



Общество с ограниченной ответственностью

«КУБАНЬСПЕЦПРОЕКТ»

Регистрационная запись в реестре СРО №2480 от 17.11.2017 г.

Заказчик – АО «СибурТюменьГаз»

«Товарный парк №2. Реконструкция. Нижневартовский ГПЗ»

ПРОЕКТНАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

Раздел 13. Иная документация в случаях, предусмотренных законодательными и иными нормативными правовыми актами Российской Федерации

Часть 1. Декларация промышленной безопасности.

Книга 2. Расчетно-пояснительная записка.

СТГ.10569-867-10/22-ДПБ1.2

Том 13.1.2

2023



Общество с ограниченной ответственностью

«КУБАНЬСПЕЦПРОЕКТ»

Регистрационная запись в реестре СРО №2480 от 17.11.2017 г.

УТВЕРЖДАЮ

Главный инженер
Нижневартовский ГПЗ – филиал
АО «СибурТюменьГаз»

_____ Ф.Н. Малахов
«__» _____ 20__ г

Заказчик – АО «СибурТюменьГаз»

«Товарный парк №2. Реконструкция. Нижневартовский ГПЗ»

ПРОЕКТНАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

Раздел 13. Иная документация в случаях, предусмотренных
законодательными и иными нормативными правовыми актами
Российской Федерации

Часть 1. Декларация промышленной безопасности.

Книга 2. Расчетно-пояснительная записка.

СТГ.10569-867-10/22-ДПБ1.2

Том 13.1.2

Генеральный директор


(подпись, дата)

Г.О. Пастухов

Главный инженер
проекта



С.Ю. Савицкий

2023

№ регистрации в Ростехнадзоре

**РАСЧЕТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ДЕКЛАРАЦИИ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
ОПАСНОГО ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ОБЪЕКТА**

ПЛОЩАДКА ТОВАРНОГО ПАРКА №2 НИЖНЕВАРТОВСКОГО ГПЗ

в составе проекта
«Товарный парк №2. Реконструкция. Нижневартовский ГПЗ»

АО «СибурТюменьГаз»

Регистрационный номер декларируемого объекта в государственном
реестре опасных производственных объектов A58-40551-0065

ООО «КСП»

1	Сведения о технологических процессах.....	6
1.1	Сведения об опасных веществах (для веществ, учитываемых при идентификации декларируемого объекта)	6
1.2	Данные о технологии и оборудовании, применяемых на декларируемом объекте.....	15
1.2.1	Принципиальная технологическая схема с обозначением основного технологического оборудования, указанием направлений потоков опасных веществ и отсекающей арматуры, и кратким описанием технологического процесса.....	15
1.2.2	План и перечень размещения основного технологического оборудования, в котором получают, используются, хранятся, транспортируются, уничтожаются опасные вещества	25
1.2.3	Данные о распределении опасных веществ по оборудованию	31
1.3	Описание технических решений по обеспечению безопасности.....	35
1.3.1	Описание решений, направленных на исключение разгерметизации оборудования и предупреждение аварийных выбросов опасных веществ	35
1.3.2	Описание решений, направленных на предупреждение развития аварий и локализацию выбросов опасных веществ.....	36
1.3.3	Описание решений, направленных на обеспечение взрывопожаробезопасности и химической безопасности	37
1.3.4	Описание систем автоматического регулирования, блокировок, сигнализаций и других средств обеспечения безопасности	40
2	Анализ риска аварий	42
2.1	Анализ аварий на декларируемом объекте.....	42
2.1.1	Перечень аварий и обобщенные данные об инцидентах, произошедших на декларируемом объекте (для действующих объектов)	42
2.1.2	Перечень наиболее опасных по последствиям аварий, произошедших на других аналогичных объектах, или аварий, связанных с опасными веществами.....	42
2.1.3	Анализ основных причин произошедших аварий на декларируемом объекте.....	56
2.2	Анализ условий возникновения и развития аварий на декларируемом объекте.....	68
2.2.1	Определение возможных причин возникновения аварии на декларируемом объекте и факторов, способствующих возникновению и развитию аварий на декларируемом объекте.....	68
2.2.2	Определение сценариев аварий на декларируемом объекте для опасных веществ	72
2.2.3	Обоснование применяемых физико-математических моделей и методов расчета с оценкой влияния исходных данных на результаты анализа риска аварии	81
2.2.4	Оценка количества опасных веществ, участвующих в аварии и в создании поражающих факторов.....	100
2.2.5	Расчет вероятных зон действия поражающих факторов	105
2.2.6	Оценка возможного числа потерпевших, в том числе погибших, среди работников декларируемого объекта и иных физических лиц, которым может быть причинен вред здоровью или жизни в результате аварии на декларируемом объекте.....	111
2.2.7	Оценка возможного ущерба имуществу юридическим и физическим лицам и вреда окружающей среде	116

2.3	Оценка риска аварий, включающая данные о вероятности аварий, показателях риска причинения вреда работникам декларируемого объекта и физическим лицам, ущерба имуществу юридическим и физическим лицам и вреда окружающей среде (по составляющим объекта).....	126
3	Выводы и предложения.....	162
3.1	Перечень составляющих декларируемого объекта с указанием показателей риска для работников и иных юридических и физических лиц	162
3.2	Сравнительный анализ рассчитанных показателей аварии на декларируемом объекте со среднестатистическими показателями риска аварий, риска гибели людей по неестественным причинам (пожары, дорожно-транспортные происшествия), риска чрезвычайных ситуаций техногенного характера и (или) критериями приемлемого (допустимого) риска	162
3.3	Предложения по внедрению мер, направленных на уменьшение риска аварий	163
	Список использованных источников.....	167
1	Перечень нормативных правовых актов, регулирующих требования промышленной безопасности на декларируемом объекте	167
2	Перечень документации организации, используемой при разработке расчетно-пояснительной записки	167
3	Перечень используемой литературы	169
	Таблица регистрации изменений.....	173

1 СВЕДЕНИЯ О ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ

1.1 Сведения об опасных веществах (для веществ, учитываемых при идентификации декларируемого объекта)

Характеристика опасных веществ, которые обращаются на декларируемом объекте приведена в таблицах (Таблица 1.1...Таблица 1.3).

Таблица 1.1 – Характеристика опасного вещества – сухой отбензиненный газ

№ п/п	Наименование параметра	Параметр	Источник информации
1.	Наименование	Сухой отбензиненный газ	ГОСТ Р 54973-2012 [1.21]
2.	Вид	Бесцветный газ	«Вредные вещества в промышленности» [3.43]
3.	Химическая формула эмпирическая структурная	СН4 + следы С2Н6, С3Н6, С3Н8, С4Н10, С5Н12, СО2. N2 (см. %-й состав)	«Справочник химика» [3.44]
4.	Состав, % масс. О2 N2 СО2 СН4 С2Н6 С3Н8 – i-С4Н10 – n-С4Н10 – i-С5Н12 – n-С5Н12 – С6Н14	0,015 1,258 0,659 89,402 8,365 0,301 0,000 0,000 0,000 0,000 0,000	Технологический регламент [2.4]
5.	Физические свойства: молекулярный вес, г/моль температура кипения (при давлении 101 кПа), °С плотность при 20°С, кг/м ³	17,6173 минус 161,6 0,7351	Технологический регламент [2.4], «Справочник химика» [3.44]
6.	Взрывоопасность: температура вспышки, °С температура самовоспламенения, °С теплота сгорания, Дж/кг пределы взрываемости, % об.	Горючий газ Минус 187 Плюс 537 31,8 4,4-17,0	ГОСТ 5542-2014 [1.22], «Пожаровзрывоопасность веществ, материалов и средств их тушения» [3.42], «Справочник химика» [3.44], «Свойства вредных и опасных веществ, обращающихся в нефтегазовом комплексе. Справочник» [3.45]

№ п/п	Наименование параметра	Параметр	Источник информации
7.	Токсическая опасность: ПДК в воздухе рабочей зоны, мг/м ³ ПДК в атмосферном воздухе (ОБУВ), мг/м ³ LCt50 PCt50	Класс опасности: 4 300 50 Не регламентируется Не регламентируется	ГОСТ 5542-2014 [1.22], «Вредные вещества в промышленности» [3.43], ГОСТ 12.1.007-76, «Свойства вредных и опасных веществ, обращающихся в нефтегазовом комплексе. Справочник» [3.45]
8.	Реакционная способность	Растворим в органических растворителях. При обычных температурах химически инертен. При высоких – полностью сгорает, образуя диоксид углерода и воду.	«Свойства вредных и опасных веществ, обращающихся в нефтегазовом комплексе. Справочник» [3.45]
9.	Запах	Без запаха	«Вредные вещества в промышленности» [3.43]
10.	Коррозионная активность	Низкая	«Коррозионная стойкость материалов в агрессивных средах химических производств» [3.46]
11.	Меры предосторожности	Герметизация аппаратуры и коммуникаций, вентиляция помещений. Одновременное присутствие в воздухе сероводорода и повышенные температуры усиливают токсический эффект.	«Вредные вещества в промышленности» [3.43], «Свойства вредных и опасных веществ, обращающихся в нефтегазовом комплексе. Справочник» [3.45]
12.	Воздействие на людей и окружающую среду, в том числе от поражающих факторов аварии	Является сильнейшим наркотиком, однако, в связи с ничтожной растворимостью его в воде и крови, для наркотического эффекта необходимы высокие концентрации в воздухе, чтобы создались опасные концентрации в крови, поэтому относится к малоопасным веществам. Вызывает раздражение слизистых оболочек глаза, конъюнктивиты. При сильных отравлениях – пневмония, потеря сознания. С воздухом образует взрывоопасные смеси, которые могут распространяться далеко от места утечки.	«Вредные вещества в промышленности» [3.43], «Свойства вредных и опасных веществ, обращающихся в нефтегазовом комплексе. Справочник» [3.45]
13.	Средства индивидуальной и коллективной защиты	При невысоких концентрациях пригоден фильтрующий промышленный противогаз. При высоких концентрациях и нормальном содержании кислорода – изолирующие шланговые противогазы. При недостатке	«Вредные вещества в промышленности» [3.43], «Свойства вредных и опасных веществ, обращающихся в нефтегазовом комплексе. Справочник» [3.45]

№ п/п	Наименование параметра	Параметр	Источник информации
		кислорода – кислородные респираторы.	
14.	Методы перевода вещества в безвредное состояние	Средства тушения: инертные газы (азот), диоксид углерода	«Пожаровзрывоопасность веществ, материалов и средств их тушения» [3.42], «Свойства вредных и опасных веществ, обращающихся в нефтегазовом комплексе. Справочник» [3.45]
15.	Меры первой помощи пострадавшим от воздействия поражающих факторов при аварии	Удалить пострадавшего из вредной атмосферы, освободить от стесняющих частей одежды, положить с приподнятыми ногами, согреть тело (обложить грелками). При нарушении дыхания – кислород. При тяжелом отравлении – госпитализация. Противопоказаны морфин и адреналин.	«Вредные вещества в промышленности» [3.43]

Таблица 1.2 – Характеристика опасного вещества – ШФЛУ

№ п/п	Наименование параметра	Параметр		Источник информации
1.	Наименование	Широкая фракция легких углеводородов		ГОСТ Р 54973-2012 [1.21]
2.	Вид	Бесцветная прозрачная жидкость		Технологический регламент [2.4]
3.	Химическая формула: эмпирическая структурная	Углеводородная смесь, состоящая из пропана, бутанов и пентанов с примесями метана, этана, гексанов и более тяжелых компонентов -		ГОСТ Р 54973-2012 [1.21]
4.	Состав, % масс. сумма углеводородов С1- С2, не более пропана, не менее сумма углеводородов С4- С5, не менее сумма углеводородов С6 и выше, не более	А 3 15 45 15	Б 5 - 40 30	Технологический регламент [1.21]
5.	Физические свойства: молекулярный вес, г/моль	44,096 (пропан) 58,123 (бутан)		ТУ 38.101524-2015 [1.48], «Пожаровзрывоопасность веществ, материалов и средств их тушения» [3.42]

№ п/п	Наименование параметра	Параметр	Источник информации
	температура кипения (при давлении 101 кПа), °С плотность при 20°С, кг/м ³	72,15 (пентан) 86,177 (гексан) минус 42,1 (пропан) минус 0,5 (бутан) +36 (пентан) +68,74 (гексан) 559	
6.	Взрывоопасность: температура вспышки, °С температура самовоспламенения, °С теплота сгорания, МДж/кг пределы взрываемости, % об	Воспламеняющийся газ минус 104 (пропан) минус 60 (бутан) минус 40 (пентан) минус 21 (гексан) +470 (пропан) +372 (бутан) +258 (пентан) +233 (гексан) 2044 (пропан) 2657 (бутан) 3272 (пентан) 3887 (гексан) 1,7-10,9	ТУ 38.101524-2015 [1.48], «Пожаровзрывоопасность веществ, материалов и средств их тушения» [3.42]
7.	Токсическая опасность: ПДК в воздухе рабочей зоны, мг/м ³ ПДК в атмосферном воздухе (ОБУВ), мг/м ³	Класс опасности: 4 900/300 50	ТУ 38.101524-2015 [1.48], «Свойства вредных и опасных веществ, обращающихся в нефтегазовом комплексе. Справочник» [3.45]
8.	Реакционная способность	Растворяется в органических растворителях, не растворяется в воде	ТУ 38.101524-2015 [1.48]
9.	Запах	Специфический характерный запах нефтепродуктов	ТУ 38.101524-2015 [1.48]
10.	Коррозионная активность	Сероводород, содержащийся в ШФЛУ, образует пиррофорные соединения с железом	«Коррозионная стойкость материалов в агрессивных средах химических производств» [3.46]
11.	Меры предосторожности	Приточно-вытяжная вентиляция, устройство вентиляционных отсосов	ТУ 38.101524-2015 [1.48]

№ п/п	Наименование параметра	Параметр	Источник информации
		<p>в местах возможного выделения продукта. Использовать герметичное оборудование, емкости для хранения и транспортирования. При производстве и применении продукции должен быть организован производственный контроль за содержанием предельно допустимых выбросов в атмосферу.</p>	<p>«Свойства вредных и опасных веществ, обращающихся в нефтегазовом комплексе. Справочник» [3.45]</p>
12.	<p>Воздействие на людей и окружающую среду, в том числе от поражающих факторов аварии</p>	<p>При отравлении ингаляционным путем – головная боль, головокружение, слабость, сонливость, чувство опьянения, нарушение координации движений и ритма дыхания, першение в горле, кашель, боль в области сердца. После тяжелых отравлений – судороги, удушье, потеря сознания, остановка дыхания.</p> <p>При воздействии на кожу – обморожение, напоминающее ожог, покраснение, зуд, жжение, отек, боль.</p> <p>При попадании в глаза – обильное слезотечение, покраснение, резь, боль, неясность зрения, искажение цветового восприятия.</p> <p>Загрязняет атмосферный воздух, воду, почву углеводородами, которые являются источниками фотохимического загрязнения окружающей среды, долго сохраняются в воздухе и переносятся на большие расстояния, что приводит к повреждению растительного покрова, снижению урожайности, заболеваемости населения, появлению специфического запаха в атмосферном воздухе населенных мест при превышении ПДК, снижению содержания кислорода.</p>	<p>ТУ 38.101524-2015 [1.48], «Вредные вещества в промышленности» [3.43]</p>
13.	<p>Средства индивидуальной и коллективной защиты</p>	<p>Промышленные фильтрующие противогазы с коробками марок А и БКФ. При высоких концентрациях и работе в закрытых емкостях, сосудах, колодцах и др. – изолирующие шланговые противогазы с принудительной подачей свежего воздуха или им аналогичные.</p> <p>Спецодежда для защиты работающих от воздействия нефти, нефтепродуктов из тканей с водо-масло- и нефтеотталкивающими свойствами, специальная</p>	<p>ТУ 38.101524-2015 [1.48]</p>

№ п/п	Наименование параметра	Параметр	Источник информации
		<p>нескользкая обувь с глубоким рифлением, обитая не искрящими гвоздями. Теплая одежда при работе на открытом воздухе. Очки защитные (закрытые защитные очки «Г»). Для защиты рук применяют защитные рукавицы из вискознополиэфирной ткани с маслостойкими свойствами и лавсановискозной ткани с маслостойкой пропиткой.</p>	
14.	<p>Методы перевода вещества в безвредное состояние</p>	<p>Сжигание через факельную систему. Осуществляют контролируемое выгорание на местах пожара или централизованное выжигание. Создание условий для полного рассеивания остатков газа и паров жидких углеводородов.</p> <p>Средства пожаротушения – огнетушители порошковые, углекислотные, водяной пар, тонкораспыленная вода для охлаждения. При объемном тушении – углекислый газ, перегретый пар. Наиболее эффективными средствами пожаротушения являются огнетушащие газовые и аэрозольные составы. При развившихся пожарах – не прекращать горения при наличии утечки. Тушить тонкораспыленной пеной с максимального расстояния</p>	<p>ТУ 38.101524-2015 [1.48]</p>
15.	<p>Меры первой помощи пострадавшим от воздействия</p>	<p>При отравлении пострадавшего удалить из загрязненной атмосферы, освободить от стесняющей дыхание одежды, обеспечить доступ свежего воздуха, покой, тепло, кофе, чай. Вдыхание с ватки медицинского нашатырного спирта. При резком ослаблении или остановке дыхания немедленно начать делать искусственное дыхание методом «изо рта в рот» до восстановления самостоятельного дыхания. Вызвать врача.</p> <p>При воздействии на кожу снять загрязненную одежду. Быстро и обильно промыть водой, пораженное место смазать мазью от ожогов. При образовании пузырей осторожно наложить стерильную повязку и обратиться к врачу. При сильном обморожении не снимать одежду с пораженного участка, срочно обратиться к врачу.</p>	<p>ТУ 38.101524-2015 [1.48]</p>

№ п/п	Наименование параметра	Параметр	Источник информации
		При попадании в глаза обильно промыть глаза проточной водой при широко раскрытой глазной щели. Немедленно обратиться за медицинской помощью к врачу-окулисту	

Таблица 1.3 – Характеристика опасного вещества – углеводородный газовый конденсат

№ п/п	Наименование параметра	Параметр		Источник информации
1.	Наименование	Углеводородный газовый конденсат		ГОСТ Р 54389-2011 [1.20]
2.	Вид	Жидкость		ГОСТ Р 54389-2011 [1.20]
3.	Химическая формула эмпирическая структурная	Смесь предельных углеводородов метанового, нафтенового и ароматического ряда с концом кипения более 360°C		РПБ 97152834-19-70037 [1.49]
4.	Состав массовая доля воды, % не более массовая доля механических примесей, % не более массовая концентрация хлористых солей, мг/дм ³ не более массовая доля серы, % массовая доля сероводорода, млн-1 (ppm), не более массовая доля метил- и этилмеркаптанов, млн-1 (ppm), не более массовая доля парафина, % массовая доля хлорорганических соединений, млн-1 (ppm), не более	1 0,5 0,05 100 не нормируется 20 40 не нормируется не нормируется	2 0,5 0,05 300 не нормируется 100 100 не нормируется не нормируется	ГОСТ Р 54389-2011 [1.20]
5.	Физические свойства: молекулярный вес, г/моль температура кипения (при давлении 101 кПа), °C	100-155 +55		«Пожаровзрывоопасность веществ, материалов и средств их тушения» [3.42]

№ п/п	Наименование параметра	Параметр	Источник информации
	плотность при 20°C, кг/м ³	770	
6.	Взрывоопасность: температура вспышки, °С температура самовоспламенения, °С теплота сгорания, МДж/кг пределы взрываемости, % об.	Легковоспламеняющаяся жидкость (ЛВЖ) минус 2 +380 45350 1,0-6,0	«Пожаровзрывоопасность веществ, материалов и средств их тушения» [3.42] «Свойства вредных и опасных веществ, обращающихся в нефтегазовом комплексе. Справочник» [3.45]
7.	Токсическая опасность: ПДК в воздухе рабочей зоны, мг/м ³ ПДК в атмосферном воздухе (ОБУВ), мг/м ³	4-й класс опасности 300 30	ГОСТ Р 54389-2011 [1.20]
8.	Реакционная способность	В соединении с окислителями при высокой температуре способен гореть до СО ₂ и Н ₂ О. При обычной температуре химически инертен	«Вредные вещества в промышленности» [3.43]
9.	Запах	Слабый специфический	«Вредные вещества в промышленности» [3.43]
10.	Коррозионная активность	Не обладает коррозионной активностью	«Вредные вещества в промышленности» [3.43]
11.	Меры предосторожности	Полная герметизация оборудования и трубопроводов. Все производственные помещения оборудуются приточно-вытяжной вентиляцией. В помещениях запрещается обращение с открытым огнем, искусственное освещение должно быть выполнено во взрывобезопасном исполнении, все работы должны выполняться инструментом, не дающим искру. Оборудование, где возможно появление статического электричества, должно быть заземлено. Не допускать разлива, испарения; осторожность при использовании огня и источников повышенных температур. Избегать попадания на кожу	«Вредные вещества в промышленности» [3.43]
12.	Воздействие на людей и окружающую среду, в том числе от	Человек, находящийся в атмосфере с небольшим содержанием паров в воздухе испытывает кислородное голодание, а при значительных концентрациях паров в воздухе	«Вредные вещества в промышленности» [3.43]

№ п/п	Наименование параметра	Параметр	Источник информации
	поражающих факторов аварии	<p>может погннуть от удушья. Углекислотные газы действуют на организм наркотически, поражают центральную нервную систему. Признаками наркотического действия являются недомогание и головокружение, вслед наступает состояние опьянения, сопровождаемое беспричинной веселостью, потерей сознания. Токсическое воздействие проявляется при больших концентрациях. Также возможно появление конъюнктивитов, снижение чувствительности роговицы, возбуждение, оглушение, сужение зрачков, замедленный пульс (40-50 уд./мин.) рвота, слюнотечение, позже сон в течение нескольких часов, возможны пневмония и потеря памяти после очень тяжелых отравлений. При контакте – дерматиты, пигментация, шелушение. При нарушении ведения технологического режима и образования проливов возможно возгорание с последующим взрывом, что может привести к травмированию и гибели людей и разрушению объекта.</p>	
13.	Средства индивидуальной и коллективной защиты	Промышленные фильтрующие противогазы марки А, шланговые противогазы марок ПШ-1, ПШ-2, изолирующие противогазы; специальная одежда (рукавицы, защитные фартуки, резиновая обувь и др.), защитные очки	«Вредные вещества в промышленности» [3.43]
14.	Методы перевода вещества в безвредное состояние	Проветривание, вентиляция. Уборка пролитой жидкости.	«Вредные вещества в промышленности» [3.43]
15.	Меры первой помощи пострадавшим от воздействия поражающих факторов при аварии	<p>При отравлении парами углеводородов следует немедленно принять меры по эвакуации пострадавших из опасной зоны. Одновременно вызвать врача и до прибытия медицинского персонала оказать первую доврачебную помощь.</p> <p>Симптомами отравления является возбуждение, оглушенное состояние, сужение зрачков, замедление пульса до 40- 50 ударов в минуту, рвота, затем сон в течение нескольких часов. Меры первой помощи: поместить пострадавшего в теплое место (обложить тело грелками).</p>	«Вредные вещества в промышленности» [3.43]

№ п/п	Наименование параметра	Параметр	Источник информации
		При нарушении дыхания дать кислород, при отсутствии дыхания приступить немедленно к искусственной вентиляции легких. При попадании на кожу промыть водой с мылом. Пораженный глаз сразу же промыть проточной водой при хорошо раскрытой глазной щели. Госпитализация	

1.2 Данные о технологии и оборудовании, применяемых на декларируемом объекте

1.2.1 Принципиальная технологическая схема с обозначением основного технологического оборудования, указанием направлений потоков опасных веществ и отсекающей арматуры, и кратким описанием технологического процесса

ШФЛУ в ТП-2 поступает по двум трубопроводам: DN300 от МАУ-2, 3, 4 с расходом не более 160 т/ч и DN250 от ТУ-4 с расходом не более 90 т/ч. Температура поступающей ШФЛУ не более 35°C.

Трубопроводы с ШФЛУ предварительно проходят через здание отключающих задвижек (ЗОЗ), в котором установлены узлы регулирования давления, КИПиА, электроприводная и ручная запорная арматура. ШФЛУ с МАУ-2,3,4 поступает с давлением до 2,5 МПа, с ТУ-4 с давлением до 3,75 МПа. Перед подачей в шаровые резервуары ТП-2, в ЗОЗ предусмотрены узлы редуцирования давления с поддержанием давления ШФЛУ не более 1,0МПа клапанами-регуляторами поз.Кр16.1 и Кр16.2 соответственно. Для защиты оборудования и трубопроводов от превышения давления выше допустимого на стороне низкого давления предусмотрены предохранительные клапаны СППК-2, СППК-3, рассчитанные на максимальные расходы ШФЛУ. Сброс ШФЛУ с предохранительных клапанов осуществляется в факельную систему ТП-2.

ШФЛУ представляет из себя смесь углеводородов, состоящую из пропана, бутанов, пентанов с примесями метана, этана и более тяжелых углеводородов С6 и выше. ШФЛУ хранится под избыточным давлением не более 1,0МПа в шаровых резервуарах Е-901/1...12.

Температура ШФЛУ с МАУ-2,3,4 контролируется с выводом показаний в операторную ТП-2. Для поддержания постоянного давления в межцеховом трубопроводе ШФЛУ с ТУ-4 предусмотрен клапан-регулятор давления поз.РV-925 «до себя».

Оперативный учет ШФЛУ, поступающего в ТП-2 осуществляется узлами учета товарного парка №1 (ТП-1).

В ЗОЗ оба трубопровода подачи ШФЛУ разветвляются на три линии DN200 каждая с целью независимой подачи ШФЛУ непосредственно в каждую группу шаровых резервуаров ТП-2: Е-901/1...4, Е-901/5...8 и Е-901/9...12. На каждой линии DN200 установлены дистанционно управляемые электроприводные задвижки 1а,2а,3а и 1г,2г,3г. Далее линии ШФЛУ с МАУ-2,3,4 и ТУ-4 объединяются и направляются в резервуары тремя отдельными линиями.

В каждой группе резервуаров размещено по 4-ре шаровых резервуара в едином обваловании, номинальный объем 600 м³ каждый.

Каждый шаровый резервуар подключен к следующим технологическим трубопроводам:

- 1) ШФЛУ в Е-901/1...12 (DN200);
- 2) ШФЛУ из Е-901/1...12 (DN200);
- 3) ШФЛУ из Е-901/1...12 в насосную внутрипарковой перекачки НВП (DN200);
- 4) дренаж подтоварной воды из Е-901/1...12 в отстойник-дегазатор Е-908 (DN80);
- 5) отбензиненный газ в Е-901/1...12 (DN100);
- 6) газ от СППК-1/12 на факел (DN200);
- 7) газ из Е-901/1...12 на свечу (DN100);
- 8) газ из Е-901/1...12 на факел (DN100).

Все линии оснащены коренной запорной арматурой с ручным управлением внутри обвалования, в непосредственной близости от резервуаров, а так же дублирующей запорной арматурой с дистанционным управлением, управляемой системой ПАЗ, вне обвалования. С целью обеспечения технологического процесса налива, откачки и внутрипарковой перекачки ШФЛУ предусмотрена запорная арматура с дистанционным управлением по системе РСУ.

Для контроля и управления технологическими параметрами работы шаровых резервуаров, Е-901/1...12 оснащены следующими средствами автоматизации:

- 1) прибором контроля текущего уровня жидкости;
- 2) датчиками верхнего аварийного уровня;
- 3) датчиками нижнего аварийного уровня;
- 4) датчиками давления;
- 5) датчиком температуры жидкости.

Распределение ШФЛУ по резервуарам Е-901/1...12 осуществляется дистанционным переключением оперативных запорных клапанов поз. Кз1...12.4, расположенных в узлах запорной арматуры распределительных гребенок вне обвалования резервуаров. Для предотвращения обратного тока ШФЛУ предусмотрен обратный клапан.

Для защиты резервуаров Е-901/1...12 от переполнения на линиях подачи ШФЛУ предусмотрены пневмоприводные запорные клапаны поз. Кз1...12.1 установленные вне обвалования и управляемые системой ПАЗ.

При достижении уровня жидкости в резервуарах Е-901/1...12 верхнего предельного значения 7200 мм, что соответствует наполнению 460 м³ или 76%, подается предупредительная световая и звуковая сигнализация в операторной. При достижении верхнего предаварийного уровня 7750 мм, что соответствует наполнению 500 м³ или 83% срабатывают сигнализаторы верхнего уровня ПАЗ с закрытием пневмоприводных запорных клапанов поз.Кз1...12.1 и светозвуковой сигнализацией в операторной. Расчетное время заполнения резервуара от верхнего предельного до верхнего предаварийного уровня составляет не более 5 минут при максимальном расходе ШФЛУ, что достаточно для выполнения обслуживающим персоналом технологических операций по переключению резервуаров.

После заполнения резервуара ШФЛУ производится его отстаивание от подтоварной воды в течении 2...4 часов. В процессе отстаивания подтоварная вода собирается в нижней части резервуара и дренируется через незамерзающий донный клапан, установленный в днище резервуара. Сброс воды осуществляется в отстойник-

дегазатор Е-908. Для визуального контроля дренируемой среды на линиях сброса подтоварной воды из резервуаров Е-901/1...12 установлены выносные камеры со встроенным смотровым стеклом и поплавком. Камера устроена таким образом, что при сливе подтоварной воды поплавков находится в верхнем положении, а при поступлении в дренажную линию ШФЛУ поплавков опускается и сигнализирует о необходимости закрытия донного клапана. Для предотвращения замерзания водной фазы днище шаровых резервуаров оборудовано наружным змеевиком с циркуляцией теплоносителя и тепловой изоляцией. Трубопроводы и запорная арматура подтоварной воды оборудованы электрообогревом с поддержанием положительной температуры среды и тепловой изоляцией.

Выдача товарного продукта из шаровых резервуаров ТП-2 осуществляется по соответствующим трубопроводам оснащенным пневмоприводными запорными клапанами с дистанционным управлением поз.Кз1...12.2а, предназначенны для управления технологическим процессом. Так же технологической схемой предусмотрена дублирующая запорная арматура с дистанционным управлением от системы ПАЗ поз.Кз1...12.2. Вся приводная запорная арматура размещается вне обвалования резервуаров. Далее трубопроводы вывода ШФЛУ из групп резервуаров объединяются в коллекторы DN200 и тремя потоками направляются в здание ЗОЗ.

Откачка ШФЛУ из резервуаров ТП-2 производится до минимального предельного нижнего уровня 2050 мм, что соответствует остатку 60 м³, при достижении которого срабатывает предупредительная световая и звуковая сигнализация в операторной, после чего оператор останавливает отбор продукта из резервуара путем дистанционного перекрытия соответствующей запорной арматуры. В случае снижения уровня до нижнего предаварийного значения 1150 мм, что соответствует остатку 20,2 м³, срабатывают сигнализаторы нижнего уровня ПАЗ с последующим закрытием запорных клапанов поз.Кз1...12.2, Кз1...12.3 на линиях отбора продукта. При открытом положении Кз1...12.2 происходит останов с запретом на пуск насосов Н-1,3,5 в ТП-1, а при открытом положении Кз1...12.3 останов с запретом на пуск насосов внутриварковой перекачки Н-6/1 (Н-6/2).

В здании отключающих задвижек на трубопроводах ШФЛУ DN200 поступающих от трех групп резервуаров установлены дистанционно управляемые электроприводные задвижки №1,2,3, после которых линии объединяются в коллектор DN400 и далее ШФЛУ направляется на прием насосов Н-1/1,3,5 товарного парка №1 для дальнейшей подачи в магистральный продуктопровод. Температура откачиваемой ШФЛУ контролируется с выводом показаний в операторную, давление контролируется манометром. Коммерческий учет ШФЛУ поступающей с ТП-2 производится в ТП-1.

