\text{пом}}} = \frac{F_{\text{нег}}}{2((L+B)H + LB)} = \frac{0,9}{2 \cdot ((10+9) \cdot 3,5 + 10 \cdot 9)} = 0,002875,$$

Тогда коэффициент  $k_4$  по формуле будет равен:

$$k_4 = 1 + 10 \cdot f = 1 + 10 \cdot 0,002875 = 1,002875.$$

Произведем расчет требуемого количества модулей ««Буран-8В»» для тушения пожара по площади. Следует учесть, что поскольку пожар будет относиться к классу А,В, Е то согласно техническим характеристикам выбранного модуля площадь, защищаемая одним модулем принимается равной 24 м<sup>2</sup>, тогда по формуле:

$$N = \frac{S}{S_m} k_1 k_2 k_3 k_4 = \frac{10 \cdot 9}{24} \cdot 1 \cdot 1,17 \cdot 1 \cdot 1,002875 = 6,60.$$

Округляя в большую сторону, получим 7 модулей. Полная масса заряженного модуля 12кг.

На помещении: насосный зал, электрозал, маслонасосная потребуется 41 модулей.

Для защиты помещений: насосный зал, электрозал, маслонасосная установлены пламенные извещатели. В каждом помещении размещено по 2 шт.

Спектрон-202 представлен на рисунке 18.



Рисунок 18 - Спектрон-202

						20.03.01.2017.003 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			65



Стационарный газоанализатор представлен на рисунке 19.



Рисунок 19 – Стационарный газоанализатор «Эрис-оптима плюс»

Обнаруживаемые газы: пары нефти и нефтепродуктов (дизельное топливо, бензин, уайт – спирт, вакуумный газойль, мазут и др.), горючие газы (метан, бутан, гексан, этилен, бензол и др.):

Выход аналоговый: 4-20 мА;

Выход цифровой HART; RS485 Modbus;

Релейные выходы (Порог1, Порог2, Авария);

Технология ИК – поглощения и двойной компенсации;

Рабочая температура от – 60°С до +65°С;

Стандартная гарантия 2 года. Возможно расширение гарантии до 8 лет;

Время отклика менее 5 с;

Возможность изменения времени рабочего цикла [5].

#### 4.5 Устройство системы аварийного слива

Аварийный слив огнеопасных жидкостей из технологических аппаратов и трубопроводов, или даже из небольших помещений, оказавшихся в опасной зоне является одним из способов предотвращения развития пожара и превращения его в крупный пожар.

Учитывая, что в помещении магистральной нефтенасосной НПС в технологическом процессе перекачивается легковоспламеняющаяся жидкость – нефть, поступление которой в зону пожара может резко осложнять обстановку, то, что насосные агрегаты имеют большой объем перекачиваемой нефти и другое, что будет рассмотрено ниже, приходим к выводу, что нефтенасосную необходимо

					20.03.01.2017.003 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		67

оборудовать системой аварийного слива нефти, слив нефти предусмотреть (осуществлять) самотёком в аварийный резервуар, расположенный за пределами здания насосной [2].

В случае аварии, как показали расчёты, в помещение магистральной нефтенасосной поступит большое количество нефти – 25223,7 кг  $\approx$  25 тонн. Это количество нефти при разливе может занять большую площадь – 30390 м<sup>2</sup>, создать угрозу возникновения и распространения пожара на соседние НПС.

Если даже нефть не выйдет за пределы помещения нефтенасосной, то в этом случае угроза возникновения пожара внутри помещения будет сохраняться очень длительное время, так как время полного испарения разлившейся нефти на площади пола насосного зала будет составлять 12,5 часа. Для удаления нефти из помещения без устройства аварийного слива потребуется неопределённое количество времени (значительное). Если при разрыве напорного трубопровода насосного агрегата произойдёт пожар, то поступление большого количества нефти (25 тонн) в зону горения резко осложнит обстановку. Развитие пожара будет зависеть от характеристики нефти, как ЛВЖ, а именно, нефть имеет температуру пламени – 1100°C, скорость выгорания нефти составляет  $v_{\text{выг}} = 9 - 12$  см/ч, скорость нарастания прогретого слоя – 24 – 34 см/ч, температура прогретого слоя – 130 – 160°C. разливавшаяся нефть займёт объём [5]:

$$V_{\text{жс}} = \frac{m_{\text{жс}}}{\rho_{\text{жс}}}, \text{ м}^3, \quad (72)$$

где  $m_{\text{жс}} = 25223,7$  кг (см. расчет категории);

$\rho_{\text{жс}} = 830$  кг/м<sup>3</sup> – плотность нефти.