Все резервуары ТП-2 соединены системой газоуравнительных линий, давление в которой поддерживается автоматически системой регулирующих клапанов. При наполнении или откачке любого из резервуаров газовая фаза перераспределяется между остальными резервуарами. Давление в газоуравнительной системе контролируется с вводом показаний в операторную. Подача отбензиненного газа осуществляется за счет открытия клапана-регулятора поз. РV-801. В случае повышении давления выше 1,0МПа осуществляется сброс избыточного давления в факельную систему ТП-2 за счет открытия клапанов-регуляторов поз. РV-802/1,2. При отклонениях давления в газоуравнительной системе от регламентных значений предусмотрена звуковая и световая сигнализация в операторной.

Для отключения резервуаров от газоуравнительной системы предусмотрены дистанционные запорные клапаны поз.Кз1...12.5 и коренная запорная арматура с ручным управлением. Так же имеется возможность отключения всей группы резервуаров от газоуравнительной системы с помощью электроприводных задвижек поз. 1б, 2б, 3б установленных в ЗОЗ.

Для продувки шаровых резервуаров предусмотрена возможность подачи инертного газа (азота) в отдельные группы резервуаров по линиям отбензиненного газа. Для предотвращения попадания отбензиненного газа в систему азотопроводов предусмотрен обратный клапан.

Давление в шаровых резервуарах Е-901/1...12 контролируется с выводом показаний в операторную, при достижении предельных значений 0,55 и 1,05 МПа срабатывает световая и звуковая сигнализация. При достижении предаварийных значений давления в резервуарах 0,5 и 1,15 МПа системой ПАЗ подается светозвуковая сигнализация и реализуется следующая логика управления:

1) при 0,5 МПа:

- останов с запретом пуска насосов Н-1,3,5 ТП-1 при открытом положении запорного клапана на линии подачи ШФЛУ в ТП-1 поз. Кз1...12.2;
- останов с запретом пуска насосов Н-6/1,2 ТП-2 при открытом положении запорного клапана на линии подачи ШФЛУ на прием насосов внутриварочной перекачки поз.Кз1...12.3;
- закрытие запорного клапана поз.Кз1...12.2;
- открытие запорного клапана на линии подачи отбензиненного газа в резервуар поз.Кз1...12.5;

2) при 1,15 МПа:

- закрытие запорного клапана на линии подачи ШФЛУ в резервуар поз.Кз1...12.1;
- открытие запорного клапана на линии сброса газов и паров из резервуара на факел поз.Кз1...12.6, при снижении давления до 1,10 МПа – закрытие клапана.

Защита резервуаров ТП-2 от превышения давления сверх допустимых значений обеспечивается установленными предохранительными клапанами поз.СППК-1/1...12. Для ревизии предохранительных клапанов без вывода резервуара из эксплуатации, последние оснащены запорной арматурой и переключающими устройствами, предотвращающими одновременное из закрытие.

В случае аварии на одном из резервуаров ТП-2 предусмотрена откачка ШФЛУ из аварийного резервуара в порожний резервуар, находящийся в состоянии полной готовности. Для равномерной выработки ресурса и в зависимости от производственных задач порожний резервуар для приема ШФЛУ в случае аварии назначается руководством ОПО. Для внутриварочной перекачки аварийного резервуара и проведения технологических перекачек предусмотрена насосная внутриварочной перекачки (НВП). НВП состоит из двух центробежных насосов поз.Н-6/1,2 (1 раб., 1 рез.). Насосная выполнена в открытом исполнении под навесом. Пол в насосной выполнен обогреваемым, герметичным, со сбором стоков в промливневую канализацию. На всасывающих линиях насосов Н-6/1,2 установлены электроприводные задвижки Аз16.1, Аз16.3 и сетчатые фильтры, на выкидных линиях - обратные клапаны и электроприводные задвижки Аз16.2, Аз16.4.

В НВП выполнена закрытая система дренажа с насосов и фильтров в подземную емкость Е-907.

Пуск насосов Н-6/1,2 осуществляется как дистанционно так и по месту. Насосы находятся в состоянии готовности к пуску, предварительно заполненные перекачиваемой жидкостью. После пуска насоса, производится выдержка для набора давления до 1,4 МПа, после чего автоматически производится открытие задвижек

Аз16.2, Аз16.4 и перекачка ШФЛУ в порожний резервуар. Для защиты насоса от срыва подачи на приеме насосов установлены датчики давления с настройкой отключения насосов по давлению ниже 0,5 МПа. Также на выходе ШФЛУ из НВП предусмотрен расходомер. При снижении расхода до 50 м³/ч подается световой и звуковой сигнал в операторную. При отсутствии потока в течении 2 минут после запуска насоса происходит его отключение и запуск резервного. Для защиты насосов от «сухого хода» на всасывающих линиях Н-6/1 и Н-6/2 предусмотрены датчики наличия жидкости. На случай пожара в насосной на всасывающем и нагнетательном коллекторах предусмотрены электроприводные задвижки Аз16.5, Аз16.6 на расстоянии от границы насосной не менее 5 м, но не более 50м. На нагнетательных трубопроводах насосов Н-6/1,2 предусмотрены линии для стравливания газов и паров в факельную систему и на свечу.

Предусмотренный проектной документацией алгоритм аварийного опорожнения резервуаров включает последовательность следующих технологических операций:

- 1) после обнаружения аварийного резервуара производится отключение всей группы от линий наполнения и слива ШФЛУ запорными клапанами поз.Кз1...12.1 и Кз1...12.2;
- 2) открытие запорного клапана поз.Кз.1...12.3 на линии подачи ШФЛУ от резервуаров Е-901/1...12 в НВП;
- 3) открытие запорного клапана поз.Кз1...12.5 на линии подачи отбензиненного газа в резервуар;
- 4) открытие запорного клапана поз.Кз1...12.4 на порожнем резервуаре другой группы для приема продукта из аварийного резервуара;
- 5) запуск насоса Н-6/1 (Н-6/2) и набор давления;
- 6) открытие электроприводной задвижки Аз16.2 (Аз16.4);
- 7) откачка аварийного резервуара.

После откачки продукта из аварийного резервуара до минимального аварийного уровня происходит отключение насоса Н-6/1 (Н-6/2). Оставшийся продукт сливается в подземную емкость Е-907.

Для приема остатков ШФЛУ из шаровых резервуаров предусмотрена подземная дренажная емкость Е-907 номинальным объемом 25м³.

Дренажная емкость Е-907 оснащена приборами для контроля параметров работы:

- 1) датчик контроля уровня;
- 2) датчик аварийного верхнего и нижнего уровня;
- 3) датчик давления.

Для защиты от переполнения при достижении аварийного верхнего уровня по сигналу датчика аварийного уровня происходит закрытие клапанов поз.Кз14.2 на линии сброса газа на факел.

Опорожнение емкости Е-907 производится в линию некондиции и далее по трубопроводу ШФЛУ в шаровые резервуары Е-901/1...12 методом передавливания инертным газом. Опорожнение подземной емкости Е-907 производится только после того, как будут закрыты задвижка с ручным управлением на линии входа продукта в емкость и запорный клапан поз.Кз14.2 на линии сброса паров на факел и открыта арматура на линии подачи ШФЛУ в один из резервуаров Е-901/1...12, а так же открыта арматура на линии подачи отбензиненного газа в Е-907. В процессе опорожнения емкости при достижении минимального предельного уровня 350 мм светозвуковая сигнализация в операторной, а при дальнейшем снижении до минимального аварийного

уровня 300 мм закрывается клапан поз.Кз14.3 на линии откачки ШФЛУ с сигнализацией в операторной.

Для защиты емкости Е-907 от превышения давления выше допустимого предусмотрен предохранительный клапан поз.СППК-14 со сбросом газов и паров в факельный коллектор ТП-2. Для предотвращения обратного тока жидкой фазы по линии откачки емкости Е-907 предусмотрен обратный клапан.

В процессе отстаивания ШФЛУ производится периодическое дренирование подтоварной воды с шаровых резервуаров за счет открытия ручной запорной арматуры в отстойник-дегазатор воды Е-908 номинальным объемом 4,5 м³.

Емкость Е-908 оснащена следующими датчиками контроля параметров работы:

- 1) датчик уровня;
- 2) датчик аварийного верхнего и нижнего уровня;
- 3) датчик межфазного уровня;
- 4) датчик давления;
- 5) датчик максимального аварийного давления поз.PISA2832;
- 6) датчик температуры.

Отстойник-дегазатор воды Е-908 предназначен для разгазирования подтоварной воды и разделения на жидкие углеводороды и подтоварную воду. В процессе разгазирования выделяется растворенный углеводородный газ, который направляется на свечу рассеивания. Отделившаяся подтоварная вода скапливается в сборном стакане емкости. Для интенсификации процесса разгазирования и исключения замерзания водной фазы сборный стакан емкости Е-908 оснащен обогревом и тепловой изоляцией. В качестве теплоносителя используется незамерзающая жидкость, раствор этиленгликоля. Предусмотрена световая и звуковая сигнализация при снижении температуры жидкости до 5°C и повышении до 30°C.

Дегазированная вода периодически сливается в подземный канализационный резервуар номинальным объемом 200м³, откуда насосами КНС во взрывозащищенном исполнении откачивается на канализационные очистные сооружения предприятия. Отбор воды производится с нижней части стакана емкости Е-908.

При накоплении жидких углеводородов в емкости Е-908 производится их слив самотеком в подземную емкость для сбора конденсата Е-902 за счет открытия ручной запорной арматуры.

При достижении предельного максимального уровня жидкости 1000мм в емкости Е-908 подается световая и звуковая сигнализация в операторной, при дальнейшем повышении уровня до предаварийного значения 1100 мм производится автоматическое закрытие запорного клапана поз.Кз15.1 установленного на линии поступления подтоварной воды из шаровых резервуаров в емкость Е-908 и производится её дальнейшее опорожнение. При минимальном уровне 200мм в емкости Е-908 подается световая и звуковая сигнализация в операторную, при дальнейшем снижении до предаварийного значения 100 мм производится автоматическое закрытие запорного клапа поз.15.2 установленного на линии сброса водной фазы из Е-908 в сети промливневой канализации (ПЛК). Для предотвращения попадания жидких углеводородов в сети ПЛК предусмотрено автоматическое закрытие запорного клапан поз.Кз15.2 по минимальному предаварийному уровню раздела фаз 100мм.

При повышении давления в емкости Е-908 до предельных значений до 0,05 и 0,10 МПа подается световой и звуковой сигнал в операторной, при дальнейшем

повышении давления до 0,15 МПа происходит автоматическое закрытие запорных клапанов поз.Кз15.1 и 15.2.

Для защиты емкости Е-908 от превышения давления выше допустимых значений предусмотрен предохранительный клапан СППК-15 со сбросом углеводородных газов и паров в факельный коллектор ТП-2.

Для сброса давления с шаровых резервуаров предусмотрена система факельных трубопроводов, все сбросы на факел проходят через факельный сепаратор С-902 с постоянным отводом жидкости, где из углеводородных газов и паров улавливается капельная жидкость и далее сбросы направляются в общезаводскую факельную систему на утилизацию. Предусмотрена световая и звуковая сигнализация предельного уровня жидкости при значении 250 мм в сепараторе С-902. Жидкость из сепаратора С-902 самотеком стекает в подземную емкость сбора конденсата Е-904. Для свободного стока жидкости из С-902 в Е-904 предусмотрена газоуравнительная линия.

В емкости сбора конденсата Е-904 предусмотрен контроль уровня, а при достижении предельного верхнего значения 1563 мм срабатывает световая и звуковая сигнализация в операторной с включением логики автоматического опорожнения Е-904 от жидкой фазы. Опорожнение Е-904 включает в себя следующие технологические операции: закрытие запорных клапанов на линиях слива конденсата с С-902 поз.Кз13.1 и на газоуравнительной линии поз.Кз13.4 с последующим открытием запорных клапанов на линии отбензиненного газа поз.Кз13.3 и на линии откачки конденсата поз.Кз13.2. Конденсат из Е-904 по линии некондиции ШФЛУ сбрасывается в шаровые резервуары ТП-2. По окончании опорожнения и снижении уровня жидкости в емкости Е-904 до значения 350 мм система возвращается в исходное состояние приема конденсата из сепаратора С-902. Для защиты емкости Е-904 от превышения давления выше допустимых значений предусмотрен предохранительный клапан СППК-10 со сбросом углеводородных газов и паров в факельный коллектор ТП-2.

Для продувки технологического оборудования ТП-2 инертным газом, а также сброса выделившегося из подтоварной воды углеводородного газа в Е-908 предусмотрена свеча рассеивания. Все сбросы на свечу предварительно проходят сепаратор С-901 с постоянным отводом жидкости, где происходит отделение капельной жидкости и далее сбросы направляются на свечу. Высота свечи рассеивания принята 30 м. Уловленная жидкость из сепаратора С-901 самотеком сливается в подземную ёмкость Е-902. При повышении уровня жидкости в С-901 предусмотрена световая и звуковая сигнализация в операторной при значении 250 мм.

В подземной ёмкости Е-902 предусмотрен контроль уровня жидкости, при повышении до 1600 мм срабатывает световая и звуковая сигнализация в операторной. Опорожнение емкости Е-902 осуществляется передавливанием инертным газом по линии некондиции в шаровые резервуары ТП-2. Для защиты емкости Е-902 от превышения давления выше допустимых значений предусмотрен предохранительный клапан СППК-9 со сбросом углеводородных газов и паров в факельный коллектор ТП-2.

Опорожнение подземного емкостного оборудования Е-902, Е-904 и Е-907 от углеводородного конденсата (остатков ШФЛУ) осуществляется методом передавливания азотом в один из резервуаров ТП-2. Для этого дистанционно закрывается запорная арматура на линиях поступления жидкости в емкость и сброса паров из нее в факельный коллектор. Осуществляется набор давления за счет подачи азота в емкость. Принимающий резервуар выбирается с наименьшим уровнем ШФЛУ, перед приемом остатков ШФЛУ он отключается от газоуравнительной линии дистанционным закрытием крана поз.Кз1...12.5. Далее производится плавный сброс давления с резервуара до значения при котором не начнет снижаться уровень жидкости в опорожняемой емкости. При достижении минимального уровня в емкости перекрывается линия подачи ШФЛУ в резервуар, а емкость и резервуар путем

переключения запорной арматуры возвращаются в исходное положение. На случай недостаточности давления азота для передавливания конденсата из емкости в резервуар и исключения риска остановки технологического процесса ТП-2, предусмотрены линии подачи сухого отбензиненного газа используемого для создания избыточного давления в газоуравнительной системе шаровых резервуаров. Сухой отбензиненный газ и ШФЛУ являются компонентами (узкими фракциями) попутного нефтяного газа, которые получают при его разделении на технологических установках Нижневартовского ГПЗ. Таким образом СОГ является собственной газовой фазой, а его контактирование с ШФЛУ в процессе хранения и передавливания является полностью безопасным технологическим процессом, т.к. внутри технологических систем исключает образование каких-либо химических реакций, которые могли бы привести к неуправляемым и необратимым процессам, либо образованию каких-либо соединений и веществ влияющих на безопасность технологического процесса.

Из факельного коллектора ТП-2 отделившаяся жидкость стекает в подземную ёмкость Е-305 объемом 12,5 м³ находящееся в ТП-2. В подземной ёмкости Е-305 предусмотрен контроль уровня жидкости, при повышении до 1000 мм срабатывает световая и звуковая сигнализация в операторной. Опорожнение подземной емкости Е-305 от жидкой фазы осуществляется методом передавливания азотом в емкость Е-906 расположенную в товарном парке №1. Для защиты емкости Е-305 от превышения давления выше допустимых значений предусмотрен предохранительный клапан со сбросом в факельный коллектор ТП-2.

Для исключения образования взрывоопасной смеси предусмотрена подача продувочного газа в начало факельного коллектора ТП-2. Для продувки используется отбензиненный газ. Заданный расход продувочного газа обеспечивается регулирующим клапаном поз.Кр17.1. В случае прекращения подачи продувочного газа предусмотрена автоматическая подача резервного газа (азота) за счет открытия запорного клапана поз.Кз17.2. Давление в линии азота на продувку факельного коллектора поддерживается редуцирующим устройством РД1.

Для защиты трубопроводов от превышения давления выше расчетного в результате теплового расширения жидкости проектной документацией предусмотрена установка перепускных предохранительных клапанов. Входящие и выходящие трубопроводы перепускных предохранительных клапанов оснащены ручной запорной арматурой опломбированной в открытом состоянии для возможности их ревизии.

На всех площадках выполнена система контроля загазованности, с выводом сигнализации в операторную и по месту. При загазованности 50% от НКПР предусмотрены блокировки направленные на предотвращение возникновения аварийных ситуаций.

Для управления пневмприводной арматурой на ТП-2 осуществляется подача воздуха КИП по межцеховому трубопроводу. Для обеспечения часового запаса воздуха КИП предусмотрен ресивер поз.Е-903. Осуществляется контроль давления воздуха КИП с отображением показаний в операторной, при снижении давления до 0,25 МПа подается световая и звуковая сигнализация.

На территории товарного парка №2 выполнена стационарная сеть паропроводов и азотопроводов для технологических нужд, с контролем давления по месту. В местах подключения линий азота к стационарным трубопроводам свечи рассеивания, ЗОЗ и емкостей Е-902, Е-904 и Е-907 для технологических нужд предусмотрена установка манометра, запорной арматуры и обратного клапана.

В целях максимального снижения выбросов в окружающую среду взрывопожароопасных веществ при аварийной разгерметизации технологической

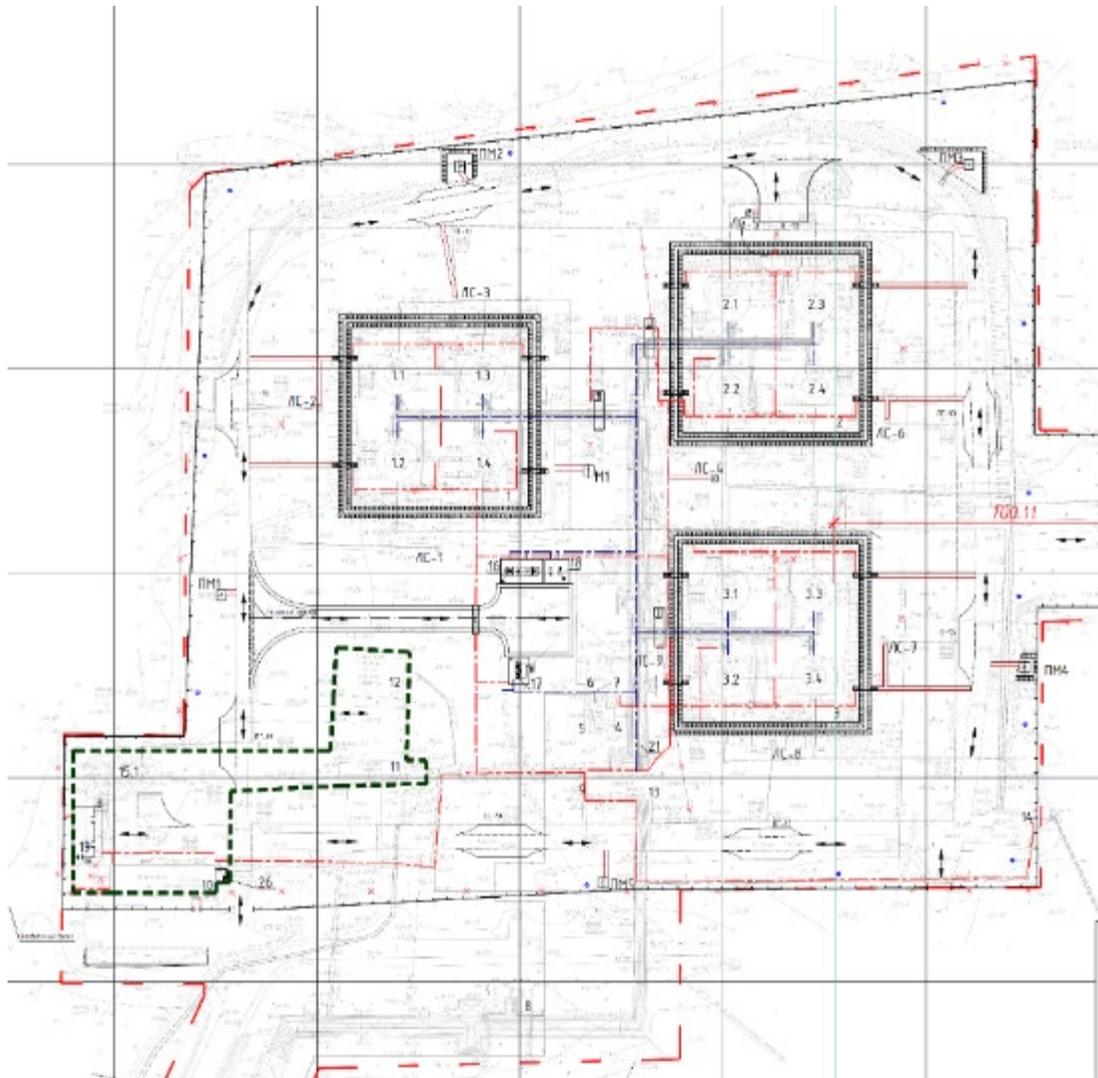
системы на трубопроводах ввода в ТП-2 и вывода из ТП-2 диаметром более 20 мм для ШФЛУ предусмотрена запорная арматура электроприводом Аз20,21,22,23.

Существующая технологическая схема ТП-2 представлена на рисунке (Рисунок 1.1).

1.2.2 План и перечень размещения основного технологического оборудования, в котором получают, используются, хранятся, транспортируются, уничтожаются опасные вещества

План размещения основного технологического оборудования представлен на рисунке (Рисунок 1.2).

Перечень основного технологического оборудования, в котором обращается опасное вещество на составляющих декларируемого объекта приведены в таблице (Таблица 1.4).



Экспликация зданий и сооружений

L

Номер по ген-плану	Наименование	Координаты квадрата сетки
	Существующее оборудование	
1	Группа шаровых резервуаров №1	A=-7450; Б=10900
1.1...1.4	Резервуар шаровый стальной V=600 м ³ (4 шт.)	A=-7450; Б=10950
2	Группа шаровых резервуаров №2	
2.1...2.4	Резервуар шаровый стальной V=600 м ³ (4 шт.)	
3	Группа шаровых резервуаров №3	
3.1...3.4	Резервуар шаровый стальной V=600 м ³ (4 шт.)	
4	Подземная емкость сбора конденсата V=40 м ³	
5	Подземная емкость сбора конденсата V=40 м ³	
6	Свечной сепаратор V=50 м ³	
7	Факельный сепаратор V=50 м ³	
8	Факельный конденсатосборник	
9	Ресивер сжатого воздуха V=8 м ³	
10	Аппаратная	
11	Канализационно-насосная станция	
12	Подземная канализационная емкость V=200 м ³	
13	Здание отключающих задвижек	
14	Узел отключающих задвижек	
15.1, 15.2	Пожарная емкость	
21	Внутриплощадочные теплоизоляционные трубопроводы (ТМП)	
ЛС-1...9	Лафетный ствол	
ПГ	Пожарный гидрант	
	Проектируемое оборудование	
16	Подземная дренажная емкость V=25 м ³	
17	Отстойник-дегазатор воды V=4,5 м ³	
18	Насосная внутрипарковой перекачки	
19	КТПНУ-400/6/0,4	
М1	Молниеприемник	
26	Воздухозаборная труба (ВТ1)	
ПМ1...ПМ5	Пржекторная мачта (5 шт.)	

Рисунок 1.2 - План размещения основного технологического оборудования

Таблица 1.4 – Перечень основного технологического оборудования, в котором обращается опасное вещество

№ поз. по схеме	Наименование оборудования	Кол-во, шт.	Расположение	Назначение	Техническая характеристика
E-901/1...12	Шаровый резервуар	12	Товарный парк №2	Хранение жидких сред	Объем 600 м ³ , давление среды 1,2 МПа
E-305	Емкость подземная	1	Товарный парк №2	Сбор и временное хранение жидких и газообразных сред	Объем 12,5 м ³ , давление среды 1,2 МПа
C-901, C-902	Сепаратор	2	Товарный парк №2	Разделение жидких и газообразных сред	Объем 50 м ³ , давление среды 0,1 МПа
E-904	Емкость подземная	1	Товарный парк №2	Сбор и временное хранение жидких и газообразных сред	Объем 40 м ³ , давление среды 1,7 МПа
E-902	Емкость подземная	1	Товарный парк №2	Сбор и временное хранение жидких и газообразных сред	Объем 12,5 м ³ , давление среды 1,6 МПа
E-907	Емкость дренажная	1	Товарный парк №2	Слив остатков ШФЛУ из шаровых резервуаров	V=25м ³ , давление среды 1,6 МПа
E-908	Отстойник-дегазатор воды	1	Товарный парк №2	Разгазирование подтоварной воды и отделение от нее углеводородной жидкости	Объем 4,5 м ³ , давление среды 1,6 МПа
-	Технологический трубопровод № 1а НЗ, СТ	1	Товарный парк №2	Транспортирование жидких и газообразных веществ	Диаметр 219 мм, длина 171 м, давление среды 1,2 МПа
-	Технологический трубопровод № 2 НЗ, СТ	1	Товарный парк №2	Транспортирование жидких и газообразных веществ	Диаметр 219 мм, длина 169 м, давление среды 1,2 МПа
-	Технологический трубопровод № 3 НЗ, СТ	1	Товарный парк №2	Транспортирование жидких и газообразных веществ	Диаметр 219 мм, длина 104 м, давление среды 1,2 МПа
-	Технологический трубопровод № 4 НЗ, СТ	1	Товарный парк №2	Транспортирование жидких и газообразных веществ	Диаметр 219 мм, длина 133 м, давление среды 1,2 МПа

№ поз. по схеме	Наименование оборудования	Кол-во, шт.	Расположение	Назначение	Техническая характеристика
-	Технологический трубопровод № 5 НЗ, СТ	1	Товарный парк №2	Транспортирование жидких и газообразных веществ	Диаметр 219 мм, длина 211 м, давление среды 1,2 МПа
-	Технологический трубопровод № 6 НЗ, СТ	1	Товарный парк №2	Транспортирование жидких и газообразных веществ	Диаметр 219 мм, длина 208 м, давление среды 1,2 МПа
-	Технологический трубопровод № 8 НЗ, СТ	1	Товарный парк №2	Транспортирование жидких и газообразных веществ	Диаметр 159 мм, длина 112 м, давление среды 1,2 МПа
-	Технологический трубопровод № 9 НЗ, СТ	1	Товарный парк №2	Транспортирование жидких и газообразных веществ	Диаметр 159 мм, длина 202 м, давление среды 1,2 МПа
-	Технологический трубопровод № 10 НЗ, СТ	1	Товарный парк №2	Транспортирование жидких и газообразных веществ	Диаметр 325 мм, длина 217 м, давление среды 1,2 МПа
-	Технологический трубопровод № 11 НЗ, СТ	1	Товарный парк №2	Транспортирование жидких и газообразных веществ	Диаметр 325 мм, длина 212 м, давление среды 1,2 МПа
-	Технологический трубопровод № 12 НЗ, СТ	1	Товарный парк №2	Транспортирование жидких и газообразных веществ	Диаметр 325 мм, длина 216 м, давление среды 1,2 МПа
-	Технологический трубопровод № 14 НЗ, СТ	1	Товарный парк №2	Транспортирование жидких и газообразных веществ	Диаметр 57 мм, длина 132 м, давление среды 1,2 МПа
-	Технологический трубопровод № 15 НЗ, СТ, Е-904 в линию некондиции с I-III блоков	1	Товарный парк №2	Транспортирование жидких и газообразных веществ	Диаметр 57 мм, длина 19 м, давление среды 1,2 МПа
-	Технологический трубопровод № 16 НЗ, СТ, у/в конденсат из С-901 в Е-902	1	Товарный парк №2	Транспортирование жидких и газообразных веществ	Диаметр 108 мм, длина 15 м, давление среды 0,1 МПа
-	Технологический трубопровод № 17 НЗ, СТ, у/в конденсат из С-902 в Е-904	1	Товарный парк №2	Транспортирование жидких и газообразных веществ	Диаметр 108 мм, длина 15 м, давление среды 0,1 МПа

№ поз. по схеме	Наименование оборудования	Кол-во, шт.	Расположение	Назначение	Техническая характеристика
-	Технологический трубопровод № 19 НЗ, СТ	1	Товарный парк №2	Транспортирование жидких и газообразных веществ	Диаметр 108 мм, длина 1 м, давление среды 1,2 МПа
-	Технологический трубопровод № 20 НЗ, СТ	1	Товарный парк №2	Транспортирование жидких и газообразных веществ	Диаметр 108 мм, длина 246 м, давление среды 1,2 МПа
-	Трубопровод отбензиненного газа на поддавливание емкостей Е-901/5-8	1	Товарный парк №2	Транспортирование жидких и газообразных веществ	Диаметр 108 мм, длина 246 м, давление среды 1,2 МПа
-	Технологический трубопровод № 21 НЗ, СТ, отбензиненный газ на поддавливание емкостей Е- 901/9-12	1	Товарный парк №2	Транспортирование жидких и газообразных веществ	Диаметр 57 мм, длина 201 м, давление среды 1,2 МПа
-	Технологический трубопровод № 22 НЗ, СТ	1	Товарный парк №2	Транспортирование жидких и газообразных веществ	Диаметр 57 мм, длина 55 м, давление среды 1,2 МПа
-	Технологический трубопровод № 27 НЗ, СТ	1	Товарный парк №2	Транспортирование жидких и газообразных веществ	Диаметр 159 мм, длина 396 м, давление среды 0,1 МПа
-	Технологический трубопровод № 35 НЗ, СТ, факельный газ с Е-901/9-12 в С-902	1	Товарный парк №2	Транспортирование жидких и газообразных веществ	Диаметр 325 мм, длина 142 м, давление среды 0,1 МПа
-	Технологический трубопровод № 38 НЗ, СТ, стравливание газа на свечу от ППК емкостей Е-901/1- 8 (1 и 2 блоки) до С-901	1	Товарный парк №2	Транспортирование жидких и газообразных веществ	Диаметр 108 мм, длина 399 м, давление среды 0,1 МПа
-	Технологический трубопровод № 41 НЗ, СТ, стравливание газа на свечу от ППК емкостей Е-901/9- 12 (3 блок) до врезки в общий трубопровод на свечу до С-901	1	Товарный парк №2	Транспортирование жидких и газообразных веществ	Диаметр 32 мм, длина 101 м, давление среды 0,1 МПа
-	Технологический трубопровод № 44 НЗ, СТ, сброс от С-901 до свечного ствола	1	Товарный парк №2	Транспортирование жидких и газообразных веществ	Диаметр 426 мм, длина 14 м, давление среды 0,1 МПа

№ поз. по схеме	Наименование оборудования	Кол-во, шт.	Расположение	Назначение	Техническая характеристика
-	Технологический трубопровод № 45 НЗ, СТ, сброс с Е-902, Е-904 на свечу	1	Товарный парк №2	Транспортирование жидких и газообразных веществ	Диаметр 89 мм, длина 20 м, давление среды 0,1 МПа
Н-1...4	Насос центробежный	4	Товарный парк №2	Перекачивание жидких веществ	Производительность 50 м ³ /ч
Н-5	Насос консольный	1	Товарный парк №2	Перекачивание жидких веществ	Производительность 3,6 м ³ /ч
Н-6/1,2	Насос герметичный	2	Товарный парк №2	Перекачивание жидких веществ	Производительность 100 м ³ /ч

1.2.3 Данные о распределении опасных веществ по оборудованию

Данные о распределении опасных веществ (ОВ) по оборудованию на составляющих декларируемого объекта приведены в таблице (Таблица 1.5).

Таблица 1.5 – Данные о распределении опасных веществ по оборудованию

Площадка/оборудование			Наименование опасного вещества	Количество опасного вещества, т	Физические условия содержания опасного вещества		
наименование площадки	наименование оборудования, № по схеме	кол-во единиц оборудова- ния			в единице оборудования	агрегатное состояние	давление , МПа
Товарный парк №2	Шаровый резервуар, поз. Е-901/1...12	12	ШФЛУ	271,914	жидкость	1,20	35
	Емкость подземная, поз. Е-305	1	Углеводородный газовый конденсат	5,439	жидкость	1,20	35
	Сепаратор, поз. С-901, С-902	2	Углеводородный газовый конденсат	5,634	жидкость	0,09	35
	Емкость подземная, поз. Е-904	1	Углеводородный газовый конденсат	17,405	жидкость	1,70	35
	Отстойник-дегазатор воды, поз. Е-908	1	Углеводородный газовый конденсат	1,733	жидкость	1,6	35
	Технологический трубопровод № 1а НЗ, СТ	1	ШФЛУ	3,304	жидкость	1,20	35
	Технологический трубопровод № 2 НЗ, СТ	1	ШФЛУ	3,266	жидкость	1,20	35
	Технологический трубопровод № 3 НЗ, СТ	1	ШФЛУ	2,010	жидкость	1,20	35
	Технологический трубопровод № 4 НЗ, СТ	1	ШФЛУ	2,566	жидкость	1,20	35
	Технологический трубопровод № 5 НЗ, СТ	1	ШФЛУ	4,081	жидкость	1,20	35
	Технологический трубопровод № 6 НЗ, СТ	1	ШФЛУ	4,023	жидкость	1,20	35
	Технологический трубопровод № 8 НЗ, СТ	1	ШФЛУ	1,141	жидкость	1,20	35
	Технологический трубопровод № 9 НЗ, СТ	1	ШФЛУ	2,058	жидкость	1,20	35

Площадка/оборудование			Наименование опасного вещества	Количество опасного вещества, т	Физические условия содержания опасного вещества		
наименование площадки	наименование оборудования, № по схеме	кол-во единиц оборудова- ния			в единице оборудования	агрегатное состояние	давление , МПа
Товарный парк №2	Технологический трубопровод № 10 НЗ, СТ	1	ШФЛУ	9,235	жидкость	1,20	35
	Технологический трубопровод № 11 НЗ, СТ	1	ШФЛУ	9,001	жидкость	1,20	35
	Технологический трубопровод № 12 НЗ, СТ	1	ШФЛУ	9,171	жидкость	1,20	35
	Технологический трубопровод № 14 НЗ, СТ	1	ШФЛУ	0,173	жидкость	1,20	35
	Технологический трубопровод № 15 НЗ, СТ, Е-904 в линию некондиции с I-III блоков	1	Углеводородный газовый конденсат	0,026	жидкость	1,20	35
	Технологический трубопровод № 16 НЗ, СТ, у/в конденсат из С-901 в Е-902	1	Углеводородный газовый конденсат	0,075	жидкость	0,09	35
	Технологический трубопровод № 17 НЗ, СТ, у/в конденсат из С-902 в Е-904	1	Углеводородный газовый конденсат	0,075	жидкость	0,09	35
	Технологический трубопровод № 20 НЗ, СТ	1	Сухой отбензиненный газ	0,024	газ	1,20	35
	Трубопровод отбензиненного газа на подавливание емкостей Е-901/5-8	1	Сухой отбензиненный газ	0,024	газ	1,20	35
	Технологический трубопровод № 21 НЗ, СТ, отбензиненный газ на подавливание емкостей Е-901/9-12	1	Сухой отбензиненный газ	0,005	газ	1,20	35
	Технологический трубопровод № 22 НЗ, СТ	1	Сухой отбензиненный газ	0,001	газ	1,20	35
	Технологический трубопровод № 27 НЗ, СТ	1	Сухой отбензиненный газ	0,012	газ	0,09	35

Площадка/оборудование			Наименование опасного вещества	Количество опасного вещества, т в единице оборудования	Физические условия содержания опасного вещества		
наименование площадки	наименование оборудования, № по схеме	кол-во единиц оборудова- ния			агрегатное состояние	давление , МПа	темпера- тура, °С
Товарный парк №2	Технологический трубопровод № 35 НЗ, СТ, факельный газ с Е-901/9-12 в С-902	1	Сухой отбензиненный газ	0,018	газ	0,09	35
	Технологический трубопровод № 38 НЗ, СТ, стравливание газа на свечу от ППК емкостей Е-901/1-8 (1 и 2 блоки) до С- 901	1	Сухой отбензиненный газ	0,006	газ	0,10	35
	Технологический трубопровод № 44 НЗ, СТ, сброс от С-901 до свечного ствола	1	Сухой отбензиненный газ	0,003	газ	0,10	35

1.3 Описание технических решений по обеспечению безопасности

1.3.1 Описание решений, направленных на исключение разгерметизации оборудования и предупреждение аварийных выбросов опасных веществ

Проведение технологического процесса в закрытом оборудовании позволяет предотвратить попадание технологических сред в окружающее пространство, однако требует надежной защиты оборудования от недопустимых изменений давления технологических сред. К оборудованию, разгерметизация которого может привести к неуправляемым выбросам опасных веществ, относятся: сосуды и трубопроводы высокого и низкого давлений с газом, СУГ и ЛВЖ.

Предусмотрены следующие технологические решения по исключению разгерметизации оборудования, трубопроводов и предупреждения аварийных выбросов:

1) расчетное давление аппаратов и трубопроводов принято в соответствии с нормативными требованиями с учетом технологического давления, приведенном в спецификации на оборудование и трубопроводы;

2) все аппараты, работающие при избыточном давлении, оснащены предохранительными клапанами от превышения давления;

3) все насосы оборудуются уплотнениями, исключающими утечки углеводородов.

Для максимального исключения утечек из аппаратов, арматуры, фланцевых соединений и трубопроводов приняты следующие технологические и конструктивные решения:

1) применение закрытой герметичной системы трубопроводов, по которым обращаются жидкие и газообразные углеводороды, со 100 % контролем сварных соединений;

2) ведение процесса под избыточным давлением среды при регламентных значениях параметров, исключающих попадание кислорода воздуха в систему и распространение пламени;

3) минимальное использование фланцевых соединений в трубопроводной обвязке (только в местах установки арматуры, приборов КИПиА, соединении трубопроводов к аппаратам, а также на участках по требованию технологии);

4) конструкция трубопроводов рассчитана с учетом температурных деформаций;

5) применение негорючих теплоизолирующих материалов для оборудования и трубопроводов.

Дополнительными мерами по предупреждению аварийной разгерметизации технологических систем, неплановых остановок объектов являются:

1) поддержание рабочих условий процесса в регламентных пределах;

2) блокировки, предупреждающие развитие аварийных ситуаций;

3) специальная подготовка персонала Товарного парка №2;

4) обеспечение своевременного освидетельствования сосудов, работающих под давлением;

5) обеспечение технического обслуживания и своевременного ремонта насосного оборудования в соответствии с инструкциями заводов-изготовителей;

6) наличие детальной эксплуатационной документации и инструкций;

7) соблюдение режима, не допускающего в производственную зону посторонних лиц.

Важную роль в обеспечении противоаварийной защиты имеют предохранительные клапаны, которые предназначены для защиты оборудования от возможного разрушения в случае повышения давления в системе. Каждый случай срабатывания предохранительного клапана рассматривается как аварийный.

1.3.2 Описание решений, направленных на предупреждение развития аварий и локализацию выбросов опасных веществ

В качестве решений, направленных на предупреждение развития аварий и локализацию выбросов опасных веществ на Товарном парке №2, можно выделить следующие:

- 1) использование наиболее прогрессивной технологии и современного оборудования на технологических объектах;
- 2) наличие быстродействующей дистанционно управляемой отключающей арматуры;
- 3) установка электрооборудования во взрывозащищенном исполнении;
- 4) постоянный контроль за целостностью и герметичностью емкостей и трубопроводов;
- 5) поддержание рабочих условий процесса в регламентных пределах и фиксация в режимных листах;
- 6) наличие сигнализации и блокировок, предупреждающих развитие аварийных ситуаций;
- 7) автоматическое отсечение подачи газа при аварийной остановке;
- 8) обеспечение своевременного освидетельствования сосудов, работающих под давлением;
- 9) обеспечение технического обслуживания и своевременного ремонта теплообменного, сепарационного оборудования в соответствии с инструкциями заводов-изготовителей;
- 10) наличие детальной эксплуатационной документации и рабочих инструкций;
- 11) высококвалифицированная специальная подготовка персонала;
- 12) наличие средств обнаружения и сигнализации пропусков вредных и опасных сред (автоматическая система контроля загазованности);
- 13) наличие дренажной системы продуктов из аппаратов и трубопроводов;
- 14) соблюдение режима, не допускающего в производственную зону посторонних лиц.

В технологических системах для предотвращения развития аварий применяются противоаварийные устройства: запорная и запорно-регулирующая арматура, клапаны, отсекающие и другие отключающие устройства, предохранительные устройства от превышения давления, средства подавления и локализации пламени, автоматические системы подавления взрыва.

В технологических блоках всех категорий взрывоопасности и во всех системах регулирования соотношения горючих сред с окислителями для аварийного отключения в качестве отсекающих устройств применяется соответствующая запорно-

регулирующая арматура с соответствующей требованиям по быстродействию и надежности.

Запорная арматура, клапаны, отсекатели и другие устройства, предназначенные для аварийного отключения блока, по быстродействию отвечают следующим требованиям:

- 1) быстродействие отключающих устройств, устанавливаемых на трубопроводах теплоносителя, используемого для испарения горючей жидкости, определено проектом;
- 2) источники давления установок с технологическими блоками I и II категории взрывоопасности отключаются одновременно со срабатыванием отсекающей арматуры на линиях нагнетания, быстродействие которой определено проектом;
- 3) при аварийной разгерметизации оборудования время срабатывания отключающих устройств соответствует требованиям п. 3.21 «Общих правил взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств».

Предусмотрены мероприятия по ограничению зон развития аварий:

- 1) ограничение растекания горючих жидкостей на площадке;
- 2) защита технологического процесса установками пожаротушения;
- 3) применение пожарной сигнализации;
- 4) обучение персонала способам ликвидации аварий;
- 5) применение системы контроля загазованности с обеспечением предупреждающего светового и звукового сигналов при 20% НКПВ и аварийного сигнала при 50% НКПВ.

Для ОПО «Площадка товарного парка №2 Нижневартовского ГПЗ» разработан план мероприятий по локализации и ликвидации последствий аварий (ПМЛА), который пересматривается не реже, чем один раз в 5 лет, и уточняется в случаях изменений в технологии, аппаратурном оформлении, метрологическом обеспечении технологических процессов.

1.3.3 Описание решений, направленных на обеспечение взрывопожаробезопасности и химической безопасности

На площадке Товарного парка №2 обращаются вещества, способные образовывать взрывоопасные смеси горючих газов и паров с воздухом с низким нижним пределом взрываемости. Кроме того, эти вещества отнесены к вредным, то есть при контакте с организмом в случае нарушения требований безопасности они могут вызвать производственные травмы, профессиональные заболевания или отклонения в состоянии здоровья человека. Описанные свойства веществ определяются в первую очередь физиологическим воздействием на организм человека, а также способностью этих веществ взрываться, гореть, образовывать взрывчатые соединения или инициировать взрывы и пожары.

Взрывопожароопасность веществ и их воздействие на организм человека определяются большим числом факторов, из которых основными являются физико-химические свойства веществ, комбинированное их действие, внешние условия, концентрация и продолжительность действия.

В состав применяемых в технологическом процессе продуктов в основном входят углеводороды алканового ряда, пары которых в смеси с воздухом образуют взрывоопасные концентрации. Низкий нижний предел взрываемости этих углеводородов является основной характеристикой производства по

взрывопожароопасности и свидетельствует о возможности быстрого образования взрывоопасной концентрации даже при незначительном нарушении герметичности систем трубопроводов и аппаратов.

Пары сжиженных углеводородов могут скапливаться в низких и непроветриваемых местах (лотках, приемках, обвалованиях и т.п.), так как их плотность больше плотности воздуха. Кроме того, технологический процесс протекает при высокой температуре и давлении, что повышает пожаро-, взрывоопасность производства.

При проведении ремонтных работ, ударов молнии и при развитии пожара на территории Товарного парка №2 возможен взрыв парогазовой смеси в газовом пространстве емкостей.

Пределные углеводороды – метан, этан, пропан, бутан, пентан и гексаны, обращающиеся в Товарном парке №2, по характеру воздействия на организм человека относятся к 4 классу опасности.

При нарушении герметичности аппаратов и трубопроводов, вытекающие в атмосферу углеводороды образуют паровые облака, которые могут привести к трем типам аварий:

- 1) взрыву парового облака;
- 2) к крупному пожару;
- 3) к токсичному воздействию на людей.

К решениям, направленным на обеспечение взрывопожаробезопасности и химической безопасности, можно отнести следующие:

- 1) строгое соблюдение технологического режима;
- 2) обеспечение максимальной герметизации оборудования и коммуникаций;
- 3) осуществление контроля воздушной среды в помещениях станции и на наружных площадках;
- 4) контроль за состоянием молниезащиты зданий, сооружений и оборудования;
- 5) применение искрозащитного инструмента при работе на трубопроводах, аппаратах и оборудовании;
- 6) контроль за состоянием пожарной сигнализации;
- 7) контроль за состоянием первичных средств пожаротушения и системой автоматического пожаротушения;
- 8) контроль за состоянием и работоспособностью предохранительных клапанов;
- 9) соблюдение правил безопасности при проведении огневых и газоопасных работ на объекте;
- 10) обеспечение надежного контроля производства;
- 11) обеспечение безопасной организации ремонта и чистки аппаратов, коммуникаций и оборудования;
- 12) строгое соблюдение правил и инструкций по охране труда и промышленной безопасности;
- 13) своевременное проведение чистки, ремонта, замены оборудования, трубопроводов, арматуры и приборов КИП и А;
- 14) системы приточной и вытяжной вентиляции должны работать постоянно и необходимо следить за их исправностью.

Обслуживающий персонал своевременно и квалифицированно осуществляет технический надзор за состоянием оборудования, арматуры, трубопроводов, контрольно-измерительных приборов, смазывает и содержит в чистоте насосное оборудование, проверяет износ уплотнений и их герметизацию, следит за работоспособностью механизмов, аварийных сигнальных и блокировочных устройств и средств пожаротушения, оборудования трубопроводов и приборов, осуществляет технический надзор за состоянием взрывозащиты электрооборудования и КИП и А, за заземлением электрооборудования КИПиА, технологического оборудования, трубопроводов и металлоконструкции.

Предотвращение образования взрывоопасной смеси при нормальном протекании технологического процесса обеспечивается применением герметичного оборудования, соблюдением норм технологического режима, контролем состава воздушной среды и применением рабочей и аварийной вентиляции.

Во всех помещениях класса В-1а предусмотрена установка сигнализаторов до взрывоопасных концентраций, контролирующих наличие в этих помещениях взрывоопасных газов, сблокированных с аварийной вентиляцией, дающих звуковой и световой сигнал по месту и в операторной при достижении 20% от НКПР. Предусмотрена аварийная сигнализация и автоматическое отключение насосов при достижении концентрации углеводородов в контролируемом помещении 50% от НКПР. Для контроля воздушной среды в производственных помещениях и на наружной площадке станции проводятся анализы на содержание углеводородов в воздухе рабочей зоны переносными газоанализаторами согласно графику аналитического контроля.

Для безопасной эксплуатации производственных процессов и условий труда при работе с вредными веществами:

1) обеспечены максимальная герметичность оборудования и коммуникаций, различного рода неплотности должны быть немедленно ликвидированы;

2) автотранспорт, используемый для перевозки гликолей, оборудован искрогасителями, а емкости для их хранения приспособлениями для устранения действия статического электричества;

3) производственные объекты, где используются указанные вредные вещества, обеспечены средствами пожаротушения, согласно действующим нормам;

4) при работе с вредными веществами используются средства индивидуальной защиты: фильтрующие и изолирующие противогазы, резиновые перчатки, спецодежда и обувь.

Товарный парк №2 оснащен следующими противопожарными средствами:

1) стационарно установленными пожарными гидрантами и лафетными стволами, установленными на кольцевой сети производственно-противопожарного водопровода (наружное пожаротушение зданий и оборудования наружных площадок);

2) газовым пожаротушением в блоке двигателя и в отсеке блока маслообеспечения двигателя;

3) стационарной системой разводки азота для продувки технологического оборудования и трубопроводов от взрывопожароопасных смесей и вытеснения воздуха перед пуском систем в работу;

4) первичными средствами пожаротушения.

С целью своевременного обнаружения предаварийных ситуаций, связанных с наличием неорганизованных утечек технологических сред из оборудования и возможностью возникновения опасной загазованности на наружной площадке и в

помещениях, применена система контроля загазованности, предусматривающая установку датчиков взрывоопасных концентраций горючих газов и паров (ДВК).

Приборы и средства контроля загазованности обеспечивают подачу предупреждающего светового и звукового сигналов при 20 % НКПВ и аварийного сигнала при 50 % НКПВ на наружной площадке. При достижении концентрации газа 20% НКПВ в блоке двигателя и укрытии агрегата автоматически включается аварийная вентиляция, при концентрации 50% НКПВ – отключается технологическое оборудование агрегата. Сигналы вынесены по месту установки датчиков и в помещение операторной. Аварийные сигналы отличаются от предупредительных по цвету и тональности.

1.3.4 Описание систем автоматического регулирования, блокировок, сигнализаций и других средств обеспечения безопасности

Товарный парк №2 оснащен автоматической системой управления и противоаварийной защиты, обеспечивающей автоматическое регулирование процесса. Регулирование в ручном режиме не допускается, кроме отдельных клапанов-регуляторов периодического действия.

Все элементы системы контроля, управления и противоаварийной защиты выбраны в соответствии с техническими требованиями, которые предусматривают применение аппаратуры, обеспечивающей безотказную безаварийную эксплуатацию в течение всего межремонтного пробега (2 года). Межремонтный пробег элементов системы контроля, управления и ПАЗ совпадает с межремонтным пробегом защищаемого объекта, т.е. замена элементов системы управления во время работы установки не предусматривается. В случае непредвиденных отказов системы управления позволяет осуществлять управление по косвенным параметрам, т.е. ручное управление не применяется.

Описание предусмотренных систем автоматического регулирования, блокировок, сигнализаций и других средств обеспечения безопасности представлено ниже.

Для контроля технологических параметров (уровня, давления и температуры ШФЛУ) в шаровых резервуарах поз. Е-901/1...12; уровня в сепараторах поз. С-901 и С-902, подземных емкостях для сбора конденсата поз. Е-902 и Е-904 и емкостях сбора канализационных стоков поз. Е-1 и Е-2 смонтирована автоматическая система контроля технологических параметров (АСУ ТП), которая обеспечивает выполнение следующих функций:

- 1) сбор данных с датчиков уровня, температуры и давления;
- 2) пересчет значений уровня в значения объема по градуировочным таблицам;
- 3) пересчет значений объема в значения массы;
- 4) сохранение данных по уровню, объему, температуре и давлению в базе данных;
- 5) создание и печать отчетов на основе архивной и текущей информации.

Температура ШФЛУ с МАУ-2...4 контролируется датчиком поз. ТТ-923/3 с выводом показаний АСУ ТП оператора товарного парка №2. Клапан-регулятор давления поз. РV-925 на линии ШФЛУ с ТУ-4 регулирует давление в линии до 2,5 МПа.

В коллекторе после коммерческого узла учета контролируется давление датчиком поз. РТ-023 с выводом показаний и регистрацией на щите в операторной. Для защиты линии внутриварковой перекачки от превышения давления смонтирован предохранительный клапан со сбросом во всасывающий коллектор насосов Н-1/1,3,5 товарного парка №1.

Дублирование контроля уровня в емкостях Е-901/1...12 осуществляется приборами гидростатического действия поз LT-918 с выводом показаний в АСУ ТП имеющими звуковую и световую сигнализацию по значению минимального уровня. Также предусмотрен независимый сигнализатор высокого уровня поз. LS-106 на каждой емкости.

При достижении уровня в шаровом резервуаре 18% от объема (48 м³) по прибору поз. LT- 918/1...12 срабатывает предупредительная световая и звуковая сигнализация с выводом сигнала на мониторе автоматизированного рабочего места оператора (АРМ), если в течение 10 минут уровень не будет восстановлен, происходит остановка магистральных насосов поз. LT-918 Н-1/1,3,5 в товарном парке №1. При достижении максимального уровня в резервуарах Е-901/1...12 по прибору LS-106/1-12 7420 мм (480 м³) срабатывает световая и звуковая сигнализация с выводом сигнала на АСУ ТП.

Для поддержания давления в шаровых резервуарах в пределах 0,6...1,0 МПа по прибору РТ- 906/1-12 предусмотрена подача с ГПЗ отбензиненного газа через клапан-регулятор давления поз. РV-801. Для недопущения повышения давления в системе выше 1,0 МПа предусмотрены клапаны поз. РV-802/1.2 сбрасывающие излишек газа в факельную систему при давлении выше 1,0 МПа, при этом срабатывает звуковая и световая сигнализация в операторной.

На сепараторах поз. С-901 и С-902 смонтированы датчики уровня поз. LS-901 и LS-902, обеспечивающие сигнализацию верхнего предельного уровня (не выше 250 мм) в сепараторах с выводом на АСУ ТП.

В подземных емкостях для сбора конденсата поз. Е-902 и поз. Е-904, в емкостях сбора канализационных стоков поз. Е-1 и Е-2 смонтированы датчики уровня соответственно поз. LT-902, LT-904, LT-1, LT-2, которые обеспечивают измерение и сигнализацию верхнего уровня в подземных емкостях поз. Е-902, Е-904, верхнего и нижнего уровней в емкостях Е-1,2 с выводом на экран монитора АСУ ТП в операторной.

Предусмотрена сигнализация датчиком LS-901 уровня в сепараторе С-901 выше 250 мм. Датчик поз. LT-902 контролирует уровень в подземной емкости Е-902 с выводом показаний и регистрацией на АСУ ТП в операторной. При достижении уровня в Е-902 1063 мм (8,75 м³) срабатывает световая и звуковая сигнализация в операторной. В свечу рассеивания может подаваться азот.

2 АНАЛИЗ РИСКА АВАРИЙ

2.1 Анализ аварий на декларируемом объекте

2.1.1 Перечень аварий и обобщенные данные об инцидентах, произошедших на декларируемом объекте (для действующих объектов)

Сведения об авариях, произошедших на декларируемом объекте, отсутствуют

2.1.2 Перечень наиболее опасных по последствиям аварий, произошедших на других аналогичных объектах, или аварий, связанных с опасными веществами

Перечень аварий и инцидентов, имевших место на других аналогичных объектах, и аварий, связанных с обращающимися опасными веществами, представлен в таблице (Таблица 2.1).

Таблица 2.1 – Перечень аварий, имевших место на других аналогичных объектах и аварий, связанных с аналогичными опасными веществами

Дата и место аварии, используемый источник информации	Вид аварии (неполадки)	Описание аварии и основных причин	Масштабы развития аварии, максимальные зоны действия поражающих факторов	Число пострадавших, ущерб
02.01.1939, Ньюарк (штат Нью-Джерси, США), [3.47]	Взрыв облака топливно-воздушной смеси (бутан)	Утечка СУГ из резервуара. Пары СУГ скопились в пространстве, ограниченном с трех сторон.	В результате взрыва выбиты двери и окна.	Погибших не было.
07.07.1951, порт Ньюарк (штат Нью-Джерси, США), [3.48, 3.49]	Взрывы при расширении паров вскипающей жидкости, огненные шары (пропан)	<p>7 июля 1951 г. пожар и взрывы при расширении паров вскипающей жидкости уничтожили крупную базу СУГ в порту Ньюарк (штат Нью-Джерси). База состояла из резервуарного парка, включавшего 70 горизонтальных цилиндрических резервуаров объемом 100 м³ каждый, а также рядом стоящих 30 резервуаров. Резервуары не имели термоизоляции и стационарных систем орошения. Иницирующим событием явился небольшой взрыв с последующим пожаром. В течение ближайших 2,5 мин. прогремели четыре небольших взрыва. Спустя 0,5 мин. произошла крупная вспышка, приглушенный взрыв и сформировался огромный огненный шар. Примерно через 10...15 мин. произошел взрыв при расширении паров вскипающей жидкости. В течение последующих 100 мин. происходили разрывы резервуаров и взрывы при расширении паров вскипающей жидкости (каждые 3...5 мин.). Резервуары были оснащены аварийной отсекающей арматурой. Спустя 30 с от момента иницирующего события, дистанционно кнопкой был подан сигнал на закрытие этой арматуры. Через 2,5 мин. кнопка была нажата снова, из-за возникших сомнений относительно достаточности времени ее предыдущего нажатия. В действительности до места установки отсекающей арматуры резервуаров, в 300 мм линии подачи СУГ с причала и в 200 мм кольцевых магистралях содержалось около 100 м³</p>	<p>Во многих случаях взрывы при расширении паров вскипающей жидкости сопровождались возникновением огненных шаров, поднимающихся в воздух на высоту 750 м. Многие из этих взрывов были зарегистрированы в аэропорте Ньюарк, что свидетельствовало об их ТНТ-эквиваленте - 25 кг (это согласуется с энергией расширения паров, содержащихся в паровоздушном пространстве резервуаров).</p> <p>Один крупный осколок резервуара длиной 17 м пролетел около 800 м, ударил в АЗС и вызвал там пожар. Еще один осколок разрушил 300 мм подземный водопровод, идущий к площадке базы. Один из осколков резервуара был частично заглублен в землю.</p> <p>В итоге было уничтожено 73 горизонтальных резервуара.</p>	Ранения получили 14 чел.

Дата и место аварии, используемый источник информации	Вид аварии (неполадки)	Описание аварии и основных причин	Масштабы развития аварии, максимальные зоны действия поражающих факторов	Число пострадавших, ущерб
		<p>СУГ, который «подпитывал» пожар при отключенных резервуарах.</p> <p>Предполагалось, что возможной причиной инициирующего события была недостаточная компенсация теплового расширения 200 мм кольцевых магистралей. В них обращался пропан при двух различных температурах.</p> <p>По данным [3.17] в аварии участвовало 2600 т СУГ.</p>		
21.07.1952, Бейкерсфилд (штат Калифорния, США), [3.48]	Взрыв облака топливно-воздушной смеси (бутан)	<p>21 июля 1952 г. завод по переработке конденсата Палама в округе Керн, расположенный вблизи г. Бейкерсфилд (штат Калифорния), подвергся воздействию землетрясения. Эпицентр землетрясения магнитудой 7,7 по шкале Рихтера находился примерно в 19 км; максимальная интенсивность составляла 10...11 баллов. Подвижка грунта в вертикальном направлении – до 15 см, в горизонтальном (трещины в почве) – до 30 см. Абсорбционная колонна высотой 18 м наклонилась от вертикали на 0,9 м, растянув 40 мм фундаментные болты.</p> <p>На заводе находились пять не сейсмоустойчивых шаровых резервуара большого объема с бутаном. Два резервуара рухнули, в результате чего разрушились подводящие трубопроводы. Произошла утечка бутана, образовалось облако топливно-воздушной смеси, которое спустя 90 с воспламенилось от трансформатора.</p>	В результате прогремел взрыв топливно-воздушной смеси и возник пожар, которые привели к значительному ущербу.	Обошлось без жертв и серьезных травм.
08.01.1957, Монреаль (Канада), [3.48, 3.49]	Взрывы при расширении паров вскипающей жидкости, огненные шары (бутан)	8 января 1957 г. в резервуарном парке в г. Монреаль (провинция Квебек), состоящем из шаровых резервуаров, произошла серия взрывов при расширении паров вскипающей жидкости. В одном обваловании находились три резервуара (объемом 800 м ³ , 1900 м ³ и 2400 м ³). Вследствие отказа уровнемера произошел перелив шарового резервуара с бутаном объемом 800 м ³ . Образовалось облако топливно-воздушной смеси, которое затем	-	Погиб 1 чел.

Дата и место аварии, используемый источник информации	Вид аварии (неполадки)	Описание аварии и основных причин	Масштабы развития аварии, максимальные зоны действия поражающих факторов	Число пострадавших, ущерб
		<p>воспламенилось (предположительно от станции технического обслуживания, находящейся в 180 м). Пламя достигло аварийного резервуара, где возник пожар пролива. Спустя около 30 мин. шаровой резервуар объемом 1900 м³, заполненный на 20 %, взорвался. Спустя еще около 15 мин. также взорвались два оставшихся шаровых резервуара объемом 800 м³ и 2400 м³, что стало причиной разрушений прилегающих объектов.</p> <p>По данным [3.17] в аварии участвовало 5,1 тыс. т СУГ.</p>		
04.08.1962, Рас-Таннура (Саудовская Аравия), [3.47]	Взрыв облака топливно-воздушной смеси (пропан)	<p>Частичное разрушение крыши изотермического резервуара объемом 12700 м³ в резервуарном парке НПЗ из-за повышения давления. Воспламенение выбрасываемого газа через 5 с. Персонал отброшен на 90 м от резервуара волной давления. В последующем пожаре выгорело 17800 м³ СУГ.</p> <p>В образовании облака участвовало 1,14 т СУГ.</p>	-	В результате 1 чел. погиб. Ущерб составил 5,0 млн. долларов США (по курсу на III квартал 1991 г.).
04.01.1966, Фейзен (Франция), [3.47, 3.51]	Взрывы при расширении паров вскипающей жидкости, огненные шары (пропан, бутан)	<p>Парк СУГ на НПЗ в г. Фейзен (Франция) состоял из 4 шаровых резервуаров с пропаном объемом 1200 м³, 4 шаровых резервуаров с бутаном объемом 2000 м³ и 2 горизонтальных цилиндрических резервуаров для хранения пропана и бутана.</p> <p>Шаровые резервуары СУГ были расположены в 450 м от НПЗ, в 300 м от населенного пункта и в 42 м от автомагистрали. Расстояние между шаровыми резервуарами составляло от 11,3 м до 17,2 м.</p> <p>Из каждого шарового резервуара производился отбор проб. Поступающий с НПЗ СУГ содержал гидроксид натрия, который из резервуаров дренировался. Дренаж производился перед отбором проб.</p> <p>Утром 4 января 1966 г. оператор последовательно открыл два клапана на дренажной линии шарового резервуара с пропаном, в целях дренажа раствора гидроксида натрия.</p>	<p>В 8 ч 40 мин. шаровой резервуар разрушился на пять больших осколков, образовался огромный огненный шар.</p> <p>На момент аварии в резервуаре содержалось около 400 т пропана. С учетом утечки и сбросов через предохранительный клапан, в резервуаре на момент его взрыва находилось около 200 т пропана. Радиус огненного шара оценивается в пределах 150...200 м, высота подъема – в пределах 700...800 м. Один огромный осколок массой 100 т (почти половина резервуара) отброшен на 300 м.</p> <p>Жидкий пропан перехлестнул через стенку, а осколки «срезали» опоры</p>	<p>Погибло 18 чел., 81 чел. был ранен [3.47,3.50] (или 83 чел. [3.48]). По другим данным [3.51] в результате взрыва первого резервуара от огненного шара погибли 17 чел. (из них 11 пожарных) и получили травмы 80 чел. (из них 40 чел. были тяжело ранены). Ущерб составил 68,8 млн. долларов США (по</p>

Дата и место аварии, используемый источник информации	Вид аварии (неполадки)	Описание аварии и основных причин	Масштабы развития аварии, максимальные зоны действия поражающих факторов	Число пострадавших, ущерб
		<p>В нарушение инструкций оператор первым полностью открыл нижний клапан, затем стал регулировать скорость отбора верхним клапаном. В результате было сдrenировано небольшое количество каустической соды и пропана. Оператор, закрыв клапан, снова его приоткрыл, но потока не было (вероятно из-за закупорки кристаллогидратами). Затем он открыл клапан на большее сечение. Из резервуара хлынул пропан.</p> <p>Оператор и два его помощника не смогли перекрыть верхний клапан. Они не пытались сразу же закрыть и нижний клапан, поэтому он примерз в открытом состоянии. Было 6 ч 40 мин. Все трое отправились пешком, чтобы включить сигнализацию и позвать на помощь. Они не использовали рацию или имеющееся транспортное средство, так как боялись воспламенения газа.</p> <p>В 6 ч 55 мин. включена сигнализация. Приняты меры по остановке движения на автострате и остановке потока СУГ из шарового резервуара. Ветра почти не было, поэтому облако начало распространяться во всех направлениях. Облако топливно-воздушной смеси высотой 1 м распространялось, в том числе, в сторону автостраты. В это время внутризаводская дорога перекрыта не была. Автомобиль въехал прямо в облако, а затем остановился (на расстоянии 160 м от места утечки). Вероятно, облако воспламенилось от неисправной фары автомобиля. Водитель покинул машину, но был застигнут огнем и получил смертельные ожоги. Огонь достиг аварийного резервуара и воспламенил поток СУГ, истекающий из него.</p> <p>В 7 ч 30 мин. около 10 работников принялись тушить пожар порошком. Это имело определенный успех (пожар был практически потушен), но запас порошка был исчерпан и огонь разгорелся снова.</p>	<p>соседнего шарового резервуара, который упал так, что его предохранительный клапан стал выбрасывать жидкость.</p> <p>Еще через 10 мин. взорвался второй шаровой резервуар. Третий резервуар опорожнялся через разрушенный трубопровод. Три других шаровых резервуара с бутаном разрушились без образования осколков.</p> <p>У нескольких шаровых резервуаров из-за тепловой нагрузки пожара были повреждены опоры.</p> <p>В результате аварии разрушились 5 шаровых резервуаров, а также загорелись резервуары с бензином и нефтью. Пожар был в основном потушен через 48 ч.</p> <p>От огненного шара в результате взрыва первого резервуара пострадали люди, находившиеся на расстоянии 300 м от резервуара. Последующие взрывы к травмам не привели.</p> <p>Ущерб для населенного пункта Фейзен, расположенного в 400 м от парка СУГ, был значительным, но разрушения от взрывов были небольшими.</p>	<p>курсу 1990 г.).</p>

Дата и место аварии, используемый источник информации	Вид аварии (неполадки)	Описание аварии и основных причин	Масштабы развития аварии, максимальные зоны действия поражающих факторов	Число пострадавших, ущерб
		<p>Давление в резервуаре вначале составляло 0,7 МПа, затем из-за тепловой нагрузки на нижнюю часть резервуара оно начало быстро повышаться. В 7 ч 45 мин. на аварийном резервуаре сработал предохранительный клапан. Сбрасываемый газ мгновенно воспламенился. Высота горящих струй достигала 30...40 м.</p> <p>В 8 ч 30 мин. начала подаваться вода на охлаждение соседних резервуаров, но аварийный резервуар не охлаждался. Считалось, что горящий резервуар скоро опорожнится через систему откачки жидкой фазы и предохранительный клапан. Это было ошибочным решением, так как в результате действия пламени произошло разупрочнение материала стенок резервуара, находящихся выше уровня жидкости, что стало причиной их разрыва (считается, что температура «сухой» стенки могла достигать 1000 °С).</p> <p>По данным [3.17] в аварии участвовало 1000 т СУГ.</p>		
01.10.1969, Эскомбрерас (Испания), [3.47, 3.48]	Взрыв облака топливно-воздушной смеси (пропан)	Выброс пропана из горизонтального цилиндрического резервуара, расположенного в резервуарном парке НПЗ. Облако распространилось на расстояние 200 м и воспламенилось от двигателя градирни.	Тротиловый эквивалент взрыва - 0,012 т.	Погибло 4 чел., 3 чел. ранено. Ущерб составил 42,9 млн. долларов США (по курсу на III квартал 1991 г.).
30.03.1972, Рио-де-Жанейро (Бразилия), [3.48, 3.49]	Взрыв при расширении паров вскипающей жидкости (бутан)	<p>30 марта 1972 г. взорвался один из пяти шаровых резервуаров СУГ на НПЗ Дуки-ди-Кашьяш в г. Рио-де-Жанейро (Бразилия).</p> <p>Оператор осуществлял дренирование подтоварной воды из нижней части 1600 м³ шарового резервуара. Во время операции он отлучился, оставив открытым 50 мм дренажный клапан. По возвращении он обнаружил, что уже не может добраться до клапана, чтобы закрыть его, так как струя жидкости (теперь уже</p>	-	Убито 37 чел., 53 чел. ранено. Ущерб составил 13,4 млн. долларов США (по курсу 1990 г.).