Отсюда:

$$V_{\text{жс}} = \frac{25223,7}{830} = 30,39 \text{ м}^3.$$

Определяем свободную площадь насосного зала:

$$F_{\text{св}} = k \cdot V_{\text{ном}}, \quad (73)$$

где  $k = 0,8$  – коэффициент свободной площади, принимаем;

$V_{\text{ном}} = 648$  м<sup>2</sup>.

									Лист
									68
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	20.03.01.2017.003 ПЗ ВКР				

Отсюда:

$$F_{св} = 0,8 \cdot 648 = 518,4 \text{ м}^2,$$

Определяем высоту слоя нефти, разлившейся при аварии в помещении нефтенасосной[5]:

$$h_n = \frac{V_n}{F_{св}}, \quad (74)$$

$$h_n = \frac{30,39}{518,4} = 0,06 \text{ м} = 6 \text{ см}.$$

Высота порога (пандуса) составляет 15 см, следовательно, разлившаяся при расчётной аварии нефть ( $h_n = 6$  см) не выйдет за пределы помещения насосной.

Определяем время выгорания разлившейся при аварии нефти:

$$\tau_{выг} = \frac{h_n}{v_{выг}}, \quad (75)$$

где  $h_n = 6$  см;  $v_{выг} = 12$  см/ч;

Отсюда:

$$\tau_{выг} = \frac{6}{12} = 0,5 \text{ часа}.$$

Так как огнестойкость незащищённых металлических конструкций здания насосной принимаем 15 минут, то за  $\tau_{выг} = 0,5$  часа произойдёт их обрушение, к тому же от теплового воздействия выйдет из строя технологическое оборудование.

Из вышеизложенного следует, что в нефтенасосной необходимо предусмотреть систему аварийного слива нефти с учётом рекомендации.

Для чего в помещении нефтенасосной со стороны насосов вдоль стены на площади пола нужно выполнить бетонную канавку (лоток) для стока нефти при аварии в насосах или трубопроводах с уклоном в сторону проектируемого аварийного резервуара, который необходимо установить на минимальном расстоянии за пределами здания насосной, под землёй, с дыхательной системой, защищённой огнепреградителями, а с целью откачки и быстрого высвобождения

					20.03.01.2017.003 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		69

соединить через насосную системы откачки утечек с резервуарами сброса ударной волны, утечек и дренажа.

Подземный трубопровод – проложить также с односторонним уклоном в направлении аварийной ёмкости, по возможности прямолинейно, без каких-либо задвижек (установка задвижек не допускается), с гидравлическим затвором, который защищает линию аварийного слива от распространения пламени при пожаре в нефтенасосной или аварийном резервуаре [19].

Расчёт системы аварийного слива производим с целью определения фактической продолжительности процесса эвакуации нефти из опасной зоны (помещения нефтенасосной) –  $\tau_{сл}$ , сравнения её с допустимой (нормативной) продолжительностью аварийного режима –  $[\tau_{сл}]$ , которую в большинстве случаев принимают –  $[\tau_{сл}] \leq 900 \text{ с} \leq 15 \text{ мин}$ , а также определения диаметра аварийного трубопровода и объёма аварийной ёмкости.

В качестве определяющего фактора принимаем возможность деформации незащищённых металлических конструкций здания насосной, технологических аппаратов и коммуникаций насосного зала. В этом случае допустимую продолжительность аварийного слива ( $\tau_{сл}$ ) можно принять равной 15 минут исходя из огнестойкости незащищённых металлических конструкций здания нефтенасосной.