Дата и место аварии, используемый источник информации	Вид аварии (неполадки)	Описание аварии и основных причин	Масштабы развития аварии, максимальные зоны действия поражающих факторов	Число пострадавших, ущерб
		СУГ), образовала кратер в разрушенном каменном основании под резервуаром. Образовалось облако топливно-воздушной смеси, которое воспламенилось. Пламя достигло аварийного шарового резервуара. Спустя 15...20 мин. сработал предохранительный клапан и выброшенный через него газ воспламенился. Затем произошел взрыв при расширении паров вскипающей жидкости. Оставшиеся четыре шаровых резервуара не взорвались.		
03.04.1977, Умм-Саид (Катар), [3.47,3.48]	Пожар пролива (пропан)	<p>3 апреля 1977 г. на ГПЗ в г. Умм-Саид (Катар, Персидский залив) произошел катастрофический отказ одностенного (стенка из углеродистой стали) изотермического резервуара с СУГ (пропан) объемом 37 тыс. м³. СУГ хранился при температуре минус 42 °С и давлении, близком к атмосферному. Жидкий пропан переклестнул через стенку обвалования и пролился на песок. Пропан попал на соседнюю установку сепарации и воспламенился. Возник крупный пожар, который нанес серьезный ущерб, бесконтрольно горел в течении 2 дней и был потушен только через 8 дней.</p> <p>Отказ произошел по сварному шву стенки резервуара. Сообщается, что год назад (23 апреля 1976 г.) из-за того же сварного шва произошла утечка пропана, образовалось облако топливно-воздушной смеси, которое распространилось на 150 м и не воспламенилось.</p> <p>В аварии участвовало 23 тыс. т пропана.</p>	-	7 чел. погибли, 13 чел. получили ранения. Ущерб составил 139 млн. долларов США (по курсу 1990 г.) [3.48]. По другим данным ущерб составил 140 млн. долларов США (по курсу на III квартал 1991 г.) [3.47].
30.05.1978, Техас-Сити (штат Техас, США), [3.48, 3.50]	Взрыв при расширении паров вскипающей жидкости, огненный шар (изобутан)	30 марта 1978 г. пожар и серия взрывов произошли в резервуарном парке НПЗ в г. Техас-Сити (штат Техас). Резервуарный парк включал три шаровых резервуаров объемом 800 м ³ каждый, а также горизонтальные и вертикальные цилиндрические резервуары.	После горения в течении 30...60 с шаровой резервуар (№ 409) разрушился на три огромных осколка. Один из них отлетел на расстояние 80 м. В огненный шар было вовлечено около 800 м ³ изобутана. Вскоре	Погибли 7 чел., ранено 10 чел. Ущерб составил 93 млн. долларов США (по курсу 1990 г.).

Дата и место аварии, используемый источник информации	Вид аварии (неполадки)	Описание аварии и основных причин	Масштабы развития аварии, максимальные зоны действия поражающих факторов	Число пострадавших, ущерб
		<p>В 2 ч один из шаровых резервуаров (№ 409) был поврежден давлением при наливке, из-за отказа манометра и предохранительного клапана (по другим данным отказал уровнемер). Образовалась трещина по сварному шву и произошла утечка части содержимого резервуара. СУГ воспламенился от неизвестного источника. Пламя достигло аварийного резервуара.</p> <p>По данным [3.49] в аварии участвовало 1,5 тыс. т СУГ.</p>	<p>произошло несколько взрывов горизонтальных и вертикальных цилиндрических резервуаров меньшего объема. Отказы резервуаров происходили в основном по сварным швам. Осколки разлетались в различных направлениях на расстояние до 135 м.</p> <p>В 2 ч 20 мин. произошел взрыв еще одного шарового резервуара (№ 407). Огненный шар был поменьше прежнего (резервуар был частично заполнен СУГ). Верхняя часть шарового резервуара пролетела 190 м и стала причиной разрушения резервуара противопожарного запаса воды и одного из противопожарных насосов. Тем не менее, противопожарные насосы с приводом от ДЭС, остались в работоспособном состоянии. Другие осколки повредили соседние установки.</p> <p>Предохранительных клапан этого резервуара найден на расстоянии 500 м.</p> <p>Разрушения от осколков второго резервуара были намного большими, чем от первого, так как они пролетели дальше и поразили критически важные объекты.</p> <p>По другим данным третий шаровой резервуар, который был практически пустой, отказал из-за теплового воздействия на верхнюю часть стенки, но остался в вертикальном положении. Четыре горизонтальных и</p>	

Дата и место аварии, используемый источник информации	Вид аварии (неполадки)	Описание аварии и основных причин	Масштабы развития аварии, максимальные зоны действия поражающих факторов	Число пострадавших, ущерб
			<p>два вертикальных цилиндрических резервуара были повреждены осколками.</p> <p>Более слабые взрывы происходили вплоть до 6 ч. Не было никаких свидетельств воздействия сильного избыточного давления, однако, в новостях сообщили, что на расстоянии 3,5 км были выбиты окна.</p>	
<p>20.11.1980, Вилдстоун (Мидлсекс, Великобритания), [3.48]</p>	<p>Образование облака топливно-воздушной смеси (пропан)</p>	<p>В 19 ч 15 мин. 20 ноября 1980 г. началась утечка пропана из резервуара хранения в г. Вилдстоун (графство Мидлсекс). Вместимость емкости была 10 т, количество пропана в ней – 5 т.</p> <p>Ночной сторож почувствовал запах одоранта, но стал искать утечку в здании, пока не услышал шипящий звук и не увидел белое облако высотой 1,2 м вокруг основания резервуара. Между тем прохожий вызвал пожарных. Утечка продолжалась несколько часов. Около 2100 человек было эвакуировано.</p> <p>Утечка произошла из-за удаления механиком и слесарем трех из четырех болтов в месте крепления дренажного клапана резервуара.</p> <p>Работы проводились после полудня. Наличие определенного времени между удалением болтов и началом утечки было объяснено специалистами накоплением в резервуаре тяжелого вязкого остатка (газ отбирался в течение 10 лет только сверху резервуара).</p>	<p>-</p>	<p>Погибших не было. Один человек получил травмы.</p>
<p>19.11.1984, Сан-Хуан-Иксуатепек, Мехико-Сити (Мексика) [3.47...3.51]</p>	<p>Взрывы при расширении паров вскипающей жидкости, огненные шары, пожар-вспышка</p>	<p>Хранилище состояло из четырех шаровых резервуаров объемом 1600 м³ (были заполнены на 50 %), двух шаровых резервуаров объемом 2400 м³ и 48 горизонтальных цилиндрических резервуаров различного объема (все были заполнены на 90 %). На момент катастрофы в</p>	<p>Снимки камер видеонаблюдения свидетельствуют, что огненные шары имели диаметры 200..300 м и время существования около 20 с.</p> <p>Взрывами была образована масса осколков. Многие из них были массивными и разлетались на</p>	<p>Погибло более 500 чел., около 7 тыс. чел. получили ранения [3.47, 3.50].</p> <p>По другим данным травмы получили</p>

Дата и место аварии, используемый источник информации	Вид аварии (неполадки)	Описание аварии и основных причин	Масштабы развития аварии, максимальные зоны действия поражающих факторов	Число пострадавших, ущерб
	(СУГ : 20 % пропана и 80 % бутана)	<p>хранилище содержалось примерно 11...12 тыс. м³ СУГ.</p> <p>В 5 ч 30 мин. в операторной и в насосной, находящейся в 40 км от хранилища, было зарегистрировано падение давления. Операторы пытались найти причину этого, но безуспешно.</p> <p>Это разрушился 200 мм трубопровод СУГ между шаровым и цилиндрическими резервуарами. Утечка СУГ продолжалась 5...10 мин.</p> <p>Был легкий ветерок (0,4 м/с), относящий облако топливно-воздушной смеси на юго-запад. Люди в близлежащих домах слышали шум истекающего газа и чувствовали его запах.</p> <p>В 5 ч 40 мин., когда облако достигло размеров 200×150 м и высоты 2 м, оно воспламенилось от факельной установки, находившейся на уровне земли, в 100 м от места утечки. Пожар-вспышка охватил большую площадь. Загорелось около 10 жилых домов. Воспламенение сопровождалось взрывами газа внутри близлежащих домов, куда проник газ. На месте трещины трубопровода образовался мощный факел горящего газа, который был направлен в сторону шарового резервуара объемом 1600 м³.</p> <p>Предприняты первые попытки эвакуации людей и локализации аварии. Один работник уехал в соседнее депо за помощью. Пять других работников были найдены мертвыми на пути движения к операторной или противопожарной насосной. Кто-то все-таки нажал кнопку аварийного останова.</p> <p>Некоторые жители бросились на улицу, но большинство осталось в своих домах. Многие думали, что это было землетрясение.</p> <p>В 5 ч 45 мин. прогремел первый взрыв при расширении паров вскипающей жидкости. Примерно</p>	<p>большие расстояния. 25 больших осколков (весом 10...40 т) четырех шаровых резервуаров объемом 1600 м³ были найдены в 100...890 м. 40 из 48 цилиндрических резервуаров весом 20 т превратились в осколки, летящие под действием реактивной струи на расстояния более 100 м; один залетел на расстояние 1200 м. Четыре горизонтальных цилиндрических резервуара были вообще не найдены.</p> <p>Хранилище и зона застройки вокруг него были практически полностью разрушены. В результате аварии взорвались практически все цилиндрические резервуары. Также были разрушены 4 шаровых резервуара объемом 1600 м³. Два шаровых резервуара объемом 2400 м³ были повреждены. Сильно пострадали две газобаллонные станции из-за большого количества взрывов баллонов с газом (исчислялось сотнями). В 1984 г. жилые дома располагались в основном в 200 м от хранилища, отдельные дома – на расстоянии 130 м (по другим данным – на расстоянии 100 м [3.19]). Люди, жившие в радиусе до 300 м от центра площадки, были убиты или ранены. Практически все жилые дома (легкие конструкции, в которых проживало в среднем по 5 чел.) в радиусе 300 м были сильно повреждены. Произошли многочисленные взрывы газа внутри</p>	<p>7231 чел., из которых 144 умерли в больнице [3.51].</p> <p>Около 200 тыс. человек остались без крова или были эвакуированы. По данным [3.49] погибло около 650 чел. и ранено около 6400 чел.</p> <p>Ущерб составил 22,5 млн. долларов США (по курсу 1990 г.).</p>

Дата и место аварии, используемый источник информации	Вид аварии (неполадки)	Описание аварии и основных причин	Масштабы развития аварии, максимальные зоны действия поражающих факторов	Число пострадавших, ущерб
		<p>через минуту прогремел еще один взрыв (один из двух самых мощных за всю аварию). Один или два шаровых резервуара объемом 1600 м³ взорвались, образовав огненный шар диаметром 300 м.</p> <p>Полился дождь из капель СУГ. Проливы жидкости воспламенились от огненных шаров.</p> <p>Последовала серия взрывов при расширении паров вскипающей жидкости (произошло около 15 взрывов за час-полтора). Взрывы регистрировались сейсмографами в Университете Мехико. Взорвались все 4 шаровых резервуара объемом 1600 м³ и многие из цилиндрических резервуаров. Только 4 из 48 горизонтальных цилиндрических резервуаров остались на своих фундаментах. Два шаровых резервуара объемом 2400 м³ не взорвались, но рухнули на землю из-за разрушения опор.</p> <p>Взрывами образована масса осколков. Осколки несли как механические повреждения, так и горящий СУГ, от которого воспламенялись дома.</p> <p>В 11 ч прогремел последний взрыв резервуара.</p> <p>Пожарные были вызваны в 5 ч 45 мин., однако прибыли они через 3 ч. Первоначально пожарные выехали на соседний объект (газобалонную станцию), куда прилетел осколок шарового резервуара и начался пожар. Пожарные также боролись с горением на двух шаровых резервуарах объемом 2400 м³, которые не взорвались. В 23 ч пожар был потушен. В это время на площадке находилось около 200 пожарных.</p> <p>На основе анализа разрушений специалисты пришли к следующим выводам:</p> <ul style="list-style-type: none"> - взрывные волны образовывались за счет энергии расширяющегося газа, а не энергии, выделяющейся при мгновенном испарении жидкости; 	<p>домов. Многие люди получили сильные ожоги от капель СУГ.</p>	

Дата и место аварии, используемый источник информации	Вид аварии (неполадки)	Описание аварии и основных причин	Масштабы развития аварии, максимальные зоны действия поражающих факторов	Число пострадавших, ущерб
		<p>- по-видимому размеры огненных шаров были меньше теоретически предсказанных;</p> <p>- всякий раз при разрушении резервуаров на уровне земли образовывались быстро расширяющиеся огненные шары;</p> <p>- при разрушении шаровых резервуаров образовывалось от 10 до 20 осколков, тогда как при разрушении горизонтальных цилиндрических резервуаров – 2 осколка.</p> <p>По данным [3.49] в аварии участвовало 3 тыс. т СУГ.</p>		
01.04.1990, Сидней (Австралия), [3.49]	Взрывы при расширении паров вскипающей жидкости, огненные шары (СУГ)	<p>Примерно в 20 ч 45 мин. на терминале СУГ, расположенном в пригороде г. Сидней, произошел взрыв при расширении паров вскипающей жидкости. Он привел к дальнейшей эскалации аварии (то есть возникновению взрывов друг за другом в течение ночи). Пожар начался со взрыва небольшого резервуара с газом. Затем пожар распространился вдоль разрушившихся трубопроводов к четырем основным резервуарам хранения, заполненным на 60 % и содержащим по 40 м³ СУГ. Он нагревал резервуары до тех пор, пока их 15 мм стенки не разрушились, что привело к мощным взрывам при расширении паров вскипающей жидкости. В результате в ночное небо на сотни метров взвились огненные шары и струи горящего газа. Взорвались сотни газовых баллонов, содержавших от 2 до 240 кг СУГ и хранившихся на складе.</p> <p>В аварии участвовало более 240 т СУГ.</p>	<p>После первого же взрыва произошло отключение электроэнергии, были выбиты стекла.</p> <p>Двое пожарных, находившихся поблизости от необслуживаемого депо, вход в которое был закрыт, были отброшены к стене в результате одного из взрывов. Взрывающиеся емкости образовывали летящие осколки; взрывные волны образовывали вторичные осколки из находящихся на их пути объектов. Один из таких осколков выкорчевал телеграфный столб, раздавил женщину, находившуюся в 0,5 км от взорвавшейся емкости. Один из разорвавшихся цилиндрических резервуаров длиной 30 м, был сорван с фундамента и двигался толкаемый реактивной горячей струей газа подобно ракете. При падении он образовал в земле огромный 2 м кратер. Разрушив электроподстанцию и магазин, он упал в канал, в 300 м от разорвавшегося сосуда.</p>	-

Дата и место аварии, используемый источник информации	Вид аварии (неполадки)	Описание аварии и основных причин	Масштабы развития аварии, максимальные зоны действия поражающих факторов	Число пострадавших, ущерб
			<p>К счастью авария произошла в воскресенье. Если бы это было в будний день, то в оживленном районе города тысячи людей отправились бы на работу и тогда могло бы быть большое количество жертв. Если бы ветер дул в другую сторону, огонь бы мог распространиться на хранилище авиационного керосина, находящееся в 20 м.</p> <p>Международный аэропорт Мэскот находился в нескольких сотнях метров от места аварии. При взрыве одного из резервуаров взрывная волна ударила в пассажирский самолет. Пассажиры самолетов, люди, находившиеся в здании аэропорта, а также в расположенной рядом гостинице, были эвакуированы. Пожарные команды аэропорта были приведены в полную боевую готовность. Когда персонал открыл на уцелевших резервуарах предохранительные клапаны для сброса давления, чтобы разгрузить их, произошла серия взрывов.</p> <p>Здания на площадке предприятия, расположенные рядом с емкостями, были разрушены. У тех зданий, которые уцелели, с петель были сорваны двери, подорваны крыши и выбиты окна. В другом месте, на территории площадью 10 га были обнаружены обломки 10 автоцистерн, 3 полуприцепов-цистерн.</p>	

Дата и место аварии, используемый источник информации	Вид аварии (неполадки)	Описание аварии и основных причин	Масштабы развития аварии, максимальные зоны действия поражающих факторов	Число пострадавших, ущерб
			Близлежащий завод по производству битума был разрушен.	
02.10.1997, Бернсайд (штат Иллинойс, США), [3.49]	Взрыв при расширении паров вскипающей жидкости (СУГ)	В результате пожара на рядом расположенной зерносушилке произошел взрыв при расширении паров вскипающей жидкости резервуара СУГ объемом 3,8 м ³ . По прибытии пожарной машины из резервуара сбрасывался СУГ. Для охлаждения резервуара применялись водяные струи с расстояния около 20 м. При этом в качестве укрытия пожарные использовали складское здание. Резервуар взорвался в течение нескольких минут. Осколки резервуара и вторичные осколки, образовавшиеся в результате воздействия взрывной волны на близлежащие объекты, попали в нескольких пожарных и в пожарную машину.	-	Два пожарных погибли, два - получили тяжелые увечья.

2.1.3 Анализ основных причин произошедших аварий на декларируемом объекте

Ввиду того, что сведения об авариях, имевших место на декларируемом объекте, отсутствуют, проведен статистический анализ произошедших известных аварий на аналогичных ОПО, опубликованных в открытых источниках и описанных выше. Проанализированы аварии, происшедшие на аналогичных объектах в период с 2015 г. по 2022 г. Основную опасность для промышленной территории опасных производственных объектов, на которых обращаются углеводороды, представляют аварийная загазованность, пожары и взрывы. Из рисунка (Рисунок 2.1) видно, что наиболее вероятными сценариями на наружных технологических установках являются пожары, вспышки и загорания, которые случались в четыре раза чаще взрывов и хлопков.

Пожары и взрывы на открытых технологических установках возникают в ситуациях, которые характеризуются неконтролируемым выбросом горючих сред в атмосферу, загазованностью территории и образованием взрывоопасного облака топливно-воздушной смеси (ТВС), наличием источников зажигания.

Данные по основным источникам воспламенения ТВС на открытых технологических установках приведены на рисунке (Рисунок 2.2). Из рисунка (Рисунок 2.2) видно, что наиболее частыми источниками воспламенения являлись нагретая до высокой температуры поверхность оборудования и открытый огонь при газосварочных работах.

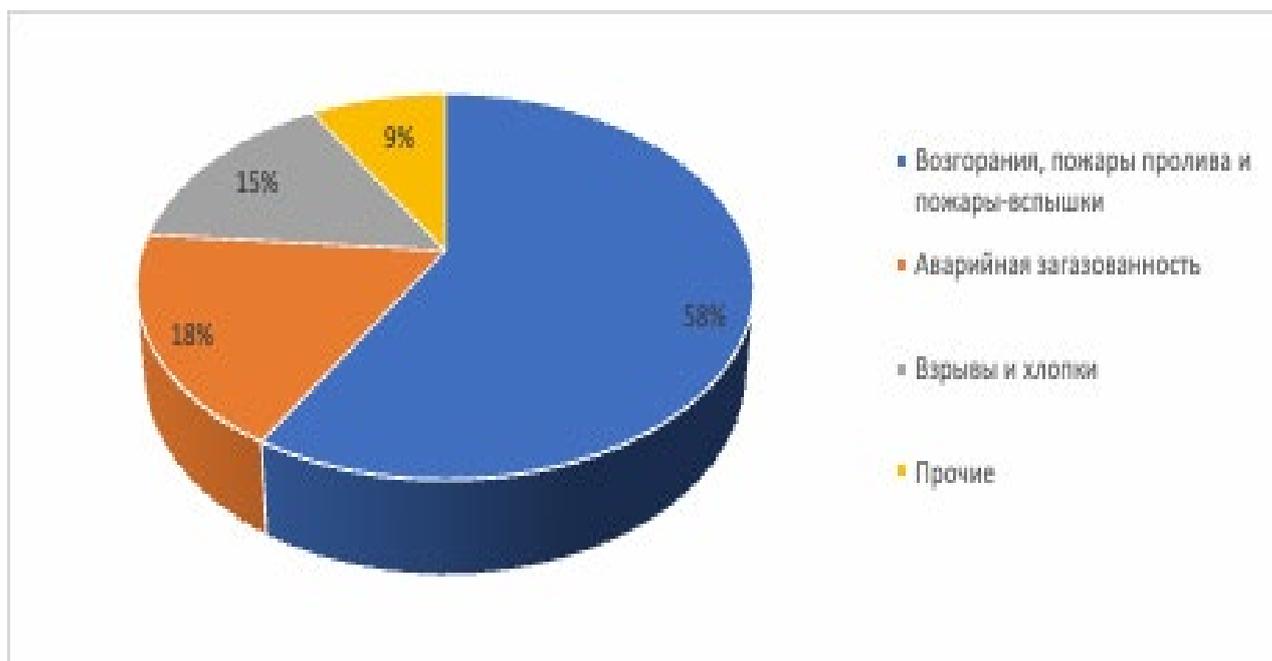


Рисунок 2.1 – Данные по возможным сценариям развития аварий на открытых технологических установках

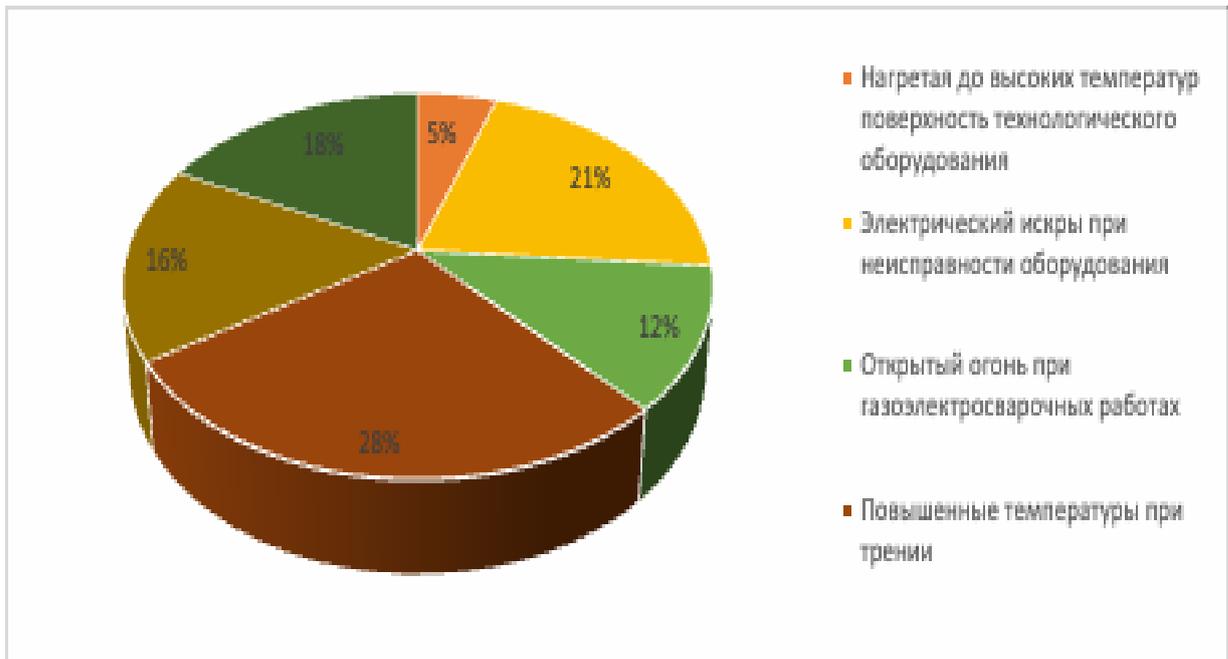


Рисунок 2.2 – Данные по возможным источникам воспламенения при авариях на открытых технологических установках

Причины возникновения аварий, связанные с технологическим оборудованием, расположенным на открытых производственных площадках, представлены на рисунке (Рисунок 2.3).



Рисунок 2.3 – Причины возникновения аварий, связанные с технологическим оборудованием, расположенным на открытых производственных площадках

Вследствие разветвлённой сети технологических коммуникаций, большой плотности насыщения территории предприятий открытыми технологическими установками, высокого энергосодержания этих установок, последствия возможных аварий на открытых площадках представляют значительную опасность.

Распределение количества аварий по видам технологического оборудования представлено на рисунке (Рисунок 2.4). Из рисунка (Рисунок 2.4) видно, что наиболее часто аварии происходили на технологических трубопроводах (соединения, арматура и так далее) и насосном оборудовании.

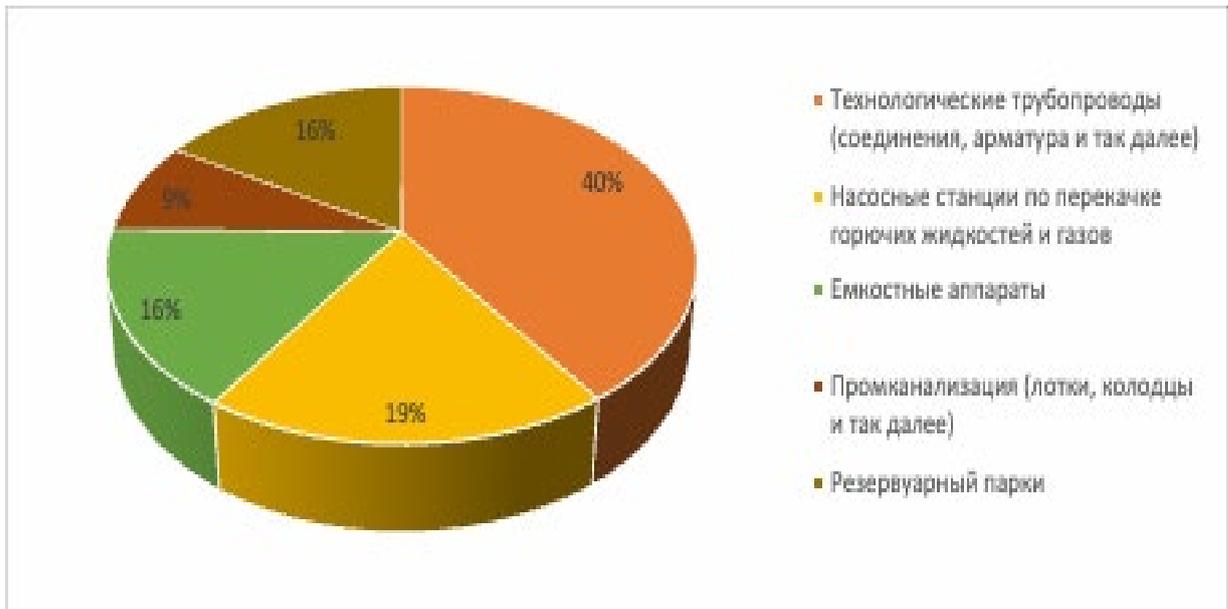


Рисунок 2.4 – Распределение количества аварий по видам технологического оборудования

На рисунке (Рисунок 2.5) представлены данные по причинам аварийных ситуаций, вызывающих пожары, взрывы и аварийную загазованность на открытых технологических установках. Из рисунка (Рисунок 2.5) видно, что наиболее частой причиной таких аварийных ситуаций являются нарушения технологического режима.