Определяем фактическую продолжительность аварийного ( $\tau_{сл}$ ) слива из помещения нефтенасосной по формуле [5]:

$$\tau_{сл} = \tau_{опор} + \tau_{оп} \leq [\tau_{сл}], \quad (76)$$

где  $\tau_{опор}$  – продолжительность опорожнения помещения нефтенасосной от нефти;

$\tau_{оп} \approx 0$  – продолжительность операций по приведению системы аварийного слива нефтенасосной в действие.

Отсюда:  $\tau_{сл} = \tau_{опор} \leq 15 \text{ минут}$ .

Для дальнейших расчётов принимаем  $\tau_{сл} = \tau_{опор} = 10 \text{ минут}$ , исходя из вышеуказанной (с учетом запаса прочности) огнестойкости незащищённых

металлических конструкций нефтенасосной, экономической целесообразности и расчётного времени тушения пожара проектируемой системы автоматического пенного тушения (10 минут).

Определяем диаметр аварийного трубопровода [7]:

$$d_{mp} = 0,758 \cdot \frac{V_{ж}}{\tau_{опор} \cdot \varphi_{сист} \cdot (\sqrt{H_1} + \sqrt{H_2})}, \quad (77)$$

где  $V_{ж}$  – объём разлившейся нефти (сливаемой),  $V_{ж} = 30,39 \text{ м}^3$ ;

$\tau_{опор}$  – время слива разлившейся нефти из помещения нефтенасосной,  $\tau_{опор} = 10 \text{ мин} = 600 \text{ с}$ ;

$H_1$  и  $H_2$ , м – соответственно максимальный и минимальный уровень нефти в помещении нефтенасосной от выходного сечения аварийного трубопровода на входе в аварийную ёмкость –  $H_2$  принимаем равным 1,9 м, тогда с учётом высоты слоя разлившейся нефти  $h_n = 0,06 \text{ м}$ ;

$$H_1 = H_2 + h_n = 1,9 + 0,06 = 1,96, \quad (78)$$

где  $\varphi_{сист}$  – коэффициент расхода системы аварийного слива:

$$\varphi_{сист} = \sqrt{\frac{1}{1 + 3 \cdot \sum \xi_{сист}}}, \quad (79)$$

где  $\sum \xi_{сист}$  – суммарный коэффициент местных сопротивлений системы аварийного трубопровода, определяем по формуле [7]:

$$\sum \xi_{сист} = \xi_{вх} + \xi_2 + \sum \xi_n + \xi_{вых} + \xi_3, \quad (80)$$

где  $\xi_{вх}, \xi_2, \xi_n, \xi_{вых}, \xi_3$  – соответственно коэффициенты местных сопротивлений на входе, гидрозатвора, поворотов, выхода, задвижки.

Аварийный трубопровод имеет вход с плавным закруглением, гидравлический затвор, два плавных поворота под углом ( $R \approx 5 \cdot d_{mp}$ ).

Отсюда величины коэффициентов местного сопротивления равны:  $\xi_{вх} = 0,5$ ;

$\xi_2 = 1,3$ ;  $\xi_n = 0,5$ ;  $\xi_{вых} = 0,5$ ;  $\xi_3 = 0,5$ .

$$\sum \xi_{сист} = 0,5 + 1,3 + 0,5 + 0,5 + 0,5 = 3,2.$$

Тогда коэффициент расхода системы равен:

					20.03.01.2017.003 ПЗ ВКР	Лист
						71
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$\varphi_{сист} = \sqrt{\frac{1}{1+3 \cdot 3,2}} = 0,307.$$

В итоге находим диаметр аварийного трубопровода:

$$d_{мп} = 0,758 \cdot \sqrt{\frac{30,39}{600 \cdot 0,307 \cdot (\sqrt{1,96} + \sqrt{1,9})}} = 0,19 \text{ м} = 190 \text{ мм}.$$

Для аварийного трубопровода принимаем стандартную трубу диаметром 219 мм.

Определяем объём аварийной ёмкости:

$$V_a = \frac{V_{жс}}{\varepsilon}, \quad (81)$$

где  $V_{жс} = 30,39 \text{ м}^3$  - объём сливаемой нефти;

$\varepsilon = 0,8$  для ЛВЖ – степень заполнения аварийной ёмкости нефтью.