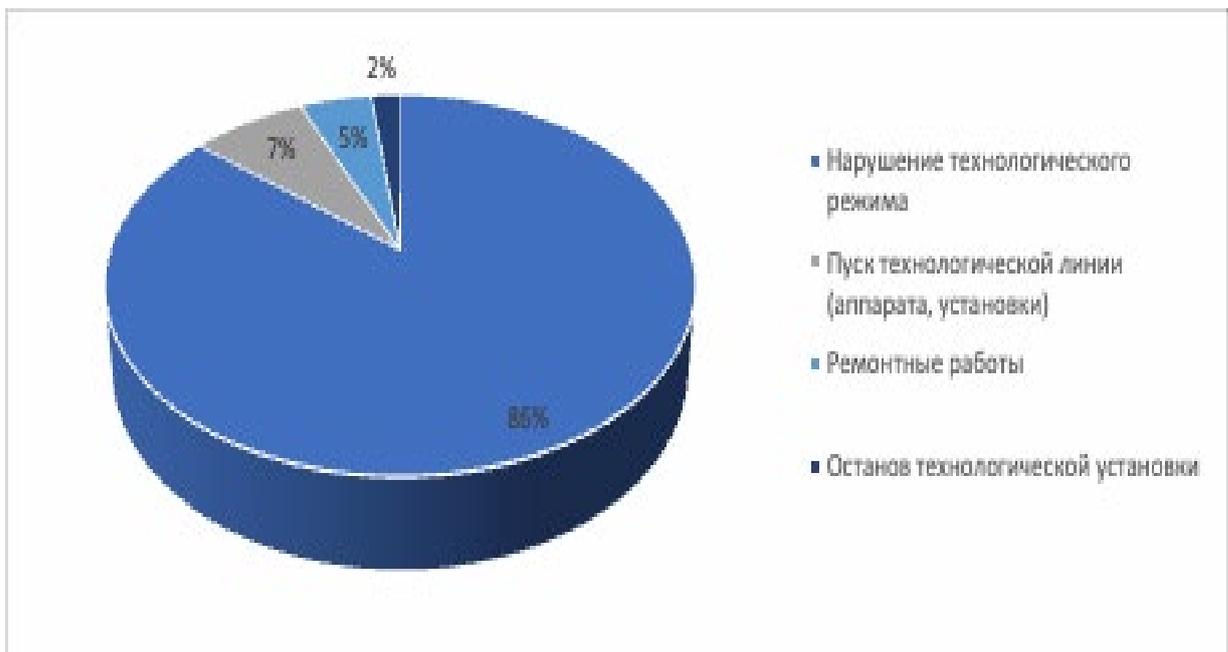


Рисунок 2.5 – Причины аварийных ситуаций, вызывающих пожары, взрывы и аварийную загазованность на открытых технологических установках

Из 150 крупных аварий, произошедших за 1970...1989 гг. в промышленности СССР, при которых во взрывах участвовали:

- 1) горючие углеводородные газы ($C_2...C_4$) – 74 случая (42,5 %);
- 2) пары ЛВЖ – 23 случая (15,5 %);
- 3) водород – 27 случаев (18,0 %);
- 4) пыль органических продуктов – 8 случаев (5,3 %);

- 5) конденсированные нестабильные соединения – 18 (12,0 %).

84 крупномасштабных взрыва произошло в технологической аппаратуре и 66 – в атмосфере, в том числе 100 случаев – в производственных зданиях и 50 – на открытых установках; в 73 случаях наблюдались серьезные разрушения зданий, строительных конструкций и коммуникаций открытых технологических установок и других объектов.

Проведен анализ вещества облака ТВС для 177 случаев крупных аварий (некоторые из них сопровождались взрывами ТВС). В образовании облака ТВС участвовало около 30 различных веществ (в основном органические соединения); преобладающее количество веществ составляли соединения C2...C4; все соединения C2...C6 участвовали во взрывах облака ТВС. В 40 % случаев облако ТВС состояло из углеводородов C3...C4.

Из общего числа исследованных случаев только в 7 (4 %) залповые утечки горючих газов и паров не сопровождались воспламенением. Из остальных 170 случаев 35 % завершались взрывами, 23% – взрывы сочетались с пожарами, 34% – сопровождались только пожарами. Это свидетельство того, что при мгновенных выбросах углеводородов воспламенение практически оказывается неизбежным, в двух случаях из трех они сопровождаются взрывом. Наиболее тяжелыми последствиями характеризуются взрывы больших масс паров (газов) и взрывы в сочетании с пожарами.

Статистика аварий с горением ТВС

Авария, связанная с выбросом горючего вещества (жидкости или газа) может развиваться по четырем сценариям:

- 1) рассеивание образовавшегося облака ТВС без воспламенения;
- 2) воспламенение в начале утечки (как правило, авария завершается пожаром без взрыва ТВС);
- 3) образовавшееся облако ТВС воспламеняется после некоторой задержки и возникает пожар (пожар-вспышка);
- 4) образовавшееся облако ТВС воспламеняется после некоторой задержки, но фронт пламени значительно ускоряется и возникает ударная волна (взрыв ТВС).

Статистический анализ охватывает только аварии третьего и четвертого типа. Случаи второго типа не учитывались, так как воспламенение в начале утечки обычно не приводит к взрыву ТВС. Аварии проанализированы по десяти факторам, перечисленным ниже.

Количество опасного вещества, участвующего в аварии. Данный параметр может влиять на массу горючего вещества, способного участвовать во взрыве, а также на размеры зон, ограниченных концентрационными пределами распространения пламени, и таким образом важен в отношении оценки возможных последствий воспламенения. Принято следующее распределение по массе аварийного выброса опасных веществ:

- 1) менее 0,1 т;
- 2) от 0,1 до 1 т;
- 3) от 1 т до 10 т;
- 4) от 10 т до 100 т;
- 5) более 100 т.

Степень чувствительности горючего вещества. Известно, что в замкнутых объемах различные газы реагируют по-разному при остальных равных условиях. В анализе использовалась та же классификация, что и для случая замкнутых объемов:

- 1) вещества с высокой реакционной способностью;
- 2) вещества со средней реакционной способностью;
- 3) вещества с низкой реакционной способностью.

Тип источника зажигания. Теоретические исследования свидетельствуют, что место воспламенения имеет важное значение в отношении возможных последствий аварии. Данный параметр может влиять на скорость распространения фронта пламени. Рассматривались два типа источников воспламенения:

- 1) постоянно действующие источники;
- 2) периодически действующие источники.

Первый тип, как правило, приводит к воспламенению облака с края, второй может приводить к воспламенению облака в центральной его части.

Дрейф облака ТВС. Расстояние, на которое может продрейфовать облако ТВС является весьма важным параметром для анализа риска. Использовались следующие градации:

- 1) менее 0,1 км;
- 2) от 0,1 до 1 км;
- 3) более 1 км.

Наличие избыточного давления. После воспламенения облака ТВС фронт пламени распространяется по области, где концентрация газа находится в концентрационных пределах распространения пламени. При увеличении скорости распространения фронта пламени может возникнуть ударная волна, поэтому, все аварии разделены на две группы:

- 1) воспламенение приводит к взрыву ТВС;
- 2) воспламенение приводит к пожару-вспышке, то есть ударная волна не образуется.

Степень загромождения пространства. Экспериментальные данные свидетельствуют, что значительное влияние на скорость распространения фронта пламени оказывают повторяющиеся препятствия и (или) полузамкнутые объемы.

Из описания аварий можно сделать вывод о том, что зачастую в месте образования облака имеются здания и плотно размещенное технологическое оборудование. Такие аварии классифицировались как аварии с воспламенением частично загроможденного и (или) ограниченного облака ТВС. Остальные аварии рассматривались как случаи с воспламенением неограниченного и не загроможденного препятствиями облака.

Задержка воспламенения. Момент времени воспламенения облака ТВС имеет важное значение в отношении возможных последствий аварии. Рассмотрены следующие временные интервалы:

- 1) менее 1 минут;
- 2) от 1 до 5 минут;
- 3) от 6 до 15 минут;
- 4) от 16 до 30 минут;
- 5) более 30 минут.

Количество погибших. Для анализа риска важно знать, какая будет смертность при взрыве. Для оценки гибели людей использовались следующие градации:

- 1) нет;
- 2) от 1 до 5 человек;
- 3) от 6 до 15 человек;
- 4) от 16 до 50 человек;
- 5) более 50 человек.

Количество раненых. Использовались те же категории, что и для смертельных исходов.

Эскалация аварии («эффект домино»). Анализ крупных аварий с взрывами облаков ТВС свидетельствует о возможности их развития по каскадному варианту, то есть взрыв или пожар может привести к вовлечению в аварию других технологических установок. Все аварии делились на три группы:

- 1) эффект «домино» невозможен из-за отсутствия соседних сооружений;
- 2) эффект «домино»;
- 3) отсутствие эффекта «домино».

Для исключения влияния степени чувствительности вещества на тип процесса взрывного превращения, в ходе статистического анализа была выделена группа аварий, в которых участвовали средне чувствительные вещества (к данному классу веществ в основном относятся углеводороды, обращающиеся на декларируемом объекте). Из 115 аварий в 62 случаях произошел взрыв облака ТВС (54 %), а в 53 – пожар-вспышка (46 %). Данные статистического анализа приведены в таблице (Таблица 2.2).

Таблица 2.2 – Данные статистического анализа

Анализируемый фактор	Взрыв ТВС		Пожар-вспышка	
	Число аварий, шт.	% от общего числа	Число аварий, шт.	% от общего числа
Количество опасного вещества, участвующего в аварии:				
нет данных; менее 100 кг;	0			0
100...1000 кг;	6			17
1000...10000 кг;	15			42
10000...100000 кг;	12			33
более 100000 кг.	3			8
Итого:	36			100
Источник зажигания: нет данных;				
постоянно действующий; периодически действующий.	13			65
	7			35
Итого:	20			100
Дрейф облака: нет данных;				
менее 100 м;	16			55
100...1000 м;	12			41
более 1000 м.	1			4
Итого:	29			100
Степень загромождения пространства:				
наличие препятствий;	37			100
отсутствие препятствий.	0			0
Итого:	37			100
Задержка воспламенения: менее 1 минуты;	5			25

Анализируемый фактор	Взрыв ТВС		Пожар-вспышка	
	Число аварий, шт.	% от общего числа	Число аварий, шт.	% от общего числа
1...5 минут;	7			35
6...15 минут;	5			25
16...30 минут;	3			15
более 30 мин.	0			0
Итого:	20			100
Количество погибших:				
погибших нет;	21			39
1...5 человек;	19			35
6...15 человек;	8			15
16...50 человек;	5			9
более 50 человек.	1			2
Итого:	54			100
Количество раненых:				
раненых нет;	7			15
1...5 человек;	10			22
6...15 человек;	9			20
16...50 человек;	11			24
более 50 человек.	9			19
Итого:	46			100

Выводы, сделанные на основе статистического анализа, приведены ниже.

Количество опасного вещества, участвующего в аварии. Примерно в половине случаев (в 82 из 165) была известна масса выброса. Из рисунка (Рисунок 2.6) видно, что с уменьшением массы выброса уменьшается и количество аварий.

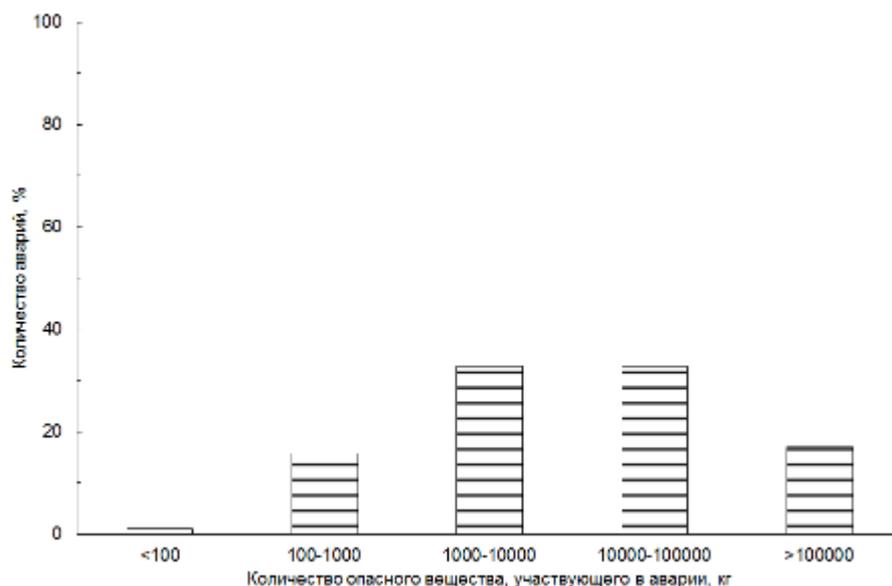


Рисунок 2.6 – Количество опасного вещества, участвующего в аварии

Это объясняется тем, что чем меньше масса выброса, тем меньше вероятность отражения аварии в статистике. Аварии, ведущие к большим человеческим жертвам и значительному материальному ущербу, скорее попадают в поле зрения, чем те происшествия, в которых потенциал опасностей не оказался реализованным в полной мере. Понятно, что человеческие жертвы и материальный ущерб уменьшаются с уменьшением количества опасного вещества, участвующего в аварии.

Поэтому предполагается, что существует некая минимальная масса выброса, ниже которой значительного ущерба не ожидается. Данный анализ дает основание полагать, что такая минимальная масса составляет порядка 100 кг.

Анализ статистики аварий с воспламенением облаков ТВС, состоящих из веществ со средней реакционной способностью, свидетельствует о том, что в определенном диапазоне размер утечки существенно не влияет на вероятность взрыва ТВС. Нижний предел этого диапазона находится в области 100...1000 кг, так как при меньших массах утечек из-за неполноты информации, вероятно, недоучтены аварии, сопровождающиеся пожаром-вспышкой. В области более 100 т возникновение пожара-вспышки предполагается более вероятным.

Степень чувствительности горючего вещества. В 136 из 165 случаев была известна степень чувствительности горючего вещества облака ТВС. В 127 из 136 случаев облако ТВС состояло из веществ со средней реакционной способностью, то есть в 93 % случаев (Рисунок 2.7).

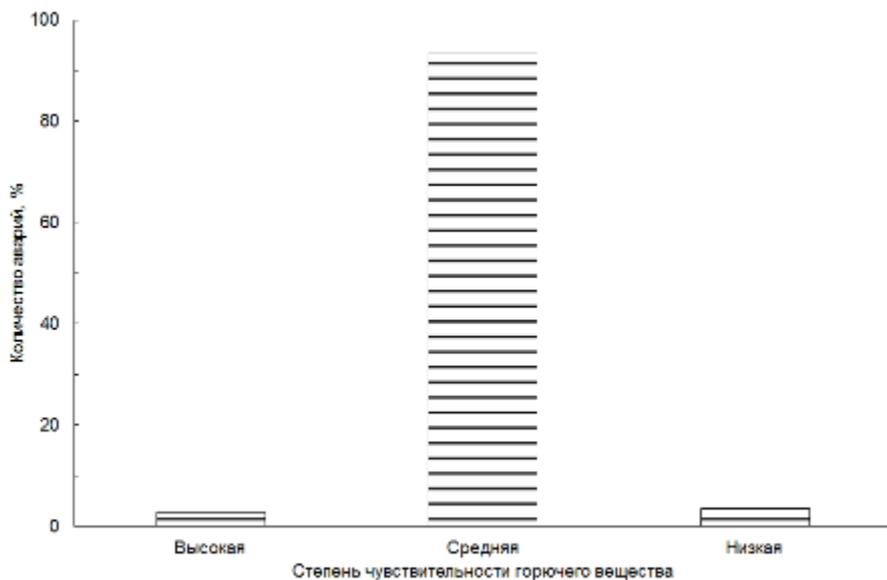


Рисунок 2.7 – Степень чувствительности горючего вещества

Тип источника зажигания. В 56 из 165 случаев был известен тип источника зажигания. В 59 % случаев – это постоянно действующий, а в 41 % – периодически действующий источник зажигания (Рисунок 2.8).

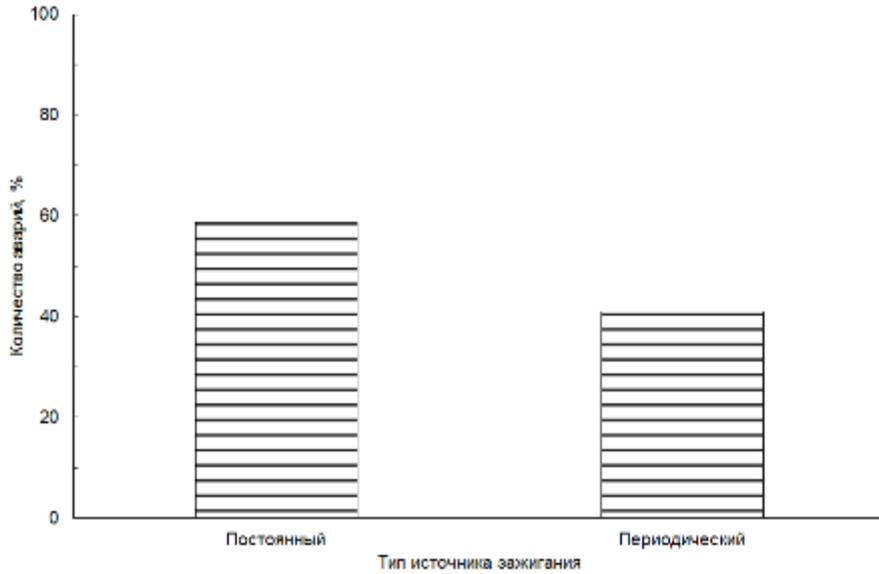


Рисунок 2.8 – Тип источника зажигания

Дрейф облака ТВС. В 87 из 165 случаев было известно расстояние дрейфа облака ТВС до момента его воспламенения. В 63 % случаев воспламенение произошло в пределах 100 м от места утечки и только в 2% – на расстоянии более 1 км (Рисунок 2.9). Расстояние дрейфа облака существенно не повлияло на долевое соотношение сценариев взрыва облака ТВС и пожара- вспышки.

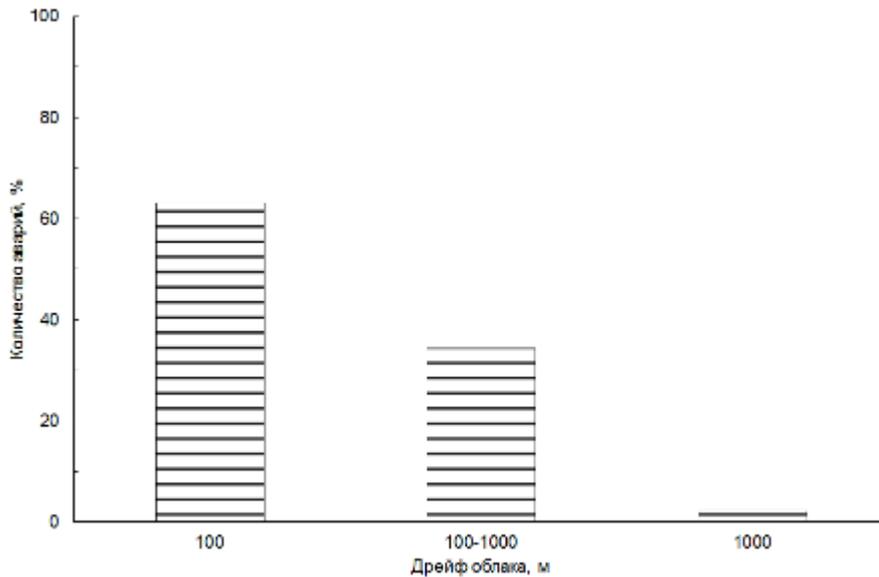


Рисунок 2.9 – Дрейф облака ТВС

Наличие избыточного давления. В 150 из 165 случаев было известно, произошел ли взрыв ТВС, либо пожар-вспышка. В 57 % случаев воспламенение привело к взрыву ТВС, в 43 % – к пожару- вспышке (Рисунок 2.10).

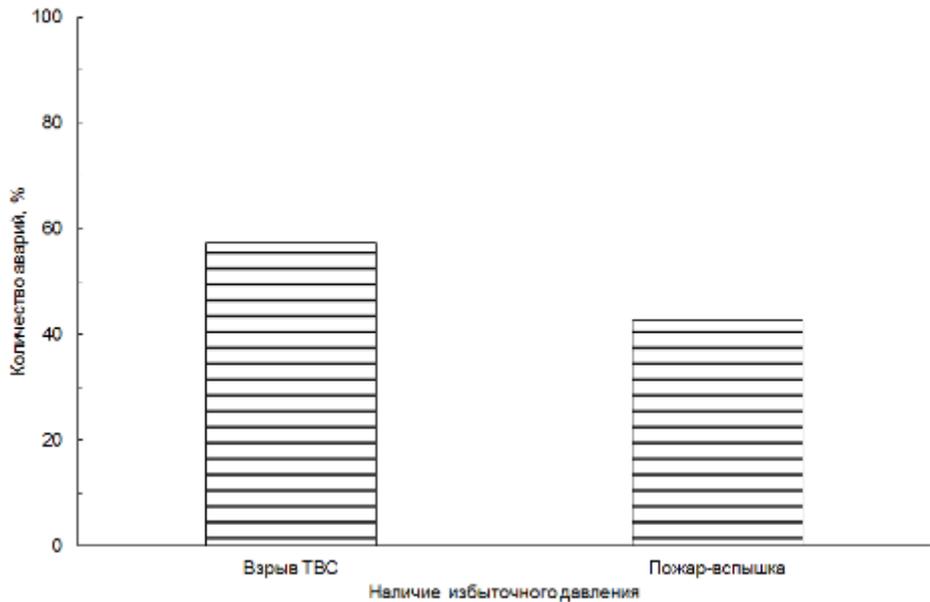


Рисунок 2.10 – Наличие избыточного давления

Степень загромождения пространства. В 81 из 165 случаев были известны данные о загромождении облака ТВС. В 84% случаев аварий в пределах облака ТВС имелись повторяющиеся препятствия и (или) полузамкнутые объемы (Рисунок 2.11).

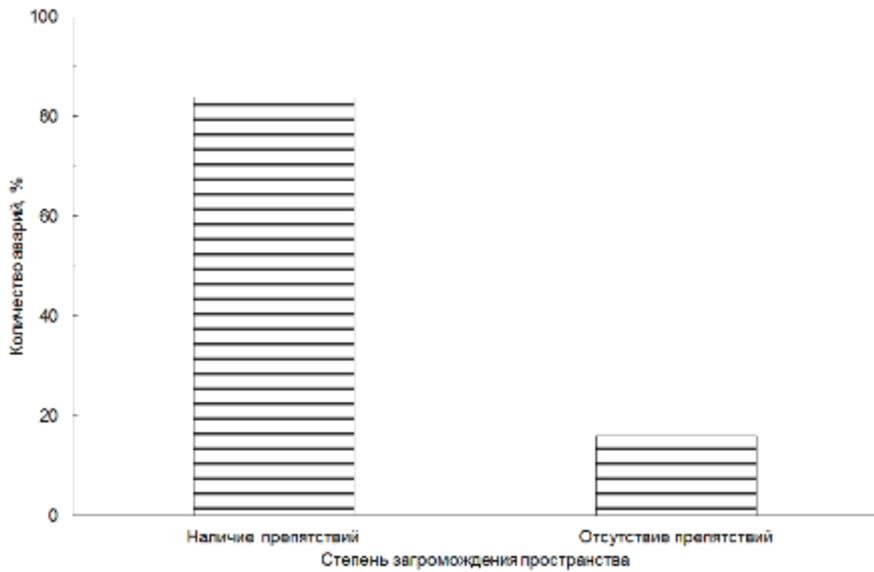


Рисунок 2.11 – Степень загромождения пространства

Все взрывы имели место в случае воспламенения частично ограниченного облака паров. Однако, наличие в пределах облака препятствий и (или) полузамкнутых объемов отнюдь не означает, что результатом воспламенения будет именно взрыв облака ТВС. Во многих случаях происходил пожар-вспышка.

Задержка воспламенения. В 55 из 165 случаев имелись данные по задержке воспламенения. В 60 % случаев облако ТВС воспламенялось в течение пяти минут после утечки и только в 13% случаев – спустя более получаса (Рисунок 2.12).

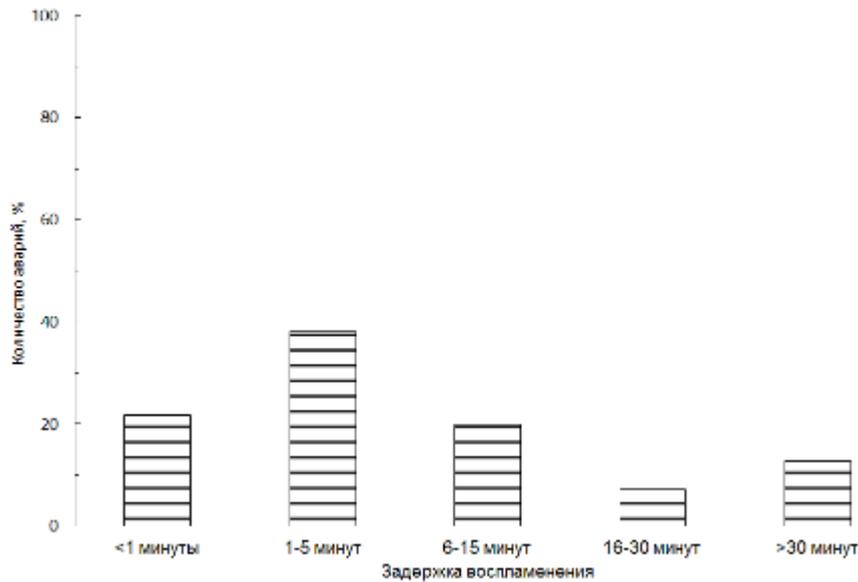


Рисунок 2.12 – Задержка воспламенения

Результаты анализа свидетельствуют, что при задержке воспламенения до одной минуты вероятность взрыва ТВС возрастает (Рисунок 2.13). Это, по-видимому, обусловлено высокой турбулентностью среды в начальной стадии выброса. Турбулентность увеличивает скорость распространения фронта пламени, что в свою очередь приводит к увеличению избыточного давления воздушной ударной волны. При задержке воспламенения более 30 минут зарегистрирован только пожар-вспышка.

Количество погибших. В 143 случаях из 165 было известно количество погибших. В 60 случаях (42 %) жертв не было. В очень редких случаях (2%) количество жертв превышало 50 чел. (Рисунок 2.13).

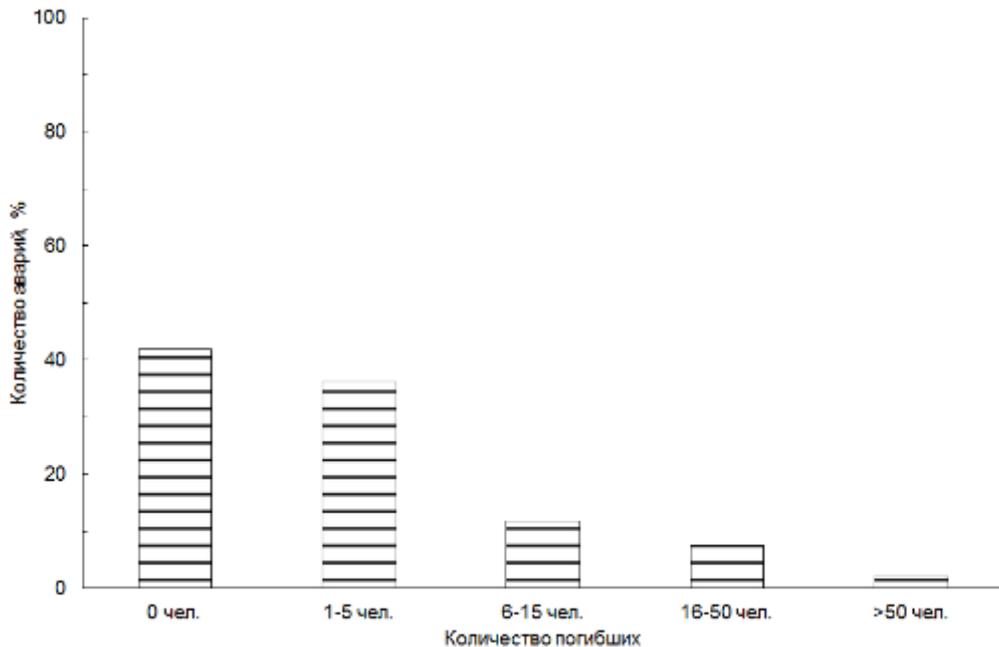


Рисунок 2.13 – Количество погибших

Количество раненых. В 114 случаях из 165 было известно количество раненых. В 30 случаях (26 %) раненых не было. В 13% случаев количество раненых превышало 50 чел. (Рисунок 2.14).

Для случаев взрыва ТВС исходы без жертв составили 39 %, для случая пожара-вспышки – 50%. Разница в процентах исходов с жертвами между взрывом ТВС и пожаром-вспышкой увеличивается с увеличением числа жертв.

Чтобы понять эту закономерность необходимо рассмотреть конкретный пример. К моменту воспламенения облако ТВС покрывает определенную территорию. После воспламенения эта территория подвергается интенсивному тепловому воздействию в относительно небольшой промежуток времени. По данным статистики за пределами этой территории жертвы из-за первичного поражающего действия воздушной ударной волны отсутствовали. Возможное количество жертв, вследствие теплового воздействия, асфиксии и воздействия токсичных продуктов горения определяется количеством людей, попавших в зону распространения облака ТВС, то есть для оценки количества жертв в этом случае не имеет значения наличие воздушной ударной волны.

Вне зоны распространения облака ТВС ситуация иная. Анализ данных многочисленных аварий показывает, что зона теплового воздействия, находящаяся за пределами зоны распространения облака ТВС незначительна и поэтому вероятность смертельного поражения в ней низка. Смертельные исходы за пределами облака ТВС связаны с вторичным поражающим действием воздушной ударной волны (разрушение зданий и сооружений). Таким образом, что касается жертв, различия между взрывом ТВС и пожаром-вспышкой определяются в основном вторичным поражающим действием воздушной ударной волны.

Такой же тренд наблюдается и в случае с ранениями. Для случаев взрыва ТВС исходы без ранений составили 15 %, для случаев пожара-вспышки – 44 %. Разница в процентах исходов с ранениями между взрывом ТВС и пожаром-вспышкой также увеличивается с увеличением числа ранений.

При этом для пожара-вспышки количество раненных приблизительно того же порядка, что и количество погибших. При взрыве ТВС количество раненных почти на порядок выше количества погибших.

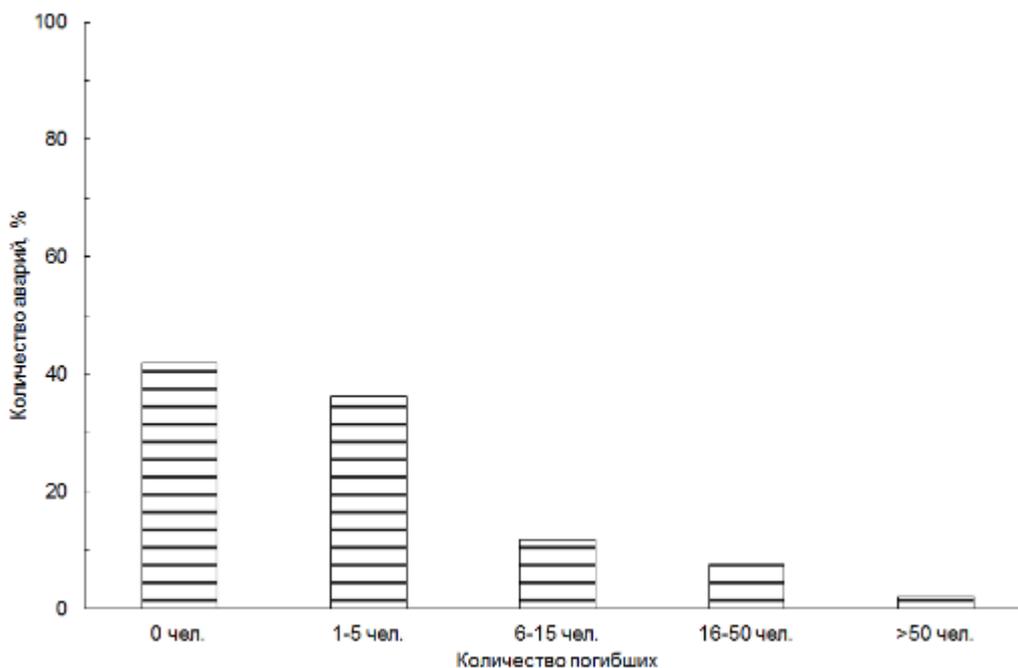


Рисунок 2.14 – Количество раненых

Эффект «домино». В 83 из 165 случаев имелись данные относительно эффекта «домино». В 51 случае (62 %) существовали условия для каскадного развития аварии и в 38 случаев (42 %) из них эффект «домино» реализовался (Рисунок 2.15).

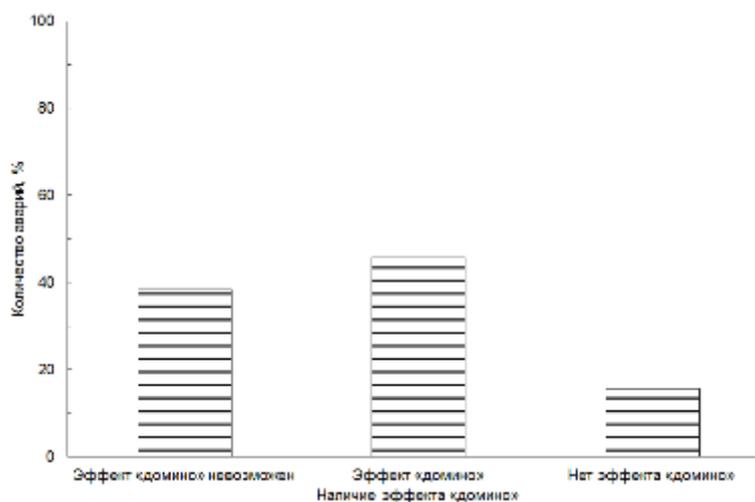


Рисунок 2.15 – Эффект «домино»

2.2 Анализ условий возникновения и развития аварий на декларируемом объекте

2.2.1 Определение возможных причин возникновения аварии на декларируемом объекте и факторов, способствующих возникновению и развитию аварий на декларируемом объекте

Технологические процессы, осуществляемые на ТП-2, являются взрывопожароопасными, вследствие свойств опасных веществ и условий, при которых эти вещества обращаются в технологическом оборудовании и трубопроводах.

Разгерметизация технологического оборудования и трубопроводов может привести к выбросу в окружающую среду взрывопожароопасных газов и жидкостей.

Возможные причины возникновения аварий

Исходя из анализа аварийности, все основные причины возникновения аварий можно объединить в три взаимосвязанные группы, характеризующиеся:

- 1) отказами/неполадками оборудования;
- 2) ошибочными действиями персонала;
- 3) внешними воздействиями природного и техногенного характера.

Все вышеперечисленные факторы могут привести к разгерметизации оборудования и трубопроводов и явиться причиной возникновения на объекте аварийной ситуации любого масштаба.

Возможные причины возникновения аварий, связанные с неполадками/отказами оборудования.

К основным причинам, связанным с отказами/неполадками оборудования, можно отнести:

- 1) физический износ, коррозия, эрозия, температурная деформация технологического оборудования и трубопроводов;
- 2) прекращение подачи энергоресурсов (электроэнергии, воды, воздуха и пр.);
- 3) причины, связанные с типовыми процессами.

Физический износ, коррозия, эрозия, температурная деформация технологического оборудования и трубопроводов могут стать причиной частичной или полной разгерметизации. Исходя из анализа аварийности, можно сделать вывод, что при достаточной прочности конструкции оборудования или трубопроводов, эти разрушения

чаще всего имеют локальный характер и не приводят к серьезным последствиям. Однако, при несвоевременной локализации и ликвидации последствий локального разрушения они могут привести к цепному развитию аварийной ситуации с выбросом больших количеств ОВ.

Прекращение подачи энергоресурсов может привести к остановке насосного и компрессорного оборудования, отказу КИПиА, нарушению технологических режимов обращения ОВ, выходу параметров за критические значения и созданию аварийной ситуации, в том числе с возможным выбросом ОВ.

Учитывая, что на объекте будет предусмотрено резервное питание, включающееся автоматически, можно предположить, что возникновение аварийных ситуаций, связанных с отказом энергосистем, маловероятно.

Реализация опасностей, связанных с типовыми производственными процессами, возможна при разгерметизации (разрушении) оборудования, трубопроводов и их конструктивных элементов. К основным причинам нарушения герметичности относятся:

- 1) ошибки при проектировании и изготовлении (технологический брак, раковины, дефекты в сварных соединениях, усталостные дефекты металла, остаточные напряжения в материале), не выявленные при освидетельствовании;
- 2) отказ приборов и систем контроля и управления технологическим процессом;
- 3) ошибки при проведении монтажных, ремонтных и пусконаладочных работ (напряжения, возникающие при монтаже и ремонте, механические повреждения, трещины).

Наибольшие опасности на объекте связаны с гидродинамическими процессами (в следующих типах оборудования: емкостное оборудование, насосное оборудование, компрессорное оборудование, трубопроводы различных диаметров и протяженности).

Возможные причины возникновения аварий, связанные с ошибочными действиями персонала.

К основным причинам, связанным с ошибочными действиями персонала, можно отнести:

- 1) отсутствие контроля за регламентными значениями параметров;
- 2) неадекватное восприятие поступающей информации;
- 3) несвоевременное принятие мер по локализации и ликвидации аварийных ситуаций;
- 4) ошибки при пуске и остановке оборудования, ведении ремонтных, профилактических и других работ, связанных с неустойчивыми технологическими режимами.

Как показывает практика, при отсутствии достаточного контроля со стороны обслуживающего персонала за регламентными значениями параметров процессов, неадекватном восприятии информации и несвоевременностью принятия мер по локализации и ликвидации аварийных ситуаций возможен выход параметров за критические значения, разгерметизация оборудования (от частичной до полной) и выброс ОВ.

Особую опасность представляют ошибки при пуске и остановке оборудования, ведении ремонтных, профилактических и иных работ, связанных с неустойчивыми технологическими режимами, освобождением и заполнением оборудования ОВ.

В реальных условиях при надлежащей квалификации и подготовке персонала в области промышленной безопасности, а также обучении работников действиям в случае аварии или инцидента можно снизить риск ошибочных действий персонала.

Возможные причины возникновения аварий, связанные с внешними воздействиями природного и техногенного характера.

Исходя из реальной обстановки или по каким-либо причинам на объекте возможно возникновение аварийных ситуаций от следующих внешних воздействий (вероятность реализации указанных аварий и инцидентов незначительна, так как проектные и конструкторские решения по ОПО приняты с учетом воздействия указанных природных и техногенных факторов):

1) грозовые разряды или разряды статического электричества – возможны отказ системы автоматического управления и разгерметизация оборудования (вплоть до полного разрушения), выброс ОВ и возникновение аварийной ситуации, сопровождаемой взрывами и/или пожарами; кроме этого грозовые разряды и разряды статического электричества могут являться источниками воспламенения;

2) смерч, ураган и т.п. – в зависимости от силы проявления данных природных воздействий возможны разрушения различной степени, что может привести к разрушению сооружений, разгерметизации оборудования или трубопроводов и выбросу ОВ;

3) снежные заносы, выход значений температуры и ледовой нагрузки за принятые проектные значения – возможны нарушение режимов работы технологического оборудования, обледенение и последующее обрушение модулей, конструкций и сооружений с последующей разгерметизацией оборудования и выбросом ОВ;

4) специально спланированная диверсия – возможно возникновение крупной аварии с разрушением всего имеющегося оборудования (данная причина представляется маловероятной, поскольку на объекте будут приняты специальные меры по предотвращению постороннего вмешательства в деятельность опасного производственного объекта, а также по противодействию возможным террористическим актам, и доступ посторонних на него будет ограничен).

Возможные факторы, способствующие возникновению аварий

Все факторы, способствующие возникновению аварии, можно условно разделить на следующие взаимосвязанные группы, характеризующиеся:

- 1) свойствами обрабатываемых веществ;
- 2) используемым оборудованием и протекающими в нем технологическими процессами;
- 3) конструктивные особенности;
- 4) внешними факторами.

Возможные факторы, способствующие возникновению аварий, связанные со свойствами обрабатываемых веществ.

Обрабатываемые вещества относятся к горючим жидкостям и воспламеняющимся газам. Под влиянием внешних воздействий (механических повреждений, аварий на соседних блоках и т.д.) может произойти разгерметизация аппаратов и высвобождение значительных количеств опасных веществ. В случае выброса ОВ пары ОВ способны создавать облака ТВС. При наличии источника зажигания они могут воспламеняться с последующим пожаром (взрывом).

Возможные факторы, способствующие возникновению аварий, связанные с используемым оборудованием и протекающими в нем технологическими процессами.

Основные технологические процессы, используемые на объекте, можно отнести к гидродинамическим / газодинамическим (процессы приема хранения и транспортирования ОВ по трубопроводам, перемещение горючих жидкостей насосами и т.д.).

Основными видами используемого оборудования являются:

- 1) емкостное оборудование (резервуары, емкости различного назначения, сепараторы и пр.);
- 2) насосное оборудование;
- 3) трубопроводы различного диаметра и протяженности.

Емкостное оборудование, является источником повышенной опасности из-за значительных объемов ОВ, которые могут находиться в нем, в том числе и при повышенных давлениях и пониженных температурах. Причинами разгерметизации емкостного оборудования могут быть:

- 1) ошибки при проектировании и изготовлении;
- 2) ошибки при проведении монтажных, ремонтных и пусконаладочных работ;
- 3) коррозия;
- 4) взрыв внутри оборудования из-за образования ТВС;
- 5) температурные напряжения, возникающие при сварке во время выполнения монтажных и ремонтных работ (горячие трещины), дефекты формы и размеров;
- 6) нарушение режимов эксплуатации (отказ приборов контроля, переполнение).

Аварийная остановка насосного оборудования может привести к нарушениям гидравлического и теплового режимов работы различных технологических систем объекта, что в свою очередь может привести к разрушению оборудования, выбросу ОВ.

Отдельные элементы конструкции насосов (торцевые уплотнения, подшипниковые узлы и т.д.) обладают низким уровнем устойчивости и являются источником локальных утечек ОВ. Разрушение торцевых уплотнений и подшипников сопровождается повышением температуры этих элементов и/или искрообразованием. Это может привести к воспламенению выбросов ОВ с последующим пожаром (взрывом) в помещениях насосных, что в свою очередь может являться источником цепного вовлечения в аварию оборудования с большими количествами ОВ.

Трубопроводные системы являются источником повышенной опасности из-за большого количества сварных и фланцевых соединений, запорной и регулирующей арматуры, жестких условий работы и значительных объемов ОВ, перемещаемых по ним. Причинами разгерметизации трубопроводов могут быть:

- 1) остаточные напряжения в материале трубопроводов в сочетании с напряжениями, возникающими при монтаже и ремонте, что может привести к разгерметизации отдельных элементов трубопроводной системы (образование трещин, разрывы трубопровода и его элементов, арматуры);
- 2) воздействие температурных деформаций;
- 3) гидравлические удары;
- 4) повышение давления выше критических параметров;
- 5) коррозия, эрозия;
- 6) несоблюдение регламента проведения разгрузочных работ при заполнении систем ОВ.

Возможные факторы, способствующие возникновению аварий, связанные с конструктивными особенностями объекта.

В условиях компактного размещения производственного оборудования и трубопроводов на объекте аварии с пожаром и взрывом на единичном оборудовании (трубопроводе) могут привести к возникновению аварий на соседних оборудовании (трубопроводах) или каскадному развитию аварий по принципу «домино».

Возможные факторы, способствующие возникновению аварий, связанные с внешними факторами.

К основным внешним факторам, способствующим возникновению аварий, можно отнести значительные температурные, снеговые, ледовые и ветровые нагрузки на объекте.

Возможные факторы, способствующие развитию аварий

К факторам, способствующим развитию аварии на объекте, можно отнести:

1) скорость обнаружения аварии и ее локализации (в том числе оперативность и подготовленность персонала к действиям в аварийной ситуации) – определяет количество ОВ, участвующего в аварии и создании поражающих факторов, а также время и характер воздействия поражающих факторов на соседнее оборудование, конструкции, людей;

2) свойства обрабатываемых веществ – определяют сценарий развития аварии (взрыв, пожар, рассеяние без воспламенения, термическое поражение, загрязнение ОС и т.д.);

3) количество обрабатываемого ОВ в единице оборудования и скорость его перемещения по трубопроводам – определяет количество ОВ, участвующего в аварии и создании поражающих факторов;

4) место и характер разрушения оборудования – определяет количество ОВ, участвующего в аварии и создании поражающих факторов, возможность развития аварии по принципу «домино»;

5) погодные условия – определяют возможность возникновения того или иного сценария аварии (взрыв, пожар, рассеяние без воспламенения и т.д.).

2.2.2 Определение сценариев аварий на декларируемом объекте для опасных веществ

В соответствии с [1.33] под сценарием развития аварии понимается последовательность отдельных логически связанных событий, обусловленных конкретным иницирующим (исходным) событием, приводящих к возникновению поражающих факторов аварии и причинению ущерба от аварии людским и (или) материальным ресурсам или компонентам природной среды.

Исходным событием аварии, иницирующим выброс опасного вещества в окружающую среду, является разгерметизация (частичное или полное разрушение) технического устройства (аппарата, трубопровода и так далее).

В зависимости от характера разгерметизации возможны два варианта выброса:

1) при небольших размерах площади отверстия возникает относительно длительное (растянутое по времени) истечение опасного вещества в окружающую среду;

2) при существенном нарушении целостности аппарата или трубопровода в окружающую среду за короткое время выбрасываются значительные объемы опасных веществ.

Для полноты оценки опасности среди всего разнообразия возможных сценариев аварий целесообразно рассмотреть:

1) аварии с наиболее тяжелыми последствиями – как наиболее неблагоприятные варианты развития аварий (как правило, наименее вероятные) и наиболее опасные по последствиям аварийного воздействия. Такие сценарии характеризуются, например, полным разрушением оборудования или трубопроводов с максимальным выбросом опасного вещества. Согласно [1.37] сценарий наиболее опасной по последствиям аварии (наиболее опасный по последствиям сценарий аварии) – сценарий аварии с наибольшим ущербом по людским и (или) материальным ресурсам или компонентам природной среды;

2) наиболее вероятные (типичные) аварии – варианты развития аварии с менее тяжелыми последствиями. Такие сценарии связаны, например, с частичным разрушением оборудования или трубопроводов с утечкой опасных веществ из отверстий. Согласно [1.37] сценарий наиболее вероятной аварии (наиболее вероятный сценарий аварии) – сценарий аварии, вероятность реализации которого максимальна за определенный период времени (месяц, год).

Возможные физические проявления аварий на рассматриваемом ОПО определяются, прежде всего, взрыво- и пожароопасностью обращающихся опасных веществ, а также значениями давления и температуры в технологическом оборудовании. Составляющая ОПО представляет собой различную степень опасности с точки зрения возможности развития аварийных ситуаций, так как оборудование и трубопроводы содержат разные опасные вещества – горючие жидкости, и воспламеняющиеся газы.

Склонность к взрывному химическому превращению определяется химическим строением вещества и количеством тепла, выделяемого при химической реакции. Вещества, обращающиеся на объекте, являются достаточно стабильными химическими соединениями и не склонны к взрывным химическим превращениям, что исключает возможность их самопроизвольного взрыва в технологическом оборудовании.

Важной особенностью ТВС является наличие концентрационных пределов распространения пламени, то есть интервала составов от нижнего концентрационного предела распространения пламени (НКПР) до верхнего концентрационного предела распространения пламени (ВКПР). Технологический процесс на объекте протекает под избыточным давлением и вне области концентрационных пределов распространения пламени, что в свою очередь снижает вероятность взрыва в технологическом оборудовании.

На объекте в технологическом оборудовании и технологических трубопроводах обращаются перегретые жидкости. Критическая температура таких жидкостей выше, а атмосферная точка кипения ниже их рабочей температуры. Отличие жидкостей данной категории заключается в явлении мгновенного испарения, которое возникает тогда, когда в системе понижается давление.

При аварийных утечках таких веществ их испарение происходит как за счет высвобождения внутренней энергии, так и теплоотдачи от окружающей среды. Высвобождение внутренней энергии перегрева происходит при мгновенном испарении жидкости, а переход энергии окружающей среды протекает в процессе теплоотдачи от твердой поверхности к разлитой на ней жидкости и диффузионного тепло- и массообмена с воздухом.

Совместное высвобождение энергий перегрева жидкости и расширяющихся сжатых газов (паров) сопровождается интенсивным диспергированием большей части жидкости в атмосфере.

Перегретыми могут быть жидкости, имеющие температуру кипения выше температуры окружающей среды. В технологических системах высококипящие жидкости при подводе тепла (водяным паром, от экзотермических реакций и так далее) нагреваются до температур выше температуры их кипения при атмосферном давлении и находятся в перегретом состоянии (относительно их температуры кипения). Уровень нагрева жидкости характеризуется разностью между температурой, при которой жидкость находится в технологической системе, и температурой ее кипения при атмосферном давлении. Разлив таких перегретых жидкостей также сопровождается их вскипанием и мгновенным испарением при высвобождении энергии перегрева. Однако, для этих жидкостей отклонение от адиабатических условий, которое возникает из-за потери тепла в окружающую, относительно холодную среду, будет приводить к конденсации части выброшенного пара.

Если нагретая жидкость имеет температуру выше температуры окружающей среды, теплопритока от твердых поверхностей не происходит. Эффект парообразования с поверхности пролитой жидкости, когда температура ее кипения выше температуры окружающей среды, определяется в основном сравнительно медленными диффузионными процессами. Таким образом, скорость парообразования на поверхности разлитой жидкости при быстротечном высвобождении энергии перегрева оказывается несопоставимо малой. В этих случаях решающее влияние оказывают общие запасы внутренней энергии и уровень нагрева.

Опасность перегретых жидкостей заключается в том, что из-за больших скоростей парообразования, в результате крупных утечек за незначительное время образуются массивные облака ТВС.

Истечение из аварийного участка технологического оборудования может происходить как в виде струи газа (пара), так и в виде струи жидкости.

При образовании отверстия ограниченных размеров истечение паров может происходить при критической звуковой скорости, а процесс парообразования перегретой жидкости растягиваться во времени и протекать спокойно без выбросов жидкости. Возможность вовлечения капель жидкости в поток паров будет зависеть от скорости кипения и высоты парового пространства.

При разрывах жидкостных трубопроводов интенсивное испарение может происходить в самой трубе, что приводит к образованию двухфазного потока и снижению массовой скорости истечения. Однако, в любом случае скорость парообразования и эффективность диспергирования будут выше при раскрытии системы в области жидкой фазы по сравнению со случаями пробоя в области зоны над жидкостью.

Наиболее опасным и частым является аварийное истечение из отверстия жидкой фазы в виде струи под большим давлением. При истечении струя распыляется. В это же время происходит интенсивное испарение.

В реальных промышленных условиях ежегодно происходят локальные взрывы (хлопки) парогазовых выбросов из технологических систем, сопровождающиеся сильным звуковым эффектом. При этом также создается избыточное давление, которое в определенных условиях может оказывать разрушающее действие. Наибольший разрушающий эффект имеют локальные взрывы веществ, характеризующихся высокими скоростями распространения пламени при сравнительно небольшой массе горючего вещества.

Горючие смеси газов (паров) с воздухом могут образовываться в ограниченных объемах помещений промышленных зданий. Производственные помещения, как правило, загромождены оборудованием, коммуникациями, перегородками, различными строительными устройствами, являющимися препятствиями, способствующими

турбулизации потоков горящих смесей, многократному отражению ударных волн и их усилению. Скорости нарастания давления в этих случаях достигают высоких значений, при которых сброс давления через специально предусмотренные ослабленные элементы, окна и двери уже невозможен, что приводит к разрушению крыши и стен здания. Разрушающая способность взрывов газов существенно зависит от формы и геометрических размеров замкнутых объемов помещений.

Промышленные взрывы облаков ТВС могут также представлять собой совмещенные взрывы в открытом и замкнутом объемах.

В зависимости от характера окружающего пространства и взрывоопасных свойств ТВС, возможны как дефлаграционные режимы горения, так и детонационное распространение ударных волн [1.7,1.36].

Основным режимом горения облака ТВС на объекте будет дефлаграционный. Тем не менее, в условиях ограниченных объемов помещений промышленных зданий, высокой плотности оборудования и высокой скорости горения топлива, не исключена возможность возникновения детонации.

Как уже было отмечено ранее, в случае частичного разрушения технологического оборудования имеет место непрерывный аварийный выброс находящихся под давлением горючего газа (пара) или перегретой жидкости (в последнем случае происходит двухфазный выброс). В результате импульсного выброса опасное вещество распространяется в виде длинной струи, которая увлекает за собой воздух с образованием горючей смеси. При мгновенном воспламенении такой струи образуется диффузионный факел [1.33].

При разрывах трубопроводов факел может иметь вытянутую форму, а при пробое фланцевого соединения – веерообразную.

Поскольку большинство аппаратов работают под давлением, то реализация факельного горения выбрасываемой струи газа или паро-жидкостной струи будет наблюдаться с максимальной частотой. При этом длина факела для паро-жидкостной струи будет больше по сравнению с газовой струей с одинаковым расходом. Отметим, что для компрессоров и насосов сценарий полного разрушения также приводит к образованию струевого пламени, так как под полным разрушением подразумевается утечка с диаметром истечения, соответствующим максимальному диаметру подводящего или отводящего трубопровода [1.33,1.37].

Факельные пожары характеризуются высокой температурой пламени. Технологическое оборудование, находящееся в зоне горения струи газа и вблизи нее, подвергается интенсивному тепловому воздействию. В ряде случаев температурное воздействие пламени настолько велико, что может прогреть строительные конструкции до критической температуры с последующей эскалацией аварии.

Для пожаров проливов характерно диффузионное горение летучих газов, выделяющихся при горении, в газоздушном турбулентном потоке. При этом скорость горения, а следовательно, большинство характеристик пожара зависят от процесса всасывания воздуха в зоны смешения, подогрева и горения.

Вследствие большой разности температур и плотностей в зоне горения и окружающей среде, создаются значительные вертикальные скорости движения горячих газов, которые приводят к разрежению вблизи конвекционной колонки, куда устремляется воздух из окружающей атмосферы. Это ускоряет процесс диффузии воздуха в конвекционную колонку, который в свою очередь охлаждает горячие газы, увеличивая их плотность и уменьшая скорость.

Поскольку в этом случае насыщение воздухом происходит намного менее интенсивно, пожары проливов характеризуются более низкими температурами

пламени и приводят к более низким уровням теплового излучения, чем при факельных пожарах. Хотя пожар пролива все же может привести к отказу структурных элементов объектов, на которые воздействует пламя, для этого требуется больше времени, чем при факельном пожаре. Дополнительная опасность пожаров проливов обусловлена возможностью их распространения. Горящая разлитая жидкость может растекаться по горизонтальной поверхности или стекать по вертикальной поверхности с образованием бегущего огня.

Жидкости, у которых температура вспышки меньше или равна рабочей температуре и (или) температуре окружающей среды, могут образовывать над поверхностью пролива смеси паров и воздуха с концентрацией выше НКПР. Сценарии аварий, возникновение которых возможно при утечке таких жидкостей, в чем-то аналогичны упомянутым выше сценариям. Находящийся рядом источник воспламенения вызовет появление пламени, которое будет перемещаться и поджигать весь объем паровоздушной смеси с концентрацией выше НКПР. Такие жидкости закипают с образованием пожара-вспышки и способны образовывать самоподдерживающийся пожар пролива.

За счет испарения пролива возможно образование только вторичного облака. При определенных обстоятельствах возможен взрыв ТВС (наличие частично или полностью ограниченного (загроможденного) пространства в пределах облака ТВС). Возможность образования огненных шаров обусловлена уровнем перегрева жидкости, поэтому этот сценарий для рассматриваемого типа жидкостей не характерен.

Если температура вспышки выше рабочей температуры и (или) температуры окружающей среды, прежде чем такая жидкость загорится, к ней необходимо подвести определенное количество тепла, достаточное для повышения ее температуры до температуры вспышки. Над поверхностью пролива таких жидкостей находится смесь пара и воздуха с концентрацией ниже НКПР. Жидкости данного класса не закипают от находящегося рядом источника воспламенения, но будут закипать от удара пламени и гореть в самоподдерживающемся пожаре пролива.

Также следует отметить, что вероятность поражения человека осколками оборудования при его разрушении мала. Поскольку процесс разрушения оборудования сопровождается взрывами или горением выбрасываемых веществ, то зоны поражения от этих факторов опасности намного больше по масштабам. По этой причине данный поражающий фактор аварии в дальнейшем не рассматривается. Заметим, что в методике [1.33] указанный поражающий фактор также не рассматривается.

Ниже приводится краткое описание сценариев возможных аварий.

Сценарий С₁: Полное разрушение оборудования с СУГ или перегретым ЛВЖ → поступление ОВ в окружающую среду, частичное испарение ОВ (при наличии перегретого ОВ) → мгновенное воспламенение → огненный шар и пожар пролива (при наличии пролива ЖФ) → попадание в зону возможных поражающих факторов (тепловое излучение, открытое пламя) людей, оборудования, зданий, сооружений.

Сценарий С₂: Полное разрушение оборудования с СУГ или перегретым ЛВЖ → поступление ОВ в окружающую среду → частичное испарение ОВ (при наличии перегретого ОВ), образование и распространение пролива ОВ (при наличии пролива ЖФ) → образование взрывоопасной концентрации паров ОВ в воздухе → отсроченное воспламенение паров ОВ → пожар-вспышка и пожар пролива (при наличии пролива ЖФ) → попадание в зону возможных поражающих факторов (тепловое излучение, открытое пламя) людей, оборудования, зданий, сооружений.

Сценарий С₃: Полное разрушение оборудования с СУГ или перегретым ЛВЖ → поступление ОВ в окружающую среду → частичное испарение ОВ (при наличии перегретого ОВ), образование и распространение пролива ОВ (при наличии пролива

ЖФ) → образование взрывоопасной концентрации паров ОВ в воздухе → отсроченное воспламенение паров ОВ → взрыв облака ТВС → попадание в зону возможных поражающих факторов (барическое воздействие) людей, оборудования, зданий, сооружений.

Сценарий С₄: Полное разрушение оборудования с СУГ или перегретым ЛВЖ → поступление ОВ в окружающую среду → частичное испарение ОВ (при наличии перегретого ОВ), образование и распространение пролива ОВ (при наличии пролива ЖФ) → образование взрывоопасной концентрации паров ОВ в воздухе → источника загорания нет → прекращение аварии.

Сценарий С₅: Частичное разрушение оборудования с СУГ или перегретым ЛВЖ → поступление ОВ в окружающую среду → мгновенное воспламенение → образование горящего факела и пожара пролива (при наличии пролива ЖФ) → попадание в зону возможных поражающих факторов (тепловое излучение, открытое пламя) людей, оборудования, зданий, сооружений.

Сценарий С₆: Частичное разрушение оборудования с СУГ или перегретым ЛВЖ → поступление ОВ в окружающую среду → частичное испарение ОВ (при наличии перегретого ОВ), образование и распространение пролива ОВ (при наличии пролива ЖФ) → образование взрывоопасной концентрации паров ОВ в воздухе → отсроченное воспламенение паров ОВ → пожар-вспышка и пожар пролива (при наличии пролива ЖФ) → попадание в зону возможных поражающих факторов (тепловое излучение, открытое пламя) людей, оборудования, зданий, сооружений.

Сценарий С₇: Частичное разрушение оборудования с СУГ или перегретым ЛВЖ → поступление ОВ в окружающую среду → частичное испарение ОВ (при наличии перегретого ОВ), образование и распространение пролива ОВ (при наличии пролива ЖФ) → образование взрывоопасной концентрации паров ОВ в воздухе → отсроченное воспламенение паров ОВ → взрыв облака ТВС → попадание в зону возможных поражающих факторов (барическое воздействие) людей, оборудования, зданий, сооружений.

Сценарий С₈: Частичное разрушение оборудования с СУГ или перегретым ЛВЖ → поступление ОВ в окружающую среду → частичное испарение ОВ (при наличии перегретого ОВ), образование и распространение пролива ОВ (при наличии пролива ЖФ) → образование взрывоопасной концентрации паров ОВ в воздухе → источника загорания нет → прекращение аварии.

Сценарий С₉: Полное разрушение насоса (разрыв нагнетательного патрубка на полное сечение) → поступление ОВ в окружающую среду → мгновенное воспламенение → образование горящего факела и пожара пролива (при наличии пролива ЖФ) → попадание в зону возможных поражающих факторов (тепловое излучение, открытое пламя) людей, оборудования, зданий, сооружений.

Сценарий С₁₀: Полное разрушение насоса (разрыв нагнетательного патрубка на полное сечение) → поступление ОВ в окружающую среду → частичное испарение ОВ (при наличии перегретого ОВ), образование и распространение пролива ОВ (при наличии пролива ЖФ) → образование взрывоопасной концентрации паров ОВ в воздухе → отсроченное воспламенение паров ОВ → пожар-вспышка и пожар пролива (при наличии пролива ЖФ) → попадание в зону возможных поражающих факторов (тепловое излучение, открытое пламя) людей, оборудования, зданий, сооружений.

Сценарий С₁₁: Полное разрушение насоса (разрыв нагнетательного патрубка на полное сечение) → поступление ОВ в окружающую среду → частичное испарение ОВ (при наличии перегретого ОВ), образование и распространение пролива ОВ (при наличии пролива ЖФ) → образование взрывоопасной концентрации паров ОВ в воздухе → отсроченное воспламенение паров ОВ → взрыв облака ТВС → попадание в зону

возможных поражающих факторов (барическое воздействие) людей, оборудования, зданий, сооружений.

Сценарий С₁₂: Полное разрушение насоса (разрыв нагнетательного патрубка на полное сечение) → поступление ОВ в окружающую среду → частичное испарение ОВ (при наличии перегретого ОВ), образование и распространение пролива ОВ (при наличии пролива ЖФ) → образование взрывоопасной концентрации паров ОВ в воздухе → источника зажигания нет → прекращение аварии.

Сценарий С₁₃: Частичное разрушение насоса → поступление ОВ в окружающую среду → мгновенное воспламенение → образование горящего факела и пожара пролива (при наличии пролива ЖФ) → попадание в зону возможных поражающих факторов (тепловое излучение, открытое пламя) людей, оборудования, зданий, сооружений.

Сценарий С₁₄: Частичное разрушение насоса → поступление ОВ в окружающую среду → частичное испарение ОВ (при наличии перегретого ОВ), образование и распространение пролива ОВ (при наличии пролива ЖФ) → образование взрывоопасной концентрации паров ОВ в воздухе → отсроченное воспламенение паров ОВ → пожар-вспышка и пожар пролива (при наличии пролива ЖФ) → попадание в зону возможных поражающих факторов (тепловое излучение, открытое пламя) людей, оборудования, зданий, сооружений.

Сценарий С₁₅: Частичное разрушение насоса → поступление ОВ в окружающую среду → частичное испарение ОВ (при наличии перегретого ОВ), образование и распространение пролива ОВ (при наличии пролива ЖФ) → образование взрывоопасной концентрации паров ОВ в воздухе → отсроченное воспламенение паров ОВ → взрыв облака ТВС → попадание в зону возможных поражающих факторов (барическое воздействие) людей, оборудования, зданий, сооружений.

Сценарий С₁₆: Частичное разрушение насоса → поступление ОВ в окружающую среду → частичное испарение ОВ (при наличии перегретого ОВ), образование и распространение пролива ОВ (при наличии пролива ЖФ) → образование взрывоопасной концентрации паров ОВ в воздухе → источника зажигания нет → прекращение аварии.

Сценарий С₁₇: Полное разрушение трубопровода, транспортирующего ГГ под давлением → поступление ОВ в окружающую среду → мгновенное воспламенение → образование горящего факела → попадание в зону возможных поражающих факторов (тепловое излучение, открытое пламя) людей, оборудования, зданий, сооружений.

Сценарий С₁₈: Полное разрушение трубопровода, транспортирующего ГГ под давлением → поступление ОВ в окружающую среду → образование взрывоопасной концентрации паров ОВ в воздухе → отсроченное воспламенение паров ОВ → пожар-вспышка → попадание в зону возможных поражающих факторов (тепловое излучение, открытое пламя) людей, оборудования, зданий, сооружений.

Сценарий С₁₉: Полное разрушение трубопровода, транспортирующего ГГ под давлением → поступление ОВ в окружающую среду → образование взрывоопасной концентрации паров ОВ в воздухе → отсроченное воспламенение паров ОВ → взрыв облака ТВС → попадание в зону возможных поражающих факторов (барическое воздействие) людей, оборудования, зданий, сооружений.