Отсюда:

$$V_a = \frac{30,39}{0,8} = 38 \text{ м}^3.$$

Согласно табл. 2 СНиП 23-01-99 Строительная климатология принимаем горизонтальный подземный резервуар (стандартный) объёмом  $50 \text{ м}^3$  для аварийного слива нефти из здания магистральной нефтенасосной [17].

					20.03.01.2017.003 ПЗ ВКР	Лист
						72
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

## 5 ОРГАНИЗАЦИОННО – ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Оценка экономической эффективности предлагаемых в настоящем проекте технических решений произведена на основе сравнения базового и предлагаемого технических решений на примере системы автоматической пожарной сигнализации, сблокированной с системой электропуска существующей автоматической установки пожаротушения магистральной насосной.

Базовый вариант предусматривает действующую систему АПС (автоматической пожарной сигнализации) с пультом ППС-1 и термоизвещателями ТРВ-2 (ИП-103-2) во взрывозащищенном исполнении (ВЗГ), температура срабатывания 70°C, инерционность – 60 с (max), потребляемая мощность – 30 Вт.

Предложенный вариант включает:

- модульную установку Буран 8В общее количество составляет 41 шт.;
- извещатели пламени Спектрон-202 по два в каждом помещении;
- газоанализаторы ЭРИС-ОПТИМА ПЛЮС по одному в каждом помещении в исполнении ВЗГ, инерционность от 0,5 до 1 с, потребляемая мощность – 30 Вт.

Суммарная стоимость оборудования и монтажа по предлагаемому варианту капитальные затраты составят от 255000 до 265000 тыс. рублей. Принимаем стоимость предлагаемого варианта равной 260000тыс.руб.

Одним из самых распространенных источников ЧС является пожар пролива, его последствия не всегда предсказуемы [2].

Подобный пожар, может развиваться в больших масштабах, и распространяться, принося при этом большой материальный ущерб, угрозу жизни и здоровью.

При рассмотрении сценария в электро-зале нефтеносной и разливе нефти с последующим ее возгоранием, сработала система пенного пожаротушения, нам известно что тепловые датчики срабатывают 60сек. и более, а система пенного тушения срабатывает до 300с. в результате увидим:

- при пожаре были уничтожены два насоса НМ 1250x260 стоимостью по 350000тыс.руб.

					20.03.01.2017.003 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		73

– производственное помещение где расположено данное оборудование требует капитального ремонта. Работы по капитальному ремонту и монтажу принимаем 300000 тыс. руб.

Затем определим:

1) Капитальные затраты на восстановление производственного помещения нефтеносной [7]:

$$K_1 = 1,1 \times (K_{\text{Аварии}}) = \text{тыс. руб.}, \quad (82)$$

$$K_1 = 1,1 \times 1000000 = 1100000 \text{ тыс. руб.}$$

При рассмотрении сценария разлива нефти в электро-зале нефтеносной, сработали газоанализаторы время отклика 5 секунд и модульная установка порошкового тушения Буран 8В до 150 секунд время отклика, что предотвратило возгорание, в результате увидим:

– производственное помещение, где расположено данное оборудование, требует косметического ремонта и замены 12 модулей порошкового тушения Буран 8В. Один модуль Буран 8В стоит 4000 тыс. руб., косметический ремонт составит 30000 тыс. руб., демонтаж модуля обойдется в 15000 тыс. руб.

2) Определим капитальные затраты на восстановление производственного помещения нефтеносной [7]:

$$K_2 = 1,1 \times (K_{\text{ав}} + K_{\text{АУПТ}}), \text{ тыс. руб.}; \quad (83)$$

$$K_2 = 1,1 \times 93000 + 260000 = 353000 \text{ тыс. руб.}$$

где  $K_{\text{ав}}$  – затраты на восстановление помещения после аварии;

$K_{\text{об}}$  – это затраты на установку предложенного варианта системы АУПТ.

Найдем годовой экономический эффект от внедрения предлагаемого варианта технического решения:

$$\text{Э} = K_1 - K_2 = 1100000 - 353000 = 747000 \text{ руб. год.}$$

Приведенный выше расчет показывает, что предлагаемый вариант системы АУПТ, экономически целесообразен и дает годовой экономический эффект в 747000 руб.