Сценарий С₂₀: Полное разрушение трубопровода, транспортирующего ГГ под давлением → поступление ОВ в окружающую среду → образование взрывоопасной концентрации паров ОВ в воздухе → источника зажигания нет → прекращение аварии.

Сценарий С₂₁: Частичное разрушение трубопровода, транспортирующего ГГ под давлением → поступление ОВ в окружающую среду → мгновенное воспламенение → образование горящего факела → попадание в зону возможных поражающих факторов (тепловое излучение, открытое пламя) людей, оборудования, зданий, сооружений.

Сценарий С₂₂: Частичное разрушение трубопровода, транспортирующего ГГ под давлением → поступление ОВ в окружающую среду → образование взрывоопасной концентрации паров ОВ в воздухе → отсроченное воспламенение паров ОВ → пожар-вспышка → попадание в зону возможных поражающих факторов (тепловое излучение, открытое пламя) людей, оборудования, зданий, сооружений.

Сценарий С₂₃: Частичное разрушение трубопровода, транспортирующего ГГ под давлением → поступление ОВ в окружающую среду → образование взрывоопасной концентрации паров ОВ в воздухе → отсроченное воспламенение паров ОВ → взрыв облака ТВС → попадание в зону возможных поражающих факторов (барическое воздействие) людей, оборудования, зданий, сооружений.

Сценарий С₂₄: Частичное разрушение трубопровода, транспортирующего ГГ под давлением → поступление ОВ в окружающую среду → образование взрывоопасной концентрации паров ОВ в воздухе → источника зажигания нет → прекращение аварии.

Сценарий С₂₅: Полное разрушение трубопровода, транспортирующего СУГ или перегретую ЛВЖ → поступление ОВ в окружающую среду → мгновенное воспламенение → образование горящего факела и пожара пролива (при наличии пролива ЖФ) → попадание в зону возможных поражающих факторов (тепловое излучение, открытое пламя) людей, оборудования, зданий, сооружений.

Сценарий С₂₆: Полное разрушение трубопровода, транспортирующего СУГ или перегретую ЛВЖ → поступление ОВ в окружающую среду → частичное испарение ОВ (при наличии перегретого ОВ), образование и распространение пролива ОВ (при наличии пролива ЖФ) → образование взрывоопасной концентрации паров ОВ в воздухе → отсроченное воспламенение паров ОВ → пожар-вспышка и пожар пролива (при наличии пролива ЖФ) → попадание в зону возможных поражающих факторов (тепловое излучение, открытое пламя) людей, оборудования, зданий, сооружений.

Сценарий С₂₇: Полное разрушение трубопровода, транспортирующего СУГ или перегретую ЛВЖ → поступление ОВ в окружающую среду → частичное испарение ОВ (при наличии перегретого ОВ), образование и распространение пролива ОВ (при наличии пролива ЖФ) → образование взрывоопасной концентрации паров ОВ в воздухе → отсроченное воспламенение паров ОВ → взрыв облака ТВС → попадание в зону возможных поражающих факторов (барическое воздействие) людей, оборудования, зданий, сооружений.

Сценарий С₂₈: Полное разрушение трубопровода, транспортирующего СУГ или перегретую ЛВЖ → поступление ОВ в окружающую среду → частичное испарение ОВ (при наличии перегретого ОВ), образование и распространение пролива ОВ (при наличии пролива ЖФ) → образование взрывоопасной концентрации паров ОВ в воздухе → источника зажигания нет → прекращение аварии.

Сценарий С₂₉: Частичное разрушение трубопровода, транспортирующего СУГ или перегретую ЛВЖ → поступление ОВ в окружающую среду → мгновенное воспламенение → образование горящего факела и пожара пролива (при наличии пролива ЖФ) → попадание в зону возможных поражающих факторов (тепловое излучение, открытое пламя) людей, оборудования, зданий, сооружений.

Сценарий С₃₀: Частичное разрушение трубопровода, транспортирующего СУГ или перегретую ЛВЖ → поступление ОВ в окружающую среду → частичное испарение ОВ (при наличии перегретого ОВ), образование и распространение пролива ОВ (при наличии пролива ЖФ) → образование взрывоопасной концентрации паров ОВ в воздухе → отсроченное воспламенение паров ОВ → пожар-вспышка и пожар пролива (при наличии пролива ЖФ) → попадание в зону возможных поражающих факторов (тепловое излучение, открытое пламя) людей, оборудования, зданий, сооружений.

Сценарий С₃₁: Частичное разрушение трубопровода, транспортирующего СУГ или перегретую ЛВЖ → поступление ОВ в окружающую среду → частичное испарение ОВ (при наличии перегретого ОВ), образование и распространение пролива ОВ (при наличии пролива ЖФ) → образование взрывоопасной концентрации паров ОВ в воздухе → отсроченное воспламенение паров ОВ → взрыв облака ТВС → попадание в зону возможных поражающих факторов (барическое воздействие) людей, оборудования, зданий, сооружений.

Сценарий С₃₂: Частичное разрушение трубопровода, транспортирующего СУГ или перегретую ЛВЖ → поступление ОВ в окружающую среду → частичное испарение ОВ (при наличии перегретого ОВ), образование и распространение пролива ОВ (при наличии пролива ЖФ) → образование взрывоопасной концентрации паров ОВ в воздухе → источника зажигания нет → прекращение аварии.

Сценарий С₃₃: Полное разрушение оборудования с ГГ под давлением → поступление ОВ в окружающую среду → мгновенное воспламенение → огненный шар → попадание в зону возможных поражающих факторов (тепловое излучение, открытое пламя) людей, оборудования, зданий, сооружений.

Сценарий С₃₄: Полное разрушение оборудования с ГГ под давлением → поступление ОВ в окружающую среду → образование взрывоопасной концентрации паров ОВ в воздухе → отсроченное воспламенение паров ОВ → пожар-вспышка → попадание в зону возможных поражающих факторов (тепловое излучение, открытое пламя) людей, оборудования, зданий, сооружений.

Сценарий С₃₅: Полное разрушение оборудования с ГГ под давлением → поступление ОВ в окружающую среду → образование взрывоопасной концентрации паров ОВ в воздухе → отсроченное воспламенение паров ОВ → взрыв облака ТВС → попадание в зону возможных поражающих факторов (барическое воздействие) людей, оборудования, зданий, сооружений.

Сценарий С₃₆: Полное разрушение оборудования с ГГ под давлением → поступление ОВ в окружающую среду → образование взрывоопасной концентрации паров ОВ в воздухе → источника зажигания нет → прекращение аварии.

Сценарий С₃₇: Частичное разрушение оборудования с ГГ под давлением → поступление ОВ в окружающую среду → мгновенное воспламенение → образование горящего факела → попадание в зону возможных поражающих факторов (тепловое излучение, открытое пламя) людей, оборудования, зданий, сооружений.

Сценарий С₃₈: Частичное разрушение оборудования с ГГ под давлением → поступление ОВ в окружающую среду → образование взрывоопасной концентрации паров ОВ в воздухе → отсроченное воспламенение паров ОВ → пожар-вспышка → попадание в зону возможных поражающих факторов (тепловое излучение, открытое пламя) людей, оборудования, зданий, сооружений.

Сценарий С₃₉: Частичное разрушение оборудования с ГГ под давлением → поступление ОВ в окружающую среду → образование взрывоопасной концентрации паров ОВ в воздухе → отсроченное воспламенение паров ОВ → взрыв облака ТВС → попадание в зону возможных поражающих факторов (барическое воздействие) людей, оборудования, зданий, сооружений.

Сценарий С₄₀: Частичное разрушение оборудования с ГГ под давлением → поступление ОВ в окружающую среду → образование взрывоопасной концентрации паров ОВ в воздухе → источника зажигания нет → прекращение аварии.

2.2.3 Обоснование применяемых физико-математических моделей и методов расчета с оценкой влияния исходных данных на результаты анализа риска аварии

Общие данные

Согласно [1.26, 1.27] при разработке декларации промышленной безопасности могут применяться любые обоснованные модели и методы расчета. Приоритетными для проведения анализа риска аварий являются методические документы, согласованные или утвержденные федеральными органами исполнительной власти.

В настоящей работе предпочтение отдавалось именно таким методикам. Из-за сложности расчетов методики реализованы в виде компьютерной программы. Оценка последствий аварий и оценка риска проводилась с помощью программного комплекса для оценки последствий аварий с выбросом опасных веществ и оценки риска ТОХI+Risk 5, разработанного ЗАО «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», версия 5.5.4.0.

Программный комплекс ТОХI+Risk 5 разработан в соответствии с действующими нормативно-методическими документами Ростехнадзора (сертификат соответствия № РОСС RU.НБ65.Н00571/21, свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016613097), МЧС России, Росгидромета, государственными и отраслевыми стандартами ОАО Газпром.

С помощью программного комплекса могут быть решены следующие основные расчетные задачи, необходимые для достижения целей, поставленных при разработке ДПБ с использованием методик, приведенных в таблице (Таблица 2.3):

- 1) расчет показателей риска на территории опасного производственного объекта и за его пределами, а также на объектах магистрального трубопроводного транспорта;
- 2) расчет взрывоустойчивости зданий и сооружений (как с использованием детерминированного, так и вероятностного подходов);
- 3) учет смещения центра взрыва облака ТВС с учетом дрейфа под действием ветра;
- 4) моделирование рассеяния опасных веществ в атмосфере (по моделям «тяжелого» и «легкого» газов);
- 5) оценка количества опасного вещества, поступившего в атмосферу при различных сценариях аварии;
- 6) моделирование рассеяния в открытом пространстве опасных веществ;
- 7) расчет зон токсического поражения человека и зон возможного воспламенения (взрыва) облаков топливно-воздушных смесей (ТВС);
- 8) оценка взрывоопасной массы горючего в облаках ТВС и их перемещения (дрейфа) с учетом времени, прошедшего с начала выброса.
- 9) моделирование взрывов облаков ТВС;
- 10) определение зон поражения людей и повреждения зданий в результате взрывов облаков ТВС по различным критериям поражения (по избыточному давлению, по избыточному давлению и импульсу, вероятностное поражение по пробит-функциям);
- 11) моделирование взрывов облаков ТВС с учетом тротилового эквивалента вещества, а также взрывов конденсированных взрывчатых веществ;
- 12) расчет последствий теплового воздействия от пожара пролива, огненного шара, аварийных факелов, пожара-вспышки (в штילевых условиях);

13) оценка зон поражения открытым пламенем и тепловым излучением, выделяемым при горении ОВ с учетом детерминированных и вероятностных (пробит-функция) критериев поражения;

14) расчет зон теплового воздействия стационарных факельных систем;

15) оценка зон интенсивности теплового излучения с учетом скорости выброса ОВ, конструктивных параметров стационарной факельной системы и скорости ветра.

Программа включает встроенную базу данных по опасным веществам, справочники «деревьев событий», а также частот разгерметизации технологического оборудования и трубопроводов.

Имеется возможность осуществлять ввод расположения и характеристик технологического оборудования и трубопроводов, а также объектов, подверженных риску (люди, здания и сооружения), с привязкой к карте, вспомогательных данных (например, метеоданные, шероховатость подстилающей поверхности и так далее).

Для оценки последствий аварий и оценки риска использовались модели и методы расчета, перечисленные в таблице (Таблица 2.3) и включенные в программный комплекс ТОХI+Risk 5. Кроме того, в таблице перечислены иные методики, утвержденные или согласованные федеральными органами исполнительной власти и использовавшиеся для анализа риска аварий.

Таблица 2.3 – Методики расчетов, применяемых при оценке риска аварий

Документ	Описание
РБ «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах» [1.37]	РБ содержит рекомендации по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий для обеспечения требований промышленной безопасности при проектировании, строительстве, капитальном ремонте, реконструкции, техническом перевооружении, эксплуатации, консервации и ликвидации опасных производственных объектов. Содержит перечень и описание основных этапов анализа риска. В РБ содержится описание и необходимые расчетные зависимости для основных видов рисков, используемых при проведении анализа опасности и оценки риска. Устанавливает детерминированные и вероятностные критерии поражения человека, оборудования, зданий и сооружений от различных видов опасного воздействия (барическое, термическое, токсическое). Содержит перечень статистических частот (вероятностей) разрушения или разгерметизации типовых видов технологического оборудования и трубопроводов. Содержит описание основных методов и подходов для качественного и количественного анализа риска аварий.
РБ «Методика моделирования распространения аварийных выбросов опасных веществ» [1.35]	Позволяет оценить зоны поражения при выбросе токсичных и пожаровзрывоопасных веществ. Методика основана на модели рассеяния выброса «тяжелого газа» и описывает нестационарное, турбулентное течение неоднородного потока атмосферного воздуха, переносящего вещество (примесь), в том числе и отличное по плотности от окружающего воздуха из-за разности молекулярных масс и/или наличия аэрозоля и/или охлаждения, также используется для определения зон поражения при пожаре-вспышке
РБ «Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушной смеси» [1.36]	Содержит алгоритм расчета последствий аварийных взрывов ТВС и соответствующие расчетные зависимости. Позволяет оценить размеры зон поражения с учетом реальных режимов энерговыделения в облаках топливно-воздушных смесей углеводородных газов и паров опасных веществ. При этом учитываются как характеристики опасного вещества, так и состояние окружающего пространства.

Документ	Описание
	Устанавливает детерминированные и вероятностные критерии поражения человека, оборудования, зданий и сооружений от барического воздействия взрыва облаков ТВС.
Руководство по безопасности «Методы обоснования взрывоустойчивости зданий и сооружений при взрывах топливно-воздушных смесей на опасных производственных объектах» [1.40];	Содержит рекомендации к обоснованию взрывоустойчивости зданий и сооружений при взрывах топливно-воздушных смесей, образующихся в атмосфере при промышленных авариях на опасных производственных объектах. В РБ содержится описание двух подходов к обоснованию взрывоустойчивости зданий и сооружений – детерминированный и вероятностный. Приводятся соответствующие расчетные зависимости. Установлено допустимое значение вероятностного критерия допустимой частоты воздействия взрыва на здание
Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах [1.33]	Содержит описание основных расчетных методик, позволяющие оценить потенциальные последствия от разгерметизации/разрушения оборудования (методики, позволяющие оценить количества опасных веществ, поступивших в окружающее пространство), а также методики оценки размеров зон поражающих факторов различных исходов аварии (пожар пролива, взрыв облаков ТВС, факел, пожар-вспышка, образование «огненного шара») Устанавливает детерминированные и вероятностные критерии поражения человека, оборудования, зданий и сооружений от различных видов опасного воздействия (барическое, термическое, токсическое). Содержит перечень статистических частот (вероятностей) разрушения или разгерметизации типовых видов технологического оборудования и трубопроводов. В методике, также приведены величины условных вероятностей для мгновенного/отложенного воспламенений, а также для сгорания с образованием избыточного давления при образовании горючего газопаровоздушного облака и его последующем воспламенении при различных вариантах аварийного выброса опасных веществ (истечения с различными расходами, полное разрушение). В методике содержится описание и необходимые расчетные зависимости для основных видов рисков, используемых при проведении анализа опасности и оценки риска.
ФНП «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств» [1.7]	Содержит общие требования к процессу проведения анализа опасности технологических процессов. В ФНП приведена упрощенная методика для оценки количеств взрывоопасных веществ, поступивших в окружающее пространство при аварийной разгерметизации/разрушении технологического блока. Установлена последовательность и определены методы оценки и назначения значений энергетических потенциалов взрывоопасности технологических блоков. Приведены основные зависимости и предположения для оценки массы горючего вещества, способного участвовать во взрыве. Приведено описание методик для оценки последствий взрыва, установлены критерии взрывоустойчивости зданий. ФНП содержит перечень статистических частот (вероятностей) разрушения или разгерметизации типовых видов технологического оборудования и трубопроводов. Устанавливает детерминированные критерии поражения человека, оборудования, зданий и сооружений от барического воздействия взрыва облаков ТВС.
ГОСТ Р. 12.3.047-2012. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля [1.12]	Содержит описание основных расчетных методик, позволяющие оценить потенциальные последствия от разгерметизации/разрушения оборудования (методики, позволяющие оценить количества опасных веществ, поступивших в окружающее пространство), а также методики оценки размеров зон поражающих факторов различных исходов

Документ	Описание
	аварии (пожар пролива, взрыв облаков ТВС, факел, пожар-вспышка, образование «огненного шара»). Устанавливает детерминированные критерии поражения человека, оборудования, зданий и сооружений от различных видов опасного воздействия (барическое, термическое).
ГОСТ Р 22.10.02-2016. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Менеджмент риска чрезвычайной ситуации. Допустимый риск чрезвычайных ситуаций [1.13]	Устанавливает величины допустимого индивидуального риска ЧС для субъектов Российской Федерации
ГОСТ Р 27.012-2019 (МЭК 61882:2016) Надежность в технике. Анализ опасности и работоспособности (HAZOP) [1.16]	Устанавливает основные требования к проведению анализа риска технологических систем методом анализа опасности и работоспособности (АОР или HAZOP)
ГОСТ 27.310-95 «Анализ видов, последствий и критичности отказов. Основные положения» [1.15]	Устанавливает основные требования к проведению анализа риска технологических систем методом анализа видов, последствий и критичности отказов (АВПО, АВПКО)
ГОСТ Р 27.302-2009 Надежность в технике (ССНТ). Анализ дерева неисправностей [1.17]	Содержит указания по применению метода анализа дерева неисправностей (дерево отказов) и устанавливает: основные принципы анализа; описание математического моделирования, связанного с анализом дерева неисправностей; взаимосвязи анализа дерева неисправностей с другими методами прогнозирования безотказности; этапы выполнения анализа; события, виды неисправностей, допущения и предположения; описание обычно используемых символов.
ГОСТ Р МЭК 62502-2014. Менеджмент риска. Анализ дерева событий [1.18]	В стандарте установлены основные принципы метода анализа надежности называемого «Анализ дерева событий» (АДС). Приведено руководство по моделированию последствий инициирующих событий, а также качественному и количественному анализу показателей надежности и риска

К основным предположениям при оценке параметров выброса опасных веществ можно отнести следующие:

1) масса аварийного выброса опасных веществ определялась с учетом массы стока вещества из отсеченного блока. Полагалось, что при полном раскрытии (разрушении) аппарата вся газовая фаза блока, вся газовая фаза, образующаяся за счет энергии перегретой жидкой фазы блока (мгновенное вскипание жидкой фазы блока при резком падении давления в нем), а также вся жидкая фаза аварийного блока, поступают в окружающую среду;

2) при расчетах количества опасных веществ, участвующих в аварии, учитывалась возможность дополнительного поступления опасных веществ от смежных блоков. Дополнительное количество опасных веществ определялось с учетом времени срабатывания запорных устройств, установленных на границах технологических блоков;

3) при расчете массового расхода опасного вещества, продолжительности истечения и количества опасного вещества, участвующего в аварии, в методике [1.35] полагается, что истечение происходит с постоянной скоростью, которая соответствует начальному массовому расходу; в действительности скорость поступления в атмосферу опасного вещества снижается по мере падения давления в системе;

4) для оборудования с жидкой фазой рассматривались только случаи аварийного истечения, когда отверстие разгерметизации всем сечением находится ниже уровня жидкости в оборудовании;

5) при определении скорости выброса из трубопровода, на входе которого стоит емкость, длина участка трубопровода от его начала до места разрыва полагалась равной нулю, то есть считалось, что происходит истечение жидкости непосредственно из емкости; при этом мгновенное испарение будет происходить с внешней стороны места утечки;

6) истечение после блокировки аварийного участка трубопровода рассматривалось также для случаев, когда количество опасного вещества в отсекаемом участке аварийного трубопровода менее 20 % общей массы выброса;

7) если истечение происходит из трубопровода, на входе которого стоит насос (компрессор), а величина площади аварийного отверстия превосходит 20 % площади поперечного сечения трубопровода, то скорость выброса жидкого (газообразного) опасного вещества полагается равным расходу насоса (компрессора) [1.35];

8) влияние волновых гидродинамических процессов на режим истечения опасного вещества для протяженных трубопроводных систем не учитывается (не учитываются гидравлические параметры трубопроводов и влияние на скорость выброса потерь на трение при движении среды по трубопроводу);

9) в случае многокомпонентных смесей определение их физических свойств и показателей пожаровзрывоопасности проводилось по одному из компонентов; в качестве такого компонента принимался наиболее опасный компонент смеси;

10) для частичной разгерметизации оборудования принимается образование отверстия диаметром 10 мм;

11) количество опасных веществ определяется с использованием программного комплекса «ТОКСИ+Risk».

В целом можно утверждать, что предположения, сделанные для определения количеств опасных веществ, поступающих в окружающее пространство при гипотетических авариях на ОПО, ведут к значительному завышению результатов расчетов (т. н. «консервативная» оценка). Данный фактор ведет к заметному завышению результатов дальнейшей оценки риска, однако позволяет судить о приемлемости реализованных решений (в случае обеспечения требуемых величин показателей безопасной эксплуатации) с определенным коэффициентом запаса.

При оценке размеров зон поражения при авариях на объекте используется программный комплекс «ТОКСИ+Risk». Предположения для оценки размеров зон поражения обусловлены как ограничениями используемого программного продукта, так и особенностями соответствующих расчетных методик:

1) длительность испарения жидкости с поверхности пролива принимается равной не более одного часа [1.7];

2) при расчете испарения (кипения) пролива предполагается, что испарение опасного вещества происходит с постоянной скоростью;

3) принимается, что в любой момент времени площадь зеркала разлитой жидкости максимальна, то есть динамика изменения размеров пролива в расчете не учитывается;

4) для приближенной оценки площадей аварийных проливов на неограниченную поверхность или внутри поддона (без достижения проливом его границ), толщина слоя разлития составляет 0,05 м (пролив на спланированное покрытие) [1.33, 1.35];

5) площадь пролива жидкости также определялась исходя из конструктивных решений зданий или площадки наружной установки;

6) в расчетах учитывались размеры и вместимость поддонов и отбортовок технологических площадок, а также возможность их перелива (размеры поддонов и отбортовок задаются в программе «ТОКСИ+Risk»);

7) считается, что пролив жидкой фазы происходит на поверхности без впитывания

8) в качестве расчетной температуры при пожароопасной ситуации с наземно расположенным оборудованием принята средняя температура воздуха для наиболее теплого месяца в рассматриваемой климатической зоне (+20,0 °C);

9) температура подстилающей поверхности на месте пролива, а также температура поверхности, над которой происходит рассеивание выброса, приняты равной температуре воздуха;

10) при прогнозировании наибольших размеров зон, ограниченных концентрационными пределами распространения пламени, в качестве исходных данных принимаются метеорологические условия: класс устойчивости атмосферы – F; скорость ветра на высоте 10 м – 1 м/с [1.35];

11) из особенностей местных метеорологических условий учтена роза ветров.

Для моделирования рассеивания использовалась модель рассеивания тяжелого газа [1.35], применяющаяся для расчета распространения газа над однородной поверхностью при стационарных метеоусловиях.

При разгерметизации емкости с перегретой жидкостью в результате резкого снижения давления и нарушения термодинамического баланса происходит мгновенное вскипание определенной части жидкости. При этом устанавливается новое состояние равновесия, а температура оставшейся жидкой фазы понижается до температуры кипения при атмосферном давлении. Принималось, что в начальный момент времени (на месте выброса) первичное облако опасного вещества имеет форму цилиндра, а вертикальное сечение вторичного облака опасного вещества вдоль направления ветра во всех сценариях представляет собой прямоугольник. Начальный радиус первичного облака принят равным его высоте, а начальная полуширина вторичного облака – полуширине пролива [1.35].

В начальный момент времени в первичном и вторичном облаках опасное вещество воздухом не разбавлено.

С помощью методики [1.35] определялись размеры зон, на которые может дрейфовать выброс, сохраняя способность к воспламенению. При переносе опасного вещества в реальных атмосферных условиях отмечается наличие флуктуаций его концентрации относительно средних значений. Источником таких флуктуаций может служить, например, изменение скорости и (или) направления ветра. В расчетах по методике [1.35] определяются концентрации, относящиеся к времени осреднения не более 600 секунд. При этом всегда есть вероятность превышения концентрацией в данной точке пространства в заданный момент времени некоторого заданного порогового уровня (например, при средней концентрации в облаке менее НКПР, в отдельных местах могут наблюдаться области с концентрацией выше НКПР, то есть возможно воспламенение). По данной причине в методике [1.35] полагается, что размер зон, на которые может дрейфовать выброс, сохраняя способность к воспламенению, соответствует достижению средних концентраций 0,5 НКПР.

Сформировавшееся облако ТВС может быть зажжено в одной или нескольких своих точках. При образовании ТВС в незагроможденном технологическом оборудованием пространстве и ее зажигании стандартным (относительно слабым)

источником воспламенения, сгорание этой смеси происходит, как правило, с небольшими видимыми скоростями пламени. В этом случае реализуется так называемый пожар-вспышка. Зона поражения открытым пламенем полагается максимально возможной (то есть принимается, что при рассеивании облако воспламенится в момент, когда оно покрыло наибольшую площадь). В действительности облако ТВС достигает максимальной протяженности постепенно, распространяясь в направлении ветра.

Согласно [1.7] расчеты зон поражения при взрывах ТВС на наружных установках следует проводить по методикам, учитывающим рассеивание (дрейф) облаков ТВС и тип взрывного превращения (детонация/дефлаграция) при воспламенении ТВС.

Масса во взрывоопасных пределах, способная участвовать во взрыве, определялась согласно приложению № 3 ФНП «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств» [1.7] и Руководству по безопасности «Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей» [1.36]. Расчет зон поражения при взрыве облаков ТВС выполнялся из условия воспламенения облака ТВС в момент времени, когда облако ТВС достигает наибольшей массы, способной к воспламенению.

Расчет основных параметров воздушных ударных волн (избыточного давления на фронте падающей ударной волны и импульса волны давления) в зависимости от расстояния до центра облака проводился по методикам [1.7, 1.36]. При расчетах использовались следующие исходные данные:

1) средняя концентрация горючего вещества в облаке принималась равной стехиометрической концентрации, что соответствует получению консервативных оценок;

2) при расчете параметров взрыва облака, лежащего на поверхности земли, величина эффективного энергозапаса удваивалась;

3) в соответствии с [1.36] предполагается, что смесь гетерогенная, если более 50 % топлива содержится в облаке в виде капель, иначе ТВС считается газовой. Так как по формуле (26) [1.36] масса опасного вещества, переходящая в аэрозоль в первичное облако, не может быть больше массы опасного вещества, переходящей в газовую фазу в первичное облако при мгновенном вскипании перегретого опасного вещества, смесь считалась газовой. Кроме того, это соответствует получению консервативных результатов расчета;

4) вещества, способные к образованию горючих смесей с воздухом, по своим взрывоопасным свойствам отнесены:

- к классу 2 – чувствительные вещества (размер детонационной ячейки от 2...10 см);
- к классу 3 – среднечувствительные вещества (размер детонационной ячейки 10...40 см);
- к классу 4 – слабочувствительные вещества (размер детонационной ячейки больше 40 см);

5) в случае, если вещество отсутствует в таблице № 1 приложения № 3 к Руководству по безопасности «Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей» [1.36], его классифицировали по аналогии с имеющимися в данной таблице веществами;

6) характер окружающего пространства в значительной степени определяет скорость взрывного превращения облака ТВС. Геометрические характеристики окружающего пространства отнесены:

- к виду 2 (при взрывах ТВС внутри замкнутых объемов (помещений) – сильно загроможденное пространство: наличие полужамкнутых объемов, высокая плотность размещения технологического оборудования, лес, большое количество повторяющихся препятствий);
- к виду 3 (при взрывах ТВС на наружных установках – средне загроможденное пространство, отдельно стоящие технологические установки);

7) режим взрывного превращения ТВС по диапазонам скоростей, в зависимости от класса горючего вещества и вида окружающего пространства:

- диапазон 1 (детонация или горение со скоростью фронта пламени 500 м/с и больше);
- диапазон 2 (дефлаграция, скорость фронта пламени 300...500 м/с);
- диапазон 3 (дефлаграция, скорость фронта пламени 200...300 м/с);
- диапазон 4 (дефлаграция, скорость фронта пламени 150...200 м/с);
- диапазон 5 (дефлаграция, скорость фронта пламени определяется соотношением (3) [1.36], учитывающим массу горючего вещества в облаке, участвующую в создании поражающих факторов взрыва).

Моделирование последствий аварийных взрывов при выбросе водородсодержащих смесей имеет ряд нетипичных особенностей. Как указано ранее, на объекте в технологическом процессе обращаются значительные массы углеводородного сырья, нагретого значительно выше температуры кипения. При выбросе такой смеси происходит формирование т.н. «первичного облака» — облака опасного вещества, образующегося в результате очень быстрого (за 1...2 минуты) перехода в атмосферу части опасного вещества и распространяющегося по ветру от места выброса [1.35]. При возникновении мгновенного источника воспламенения реализуется «огненный шар». Если речь идет о частичном разрушении оборудования или трубопровода, то наличие первичного источника воспламенения повлечет за собой реализацию факельного горения струи опасного вещества. Логика построения и анализа возможных путей развития потенциальных аварий показывает, что взрыв облака ТВС реализуется при условии возникновения отложенного источника воспламенения через некоторое время (время более 2 минут, исходя из определения «первичного облака») после нежелательного события. За указанный промежуток времени водород, являющийся «легким» газом (плотность газа существенно ниже плотности воздуха) и находящийся в смеси при высоких температурах (что дополнительно снижает его плотность), отделится от взрывоопасной смеси, начнет быстрое движение вверх, поднимаясь над облаком и не будет учувствовать как в дрейфе облака так и в предполагаемом взрыве облака ТВС при условии возникновения отложенного источника воспламенения. В таких случаях моделирование последствий аварийных взрывов (в части определения класса чувствительности ОВ) будет осуществляться по следующему по опасности за водородом компоненту смеси.

При расчетах определялись пять детерминированных показателей уровня воздействия ударной волны [1.7, 1.36, 1.37].

- 1) $\Delta P_{\phi} = 100$ кПа – полное разрушение зданий с массивными стенами;
- 2) $\Delta P_{\phi} = 70$ кПа – разрушение стен кирпичных зданий толщиной в 1,5 кирпича, перемещение цилиндрических резервуаров, разрушение трубопроводных эстакад;
- 3) $\Delta P_{\phi} = 28$ кПа – разрушение перекрытий промышленных зданий, разрушение промышленных стальных несущих конструкций, деформации трубопроводных эстакад;
- 4) $\Delta P_{\phi} = 14$ кПа – разрушение перегородок и кровли зданий, повреждение стальных конструкций каркасов, ферм;

5) $\Delta P_{\phi}=5$ кПа – нижний порог повреждения человека волной давления;

6) $\Delta P_{\phi}=2$ кПа – граница зоны повреждений зданий; частичное повреждение остекления.

При оценке воздействия поражающих факторов взрыва на человека, здания и сооружения используются также вероятностные критерии поражения.

Для расчета условной вероятности разрушения зданий используются пробит-функции, описанные в методиках [1.7,1.36,1.37] (вероятность повреждений стен, при которых возможно восстановление зданий без их сноса; вероятность разрушений, при которых здания подлежат сносу).

Для оценки условной вероятности гибели человека используется пробит функция для тяжелых разрушений зданий (зависит от избыточного давления на фронте падающей ударной волны ΔP_{ϕ} и импульса волны давления I) [1.36].

Расчет количества погибших в зданиях проводился с учетом коэффициента уязвимости [1.7]. В случае если выполняется условие, при котором здание находится вне возможных зон действия падающей ударной волны с амплитудой давления на фронте, превышающей предельное давление, на которое рассчитано здание, коэффициент уязвимости равен нулю. В ином случае коэффициент уязвимости консервативно принимается равным 1.

Коэффициент уязвимости при реализации поражающих факторов, связанных с термическим поражением, определяются исходя из защитных свойств помещения, в котором может находиться человек в момент аварии.

Для прогнозирования последствий взрыва в производственных помещениях принималось, что весь объем помещения заполнен стехиометрической смесью (без учета располагаемых в нем оборудования и элементов строительных конструкций). Стехиометрическому соотношению компонентов смеси соответствуют наиболее высокие параметры взрывоопасности. Значения температуры пламени, скорости горения и других параметров взрыва тем больше, чем ближе соотношение компонентов к стехиометрическому составу. Принято равномерное распределение концентрации газа по пространству помещения. При этом влияние аварийной вентиляции и легкообрасываемых конструкций в расчет не принимались.