										Лист
										74
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	20.03.01.2017.003 ПЗ ВКР					

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В дипломной работе рассмотрены вопросы обеспечения пожарной безопасности технологического процесса нефтеперекачивающей станции. В проекте произведен анализ статистических данных о пожарах в нефтедобывающей и перерабатывающей отрасли, причин их возникновения. Результаты анализа показывают актуальность данной темы и необходимость разработки пожарно-технических мероприятий по совершенствованию противопожарной защиты НПС.

Из анализа пожарной опасности технологии НПС следует, что данный объект относится к объектам повышенной пожарной опасности. На объекте возможно образование горючих и взрывоопасных концентраций нефти, как при аварийных ситуациях, так и при нормальном течении технологического процесса. Горючая среда может образоваться в резервуарах РВС-5000 со стационарной крышей, внутри технологического оборудования с нефтью, подземных резервуарах утечек и дренажа, а также на территории НПС при перекачке нефти, больших и малых дыханиях резервуаров, в помещении магистральной нефтенасосной [16].

На основании проведенного анализа, разработаны сценарии возникновения и развития аварий и пожаров в резервуарном парке.

Произведено прогнозирование размеров зон возможного поражения людей опасными факторами пожара в резервуарном парке, а именно:

- прогнозирование площади разлива и зоны возможного затопления территории парка при полном разрушении резервуара РВС-5000 м<sup>3</sup> с нефтью;
- прогнозирование размеров зоны взрывоопасных концентраций при разрушении РВС;
- прогнозирование размеров зоны теплового излучения при пожарах проливов нефти;
- прогнозирование размеров зоны поражения людей и разрушения зданий и сооружений взрывной волной, образующейся при сгорании паровоздушной смеси;

					20.03.01.2017.003 ПЗ ВКР	Лист
						75
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



Задачи, поставленные при выполнении дипломного проекта, выполнены, а разработанные и предложенные мероприятия повышают уровень пожарной безопасности объекта и снижают риск возникновения техногенных аварий и катастроф. Следовательно, цель обозначенная в дипломном проекте – достигнута.

					20.03.01.2017.003 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		77

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Федеральный закон от 10.07.2012 № 117 – ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».
2. Федеральный закон от 21.12.1994 г. № 69 – ФЗ «О пожарной безопасности».
3. ГОСТ Р 12.3.047 – 2012. ССБТ Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля.– М.: Госстандарт России, 1998.
4. ГОСТ Р 53324 – 2009. Ограждения резервуаров. Требования пожарной безопасности. – М.: Стандартиформ, 2009.
5. ГОСТ 12.1.044 – 89. ССБТ. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. (ИСО 4589– 84).
6. ГОСТ Р 53323 – 2009. Огнепреградитель и искрогаситель. Общие технические требования.
7. ГОСТ 12.1.004 – 91. Пожарная безопасность. Общие требования. – М.: Стандарты. 1992.
8. СНиП 2.11.03 – 93. Склады нефти и нефтепродуктов. М.:КПЦПП. 1993 (Зарегистрирован Росстандартом в качестве СП 110.13330.2011).
9. СНиП 23 – 01 – 99. Строительная климатология и геофизика. – М.: Стройиздат. (Зарегистрирован Росстандартом в качестве СП 131.13330.2011).
10. СП 12.13130 – 2009. Определение категорий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности. ГУГПС МЧС России. – М.: ВНИИПО. 2003.
11. Пособие по применению СП 12.13130 – 2009. “Определение категорий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности” при рассмотрении проектно-сметной документации. – М.: ВНИИПО. 1998.
12. Баратов А.Н., Корольченко А.Я., Кравчук Г.Н. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения. - М. Химия 1990.

					20.03.01.2017.003 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		78

13. Иванников В.П., Ключ П.П. Справочник руководителя тушения пожара. – М.: Стройиздат. 1987.

14. Приказ МЧС РФ от 10.07.2009 г. №404 «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах».

15. Сучков В.П.. Пособие по применению методов оценки пожарной опасности технологических систем, используемых при анализе пожарных рисков, 2009 год, Москва.

					20.03.01.2017.003 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		79

					20.03.01.2017.003 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		80