Расчет геометрии пламени и территориального распределения интенсивности теплового излучения от пожара пролива, возникающего при аварийном истечении жидких углеводородов, выполнялся в соответствии с методикой [1.12,1.33].

Считается, что при возникновении пожара в условиях открытого пространства человек не остается на месте, а покидает опасную зону. Средняя скорость движения человека к безопасной зоне принимается равной 5,0 м/с. При этом безопасной зоной считается зона, где интенсивность теплового излучения меньше 4,0 кВт/м² [1.33,1.37].

Условная вероятность поражения человека, попавшего в зону непосредственного воздействия пламени пожара, принимается равной единице [1.33,1.37].

При оценке воздействия теплового излучения основным критерием является интенсивность теплового излучения. Приняты следующие детерминированные критерии [1.12,1.33]:

1) 14,8 кВт/м² – воспламенение резины;

2) 12,9 кВт/м² – воспламенение древесины (сосна влажностью 12 %);

3) 10,5 кВт/м² – непереносимая боль через 3...5 с, ожог первой степени через 6...8 с, ожог второй степени через 12...16 с;

- 4) $7,0 \text{ кВт/м}^2$ – непереносимая боль через 20...30 с, ожог первой степени через 15...20 с, ожог второй степени через 30...40 с;
- 5) $4,2 \text{ кВт/м}^2$ – безопасно для человека в брезентовой одежде;
- 6) $1,4 \text{ кВт/м}^2$ – без негативных последствий в течение длительного времени.

В соответствии с [1.37] для определения числа пострадавших рекомендуется принимать значение интенсивности теплового излучения, превышающее $7,0 \text{ кВт/м}^2$.

Для оценки поражения человека тепловым излучением использовалась пробит-функция, описанная в методике [1.33]. В качестве зон, безопасных с точки зрения воздействия поражающих факторов, принимаются зоны поражения, где значения пробит-функции достигают величины, соответствующей вероятности в 1,0 %.

Расчет геометрии пламени и территориального распределения интенсивности теплового излучения от огненного шара проводился в соответствии с методикой [1.12,1.33].

Величина среднеповерхностной интенсивности теплового излучения пламени огненного шара принимается равной 350 кВт/м^2 , независимо от вида топлива. Высота центра огненного шара принимается равной его эффективному диаметру.

Тепловое излучение от вертикальных факелов по методике [1.33] определяется аналогично тепловому излучению от пожара пролива со среднеповерхностной интенсивностью теплового излучения пламени 200 кВт/м^2 .

Линейные размеры пламени определяются, главным образом, скоростью истечения газа или жидкости из отверстия (в том числе диаметром отверстия истечения), а также физическими характеристиками горючего вещества. Наиболее опасные ситуации при пожаре возникают, как правило, при истечении жидкой фазы (более высокий расход продукта, чем при истечении газа, при остальных равных условиях).

Наибольшую опасность представляет именно горизонтальный факел, который и рассматривался в данной работе, хотя вероятность его реализации составляет 0,67, что меньше единицы.

Зона непосредственного контакта пламени с окружающими объектами определяется размерами факела. Считается, что поражение человека в горизонтальном факеле происходит в 30° секторе с радиусом, равным длине факела.

Воздействие горизонтального факела на соседнее оборудование, приводящее к его разрушению, происходит в 30° секторе, ограниченном радиусом, равным длине факела. За пределами указанного сектора, на расстоянии равном 1,5 длины факела, тепловое излучение от горизонтального факела составляет $10,0 \text{ кВт/м}^2$.

В целом можно утверждать, что предположения, сделанные для оценки зон воздействия поражающих факторов потенциальных аварий, а также оценки степени воздействия поражающих факторов аварий на людей на ОПО и за его пределами, ведут к значительному завышению результатов расчетов (т. н. «консервативная» оценка). Данный фактор ведет к заметному завышению результатов дальнейшей оценки риска, однако позволяет судить о приемлемости реализованных решений (в случае обеспечения требуемых величин показателей безопасной эксплуатации) с определенным коэффициентом запаса.

Рассматривались следующие варианты развития аварий:

- 1) взрывы облаков ТВС – последствия моделируются при помощи расчетных зависимостей, приведенных в РБ «Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушной смеси» [1.36];

2) дрейф облаков ТВС с формированием зон загазованности – последствия моделируются при помощи расчетных зависимостей, приведенных в РБ «Методика моделирования распространения аварийных выбросов опасных веществ» [1.35];

3) образование пожара пролива, огненного шара – последствия моделируются при помощи расчетных зависимостей, приведенных в Методике определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах [1.33], ГОСТ Р. 12.3.047-2012 [1.12];

4) факельное горение газа – последствия моделируются при помощи расчетных зависимостей, приведенных в Методике определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах [1.33], ГОСТ Р. 12.3.047-2012 [1.12];

5) образование пожара-вспышки – последствия моделируются при помощи расчетных зависимостей, приведенных в РБ «Методика моделирования распространения аварийных выбросов опасных веществ» [1.35].

Оценка вероятности реализации аварийных ситуаций

Определение вероятности разрушения и трубопроводов оборудования проводилось на основании статистической информации и рекомендаций [1.7, 1.37]. Результаты оценки вероятностей возникновения аварий приведены в таблице (Таблица 2.4).

Таблица 2.4 – Вероятности возникновения аварийных ситуаций на оборудовании и трубопроводах составляющих объекта

Оборудование	Вид разрушения	Вероятность, 1/год (1/(год*м) – для трубопроводов)
Оборудование, работающее под давлением	Полное разрушение	$1,0 \cdot 10^{-6}$
	Образование отверстия (диаметр 10 мм)	$1,0 \cdot 10^{-5}$
Технологические аппараты, колонны, реакторы, фильтры	Полное разрушение	$1,0 \cdot 10^{-5}$
	Образование отверстия (диаметр 10 мм)	$1,0 \cdot 10^{-4}$
Насосы, компрессоры	Полное разрушение	$1,0 \cdot 10^{-4} \dots 1,0 \cdot 10^{-5}$
	Образование отверстия (утечка через отверстие с номинальным диаметром 10 % от диаметра наибольшего трубопровода, но не больше 50 мм)	$4,4 \cdot 10^{-3} \dots 5,0 \cdot 10^{-5}$
Трубопровод диаметром менее 75 мм	Полное разрушение	$1,0 \cdot 10^{-6}$
	Образование отверстия (истечение через отверстие с эффективным диаметром 10 % от номинального диаметра трубы, но не больше 50 мм)	$5,0 \cdot 10^{-6}$
Трубопровод диаметром от 75 до 150 мм	Полное разрушение	$3,0 \cdot 10^{-7}$
	Образование отверстия (истечение через отверстие с эффективным диаметром	$2,0 \cdot 10^{-6}$

Оборудование	Вид разрушения	Вероятность, 1/год (1/(год*м) – для трубопроводов)
	10 % от номинального диаметра трубы, но не больше 50 мм)	
Трубопровод диаметром более 150 мм	Полное разрушение	$1,0 \cdot 10^{-7}$
	Образование отверстия (истечение через отверстие с эффективным диаметром 10 % от номинального диаметра трубы, но не больше 50 мм)	$5,0 \cdot 10^{-7}$

Анализ и оценка последствий рассматриваемых аварий

Пожар пролива, огненный шар

Интенсивность теплового излучения определяются согласно п. 23 Приложения №3 к «Методике определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах» [1.33] и Приложения В к ГОСТ Р. 12.3.047-2012 [1.12].

Интенсивность теплового излучения q (кВт/м²) для пожара пролива ЛВЖ, ГГ, ГЖ, огненного шара определяется по формуле:

$$q = E_f \cdot F_q \cdot \tau$$

где: E_f – среднеповерхностная интенсивность теплового излучения пламени, кВт/м²;

F_q – угловой коэффициент облученности;

τ – коэффициент пропускания атмосферы.

Критерии детерминированного поражения человека тепловым излучением [1.12,1.29,1.33], используемые в настоящей работе приведены в таблице (Таблица 2.5).

Таблица 2.5 – Критерии поражения человека тепловым излучением

Степень поражения	Интенсивность излучения, кВт/м ²
Без негативных последствий в течение неограниченного времени Безопасно для человека в брезентовой одежде	1,4 4,2
Непереносимая боль через 20÷30 сек. Ожог 1 степени через 15÷20 сек.	7,0
Ожог 2 степени через 30÷40 сек. Непереносимая боль через 3÷5 сек. Ожог 1 степени через 6÷8 сек. Ожог 2 степени через 12÷16 сек.	10,5

Величина эффективного времени экспозиции (t , сек.) при воздействии теплового излучения пожара вычисляется по формуле [1.37]:

$$t = t_0 + \frac{x_{\sigma}}{u_{cp}}$$

где t_0 – характерное время, за которое человек обнаруживает пожар и принимает решение о своих дальнейших действиях, с (принимается равным 5 с);

x_6 – расстояние от места расположения человека до безопасной зоны (в оптимальном расстоянии от места расположения человека до безопасной зоны (зона, где интенсивность теплового излучения меньше 4 кВт/м^2), м;

$u_{\text{ср}}$ – средняя скорость движения человека к безопасной зоне, м/с (принимается 5 м/с).

Величина эффективного времени экспозиции (t , сек.) при воздействии теплового излучения «огненного шара» вычисляется по формуле [1.37]:

$$t = 0.92 * m^{0.303}$$

где m – масса горючего вещества, участвующего в образовании огненного шара, кг.

Характерное время, за которое человек обнаруживает возгорание и принимает решение о своих дальнейших действиях, принимается равным 5 с, средняя скорость движения человека к безопасной зоне принимается 5 м/с [1.37].

Факельное горение

Оценка последствий при возникновении факельного горения струи газа оценивается с использованием расчетных зависимостей, приведенных в Методике определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах [1.33], ГОСТ Р. 12.3.047-2012 [1.12].

Длина факела L_F (м) при струйном горении СУГ и СПГ, ЛВЖ и ГЖ определяется по формуле:

$$L_F = K \cdot G^{0.4},$$

где G – расход продукта, кг/с;

K – эмпирический коэффициент, который при истечении сжатых газов принимается равным 12,5, при истечении паровой фазы СУГ или СПГ – равным 13,5, при истечении жидкой фазы СУГ или СПГ, ЛВЖ и ГЖ под давлением – равным 15.

Ширина факела D_F (м) при струйном горении определяется по формуле:

$$D_F = 0,15 \cdot L_F.$$

При проведении оценки пожарной опасности горящего факела при струйном истечении сжатых горючих газов, паровой и жидкой фазы СУГ, СПГ, ЛВЖ и ГЖ под давлением допускается принимать следующее:

1) зона непосредственного контакта пламени с окружающими объектами определяется размерами факела;

2) длина факела L_F не зависит от направления истечения продукта и скорости ветра;

3) наибольшую опасность представляют горизонтальные факелы, условную вероятность реализации которых следует принимать равной 0,67;

4) поражение человека в горизонтальном факеле происходит в 30° секторе с радиусом, равным длине факела;

5) воздействие горизонтального факела на соседнее оборудование, приводящее к его разрушению (каскадному развитию аварии), происходит в 30° секторе, ограниченном радиусом, равным L_F ;

6) тепловое излучение от вертикальных факелов может быть определено по формулам для пожара пролива, принимая L равным L_F , d равным D_F , θ равным 0 , а E_f по формулам или таблице из методики, касающейся оценки размеров зон поражения для пожара пролива в зависимости от вида топлива. При отсутствии данных и

невозможности рассчитать E_f по представленным формулам допускается эту величину принимать равной 200 кВт/м²;

7) за пределами указанного сектора на расстояниях от L_f до $1,5 L_f$ тепловое излучение от горизонтального факела составляет 10 кВт/м²;

8) при истечении жидкой фазы СУГ или СПГ из отверстия с эквивалентным диаметром до 100 мм при мгновенном воспламенении происходит полное сгорание истекающего продукта в факеле без образования пожара пролива;

9) область возможного воздействия пожара-вспышки при струйном истечении совпадает с областью воздействия факела (30° сектор, ограниченный радиусом, равным L_f);

10) при мгновенном воспламенении струи газа возможность формирования волн давления допускается не учитывать.

Взрывы облаков ТВС

Оценка последствий взрывного превращения облаков ТВС на открытой площадке производится с использованием расчетных зависимостей, приведенных в РБ «Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушной смеси» [1.36].

При оценке параметров ударных волн при взрыве облака ТВС учитываются следующие исходные данные:

- 1) характеристики горючего вещества, содержащегося в облаке ТВС;
- 2) агрегатное состояние ТВС (газовое или гетерогенное);
- 3) средняя концентрация горючего вещества в смеси C_r ;
- 4) стехиометрическая концентрация горючего газа с воздухом $C_{ст}$;
- 5) масса горючего вещества в облаке, участвующая в создании поражающих факторов взрыва M_r ;
- 6) удельная теплота сгорания горючего вещества q_r ;
- 7) информация об окружающем пространстве.

Степень разрушения различных административных, производственных зданий и сооружений от воздействия избыточного давления ударной волны приведены в таблице (Таблица 2.6) (Приложение 5 к РБ «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах» [1.37]).

Таблица 2.6 – Данные о степени разрушения производственных, административных зданий и сооружений, имеющих разную устойчивость

Тип зданий, сооружений	Разрушение при избыточном давлении на фронте ударной волны, кПа			
	Слабое	Среднее	Сильное	Полное
Промышленные здания с тяжелым металлическим или железобетонным каркасом	20-30	30-40	40-50	>50
Промышленные здания с легким каркасом и бескаркасной конструкции	10-20	25-35	35-45	>45
Складские кирпичные здания	10-20	20-30	30-40	>40

Тип зданий, сооружений	Разрушение при избыточном давлении на фронте ударной волны, кПа			
	Слабое	Среднее	Сильное	Полное
Одноэтажные складские помещения с металлическим каркасом и стеновым заполнением из листового металла	5-7	7-10	10-15	>15
Бетонные и железобетонные здания и антисейсмические конструкции	25-35	80-120	150-200	>200
Здания железобетонные монолитные повышенной этажности	25-45	45-105	105-170	170-215
Котельные, регуляторные станции в кирпичных зданиях	10-15	15-25	25-35	35-45
Деревянные дома	6-8	8-12	12-20	>20
Подземные сети, трубопроводы	400-600	600-1000	1000-1500	1500
Трубопроводы наземные	20	50	130	–
Кабельные подземные линии	до 800	–	–	1500
Цистерны для перевозки нефтепродуктов	30	50	70	80
Резервуары и емкости стальные наземные	35	55	80	90
Подземные резервуары	40	75	150	200

Уровни разрушения зданий в соответствии с классификацией РБ «Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей» [1.36] и Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств» [1.7] приведены в таблице (Таблица 2.7).

Таблица 2.7 – Уровни разрушения зданий

Категория повреждения	Характеристика повреждения здания	Избыточное давление ΔP , кПа	Коэффициент К
A	Полное разрушение здания	>100	3,8
B	Тяжелые повреждения, здание подлежит сносу	70	5,6
C	Средние повреждения, возможно восстановление здания	28	9,6
D	Разрушение оконных проемов, легкосбрасываемых конструкций	14	28,0
E	Частичное разрушение остекления	<2,0	56

Зависимость условной вероятности поражения человека с разной степенью тяжести от степени разрушения здания (ФНП «Общие правила взрывобезопасности для

взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств» [1.7]) представлена в таблице (Таблица 2.8).

Таблица 2.8 – Зависимость условной вероятности поражения человека с разной степенью тяжести от степени разрушения здания

Тяжесть поражения	Степень разрушения			
	Полное	Среднее	Сильное	Слабое
Смертельное	0,6	0,49	0,09	0
Тяжелые травмы	0,37	0,34	0,1	0
Легкие травмы	0,03	0,17	0,2	0,05

Величина избыточного давления на фронте падающей ударной волны принимается безопасной для человека $\Delta P = 5$ кПа. Воздействие на человека ударной волны с избыточным давлением на фронте $\Delta P > 120$ кПа принимается в качестве смертельного поражения. Для определения числа пострадавших принимается значение избыточного давления, превышающее 70 кПа (приложение 5 Руководства по безопасности «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах» [1.37]).

Пожар-вспышка

Как показано ранее, при воспламенении паров ОБ возможна реализация т.н. «пожара-вспышки». Для оценки потенциальных последствий такого варианта развития аварии следует проанализировать поле пространственного распределения концентраций ОБ, образующегося при дрейфе взрывоопасного облака, при этом в качестве внешней границы зоны распространения взрывоопасных концентраций принимается изолиния, соответствующая значению изоконцентрации $0,5 \cdot \text{НКПР}$. Данное предположение позволяет оценить потенциальную опасность анализируемого варианта развития аварии с некоторым коэффициентом запаса, что, в целом, укладывается в рамки т. н. «консервативного подхода, применяемого в рамках настоящей работы».

Оценка последствий таких аварий проводилась с использованием расчетной методики, приведенной в Руководстве по безопасности «Методика моделирования распространения аварийных выбросов опасных веществ» [1.35]. Расчетные алгоритмы используемой методики реализованы в составе используемого программного комплекса «ТОКСИ+Risk».

Расчеты распространения ОБ в атмосфере, приведенные в Руководстве, основаны на модели рассеяния «тяжелого» газа. Основными особенностями образования «тяжелого» газа являются: соотношение плотности газообразного ОБ и плотности воздуха более 1, низкая температура, наличие аэрозолей.

Модель «тяжелого» газа учитывает следующие процессы:

- 1) движение облака с учетом изменения скорости ветра по высоте;
- 2) гравитационное растекание облака;
- 3) рассеяние облака в вертикальном направлении за счет атмосферной турбулентности (подмешивание воздуха в облако);
- 4) рассеяние облака в горизонтальном направлении за счет подмешивания воздуха в облако, происходящего как за счет атмосферной турбулентности, так и за счет гравитационного растекания;
- 5) нагрев и ли охлаждение облака за счет подмешивания воздуха;

- 6) фазовые переходы ОВ в облаке («газ – жидкость» и «жидкость – газ»);
- 7) теплообмен облака с подстилающей поверхностью.

При использовании методики предполагается:

- 1) газообразное ОВ считается идеальным газом, свойства которого не зависят от температуры;
- 2) жидкое ОВ считается несжимаемой жидкостью, свойства которой не зависят от температуры;
- 3) гравитационное растекание облака ОВ учитывается с помощью эмпирической зависимости;
- 4) ОВ находится в аварийном оборудовании при давлении, равном или превышающем атмосферное;
- 5) истечение и испарение ОВ происходят с постоянной скоростью, соответствующей максимальной скорости истечения (испарения);
- 6) разлив жидкой фазы происходит на поверхности без впитывания;
- 7) для случаев отсутствия обвалования толщина слоя разлившегося жидкого ОВ принимается равной 0,05 м;
- 8) осаждение (конденсация) на подстилающую поверхность выброса газообразного ОВ и его химические превращения при рассеянии не учитываются;
- 9) рассматриваются только случаи аварийного истечения ОВ из оборудования, когда отверстия разгерметизации или места расположения аварийных трубопроводов всем сечением находятся выше или ниже уровня налива жидкого ОВ в оборудовании, соответственно, рассматривается истечение только газовой либо только жидкой фазы.

При оценке последствий потенциальных аварий с выбросом опасных веществ используются стандартные характеристики атмосферы и профили ветра, а также известные скорости подмешивания воздуха в выброс. Для описания устойчивости атмосферы используется 6 классов устойчивости — А, В, С, D, Е и F (по Паскуилу). Первые три класса соответствуют неустойчивой стратификации атмосферы, последние два — устойчивой. Класс D — соответствует нейтральной стратификации атмосферы. Предполагается, что в течение времени распространения облака характеристики атмосферы не меняются.

Оценка последствий ведется для наиболее неблагоприятных метеорологических условий — класс устойчивости атмосферы — F, скорость ветра на высоте 10 м — 1 м/с [1.35].

Для пожара-вспышки принимается, что условная вероятность поражения человека, попавшего в зону воздействия высокотемпературными продуктами сгорания газопаровоздушного облака, равна 1, за пределами этой зоны условная вероятность поражения человека принимается равной 0 (Приложение №4 к «Методике определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах» [1.33], Приложение № 5 к Руководству по безопасности «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах» [1.37]).

Оценка риска поражения людей

В соответствии с положениями п. 41 Руководства по безопасности «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах» [1.37] величину потенциального риска $R_{пот}(x;y)$, 1/год в определенной точке (x;y) на территории площадочного объекта и в зонах, граничащих с площадочным объектом, следует определять по формуле:

$$R_{nom} = \sum_{i=1}^I Q_i \cdot \min(1; 1 - \prod_{j=1}^{\Phi_i(x;y)} (1 - v_{уяз}^{ij}(x;y) \cdot P_{гиб}^{ij}(x;y)))$$

где: I – число сценариев развития аварий;

Q_i – частота реализации в течение года i-го сценария развития аварии, 1/год;

$\Phi_i(x;y)$ – количество поражающих факторов, которые могут действовать одновременно при реализации i-го сценария в точке с координатами (x;y);

$v_{уяз}^{ij}(x;y)$ – коэффициент уязвимости человека, находящегося в точке территории с координатами (x;y) от j-го поражающего фактора, который может реализоваться в ходе i-го сценария аварии, и зависит от защитных свойств помещения, укрытия, в котором может находиться человек в момент аварии, и изменяющийся от 0 (человек неуязвим) до 1 (человек не защищен из-за незначительных защитных свойств укрытия), или превышать 1 в случае гибели людей при обрушении зданий;

$P_{гиб}^{ij}(x;y)$ – условная вероятность гибели незащищенного человека на открытом пространстве в точке территории с координатами (x;y) от j-го поражающего фактора при реализации i-го сценария аварии.

Условная вероятность гибели человека определяется при помощи соответствующих пробит-функций [1.7, 1.33, 1.36, 1.37]. В общем случае пробит-функция имеет вид [1.37]:

$$Pr = a + b \cdot \ln[D]$$

где: a и b – константы, зависящие от вида и параметров негативного воздействия;

D – доза негативного воздействия (для оценки воздействия теплового излучения – функция плотности, интенсивности теплового излучения и времени воздействия; для барического воздействия – избыточное давление на фронте ударной волны и импульс фазы сжатия).

Для поражения человека тепловым излучением величина пробит-функции описывается следующим выражением [1.33, 1.37]:

$$Pr = -12.8 + 2.56 \cdot \ln \left[t * q^{\frac{4}{3}} \right]$$

где q – тепловая нагрузка, Вт/м²;

t – время экспозиции, с.

Вероятность повреждения стен промышленных зданий, при которых возможно восстановление зданий без их сноса, может оцениваться по соотношению [1.7, 1.33, 1.36, 1.37]:

$$Pr = 5 - 0.26 \cdot \ln \left[\left(\frac{17500}{\Delta P} \right)^{8.4} + \left(\frac{290}{I} \right)^{9.3} \right]$$

где ΔP – избыточное давление, Па;

I – импульс, Па·с.

Вероятность разрушения промышленных зданий, при которых здания подлежат сносу, оценивается следующим образом [1.7, 1.36, 1.37]:

$$\text{Pr} = 5 - 0.22 \cdot \ln \left[\left(\frac{40000}{\Delta P} \right)^{7.4} + \left(\frac{460}{I} \right)^{11.3} \right]$$

Индивидуальный риск рекомендуется оценивать частотой поражения определенного человека (группы людей) в результате аварий в течение года по формуле (п. 42 Руководства по безопасности «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах» [1.37]):

$$R_{инд}^i = \sum_{k=1}^G q_{ki} \cdot R_{ном}(x; y)$$

где: q_{ki} – вероятность присутствия i -го индивида в k -ой области территории с учетом продолжительности действия поражающего фактора;

G – число областей, на которые условно можно разбить территорию, при условии, что величину потенциального риска на всей площади каждой из таких областей можно принять одинаковой.

Для оценки величин выбранного критерия подтверждения соответствия ОПО требованиям ФНП (индивидуальный риск гибели) следует определить долю времени пребывания потенциальных реципиентов в опасных зонах.

В соответствии с п. 42 Руководства по безопасности «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах» [1.37] для производственного персонала долю времени, при которой реципиент (субъект) подвергается опасности, можно оценить величиной 0,22 – для производственных объектов с постоянным пребыванием персонала (41 час в неделю) и 0,08 – для производственных объектов без постоянного пребывания персонала (менее 2 часов в смену) [1.37]. Для мест постоянного проживания людей доля времени, при которой реципиент (субъект) подвергается опасности, оценивается равной 1.

В соответствии с п. 43 Руководства по безопасности «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах» [1.37] величину коллективного риска рекомендуется определять по формуле:

$$R_{колл} = \sum_{j=1}^J N_{Г}^j \cdot Q_j$$

где – частота j -го сценария, при котором ожидаемое количество погибших лиц равно $N_{Г}^j$

Социальный риск рекомендуется представлять в виде графика ступенчатой функции $F(x)$, задаваемой уравнением:

$$F(x) = \sum_{i=1}^{I(x)} Q_i^x$$

где Q_i^x – ожидаемые частоты реализаций аварийных ситуаций C_i , при которых гибнет не менее x человек;

$N_{(x)}$ – число сценариев C_i , при которых гибнет не менее x человек.

Рекомендуется построение кривой социального риска в виде ступенчатой, непрерывной слева функции $F(x)$ со ступеньками в целочисленных значениях аргумента $x = [N_j]$, когда:

$$F(\lceil N_j \rceil) = F(N_j) \cdot \frac{N_j}{\lceil N_j \rceil}$$

где: $\lceil N_j \rceil$ – ближайшее большее целое число к значению ожидаемого числа погибших N_j при реализации j-го сценария;

$F(N_j)$ – сумма частот сценариев с ожидаемым числом погибших не менее.

2.2.4 Оценка количества опасных веществ, участвующих в аварии и в создании поражающих факторов

Оценка количеств опасных веществ, участвующих в аварии, а также веществ, участвующих в создании поражающих факторов, определялась расчетно-аналитическим путем с использованием допущений, приведенных в п. 2.2.2, 2.2.3 Настоящего документа.

При оценке количеств опасных веществ авариях на объекте используется программный комплекс «ТОКСИ+Risk», разработанного ЗАО «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности».

Результаты оценки количества опасных веществ, участвующих в аварии, а также в создании поражающих факторов приведены в таблице (Таблица 2.9). В таблице (Таблица 2.9) – прочерк означает, что для указанного варианта развития аварии количества опасного вещества недостаточно для создания поражающих факторов (напр. не достигается концентрация опасного вещества, соответствующая НКПР или НКПР/2) при условиях выброса, либо испаряется вся жидкая фаза и невозможно образование пожара пролива.

Таблица 2.9 – Сведения о количествах опасного вещества, участвующего в аварии и в создании поражающих факторов

Номер блока	Позиция оборудования	Наименование	Иницирующее событие	Номер сценария аварии	Сценарий аварии	Основной поражающий фактор	Количество опасного вещества, кг	
							участвующего в аварии	участвующего в создании поражающих факторов
-	Е-901/1...12	Шаровый резервуар	Полное разрушение	С ₁	Пожар пролива	Пламя, тепловое излучение	271914	180673,03
				С ₂	Пожар-вспышка	Пламя, тепловое излучение	271914	23727,41
				С ₃	Взрыв ТВС	Ударная волна	271914	23727,41
				С ₁	Огненный шар	Пламя, тепловое излучение	271914	271914
				С ₄	Рассеивание без воспламенения	–	271914	–
			Отверстие 10 мм	С ₆	Пожар пролива	Пламя, тепловое излучение	1288,86	856,38
				С ₆	Пожар-вспышка	Пламя, тепловое излучение	1288,86	36,07
				С ₇	Взрыв ТВС	Ударная волна	1288,86	36,07
				С ₅	Горизонтальный факел	Пламя, тепловое излучение	1288,86	1288,86
				С ₈	Рассеивание без воспламенения	–	1288,86	–
-	Н-6/1,2	Насос центробежный	Полное разрушение	С ₉	Горизонтальный факел	Пламя, тепловое излучение	1116,9	1116,9
				С ₁₀	Пожар-вспышка	Пламя, тепловое излучение	1116,9	92,53
				С ₁₁	Взрыв ТВС	Ударная волна	1116,9	74,96
				С _{9, С₁₀}	Пожар пролива	Пламя, тепловое излучение	1116,9	782,29

Номер блока	Позиция оборудования	Наименование	Иницирующее событие	Номер сценария аварии	Сценарий аварии	Основной поражающий фактор	Количество опасного вещества, кг	
							участвующего в аварии	участвующего в создании поражающих факторов
			Отверстие 10 мм	C ₁₂	Рассеивание без воспламенения	–	1116,9	–
				C ₁₃	Горизонтальный факел	Пламя, тепловое излучение	1116,9	1116,9
				C ₁₄	Пожар-вспышка	Пламя, тепловое излучение	1116,9	74,9
				C ₁₅	Взрыв ТВС	Ударная волна	1116,9	92,54
				C _{13, C₁₄}	Пожар пролива	Пламя, тепловое излучение	1116,9	782,29
				C ₁₆	Рассеивание без воспламенения	–	1116,9	–
-	С-901, С-902	Сепаратор	Полное разрушение	C ₃₄	Пожар-вспышка	Пламя, тепловое излучение	5634	92,53
				C ₃₃	Огненный шар	Пламя, тепловое излучение	5634	5634
				C ₃₅	Взрыв ТВС	Ударная волна	5634	707,51
				C ₃₆	Рассеивание без воспламенения	–	5634	–
			Отверстие 10 мм	C ₃₇	Горизонтальный факел	Пламя, тепловое излучение	914,65	914,65
				C ₃₈	Пожар-вспышка	Пламя, тепловое излучение	914,65	74,96
				C ₃₉	Взрыв ТВС	Ударная волна	914,65	36,03
				C ₄₀	Рассеивание без воспламенения	–	914,65	–

Номер блока	Позиция оборудования	Наименование	Иницирующее событие	Номер сценария аварии	Сценарий аварии	Основной поражающий фактор	Количество опасного вещества, кг					
							участвующего в аварии	участвующего в создании поражающих факторов				
-	№ 12 НЗ, СТ	Технологический трубопровод	Полное разрушение	C ₂₅	Горизонтальный факел	Пламя, тепловое излучение	9420,54	9420,54				
				C ₂₅ , C ₂₆	Пожар пролива	Пламя, тепловое излучение	9420,54	9420,54				
				C ₂₆	Пожар-вспышка	Пламя, тепловое излучение	9420,54	9420,54				
				C ₂₇	Взрыв ТВС	Ударная волна	9420,54	2912,72				
				C ₂₈	Рассеивание без воспламенения	–	9420,54	–				
			Отверстие 10 % номинального диаметра трубы, но не больше 50 мм	C ₂₉	Горизонтальный факел	Пламя, тепловое излучение	9420,54	9420,54				
				C ₂₉ , C ₃₀	Пожар пролива	Пламя, тепловое излучение	9420,54	9420,54				
				C ₃₀	Пожар-вспышка	Пламя, тепловое излучение	9420,54	9420,54				
				C ₃₁	Взрыв ТВС	Ударная волна	9420,54	1440,14				
				C ₃₂	Рассеивание без воспламенения	–	9420,54	–				
				-	№ 22 НЗ, СТ	Технологический трубопровод	Полное разрушение	C ₁₇	Горизонтальный факел	Пламя, тепловое излучение	80,17	80,17
								C ₁₈	Пожар-вспышка	Пламя, тепловое излучение	440,77	149,56
C ₁₉	Взрыв ТВС	Ударная волна	440,77					440,77				
C ₂₀	Рассеивание без воспламенения	–	440,77					–				
Отверстие 10 %	C ₂₁	Горизонтальный факел	Пламя, тепловое излучение				80,17	80,17				

Номер блока	Позиция оборудования	Наименование	Иницирующее событие	Номер сценария аварии	Сценарий аварии	Основной поражающий фактор	Количество опасного вещества, кг	
							участвующего в аварии	участвующего в создании поражающих факторов
			номинального диаметра трубы, но не больше 50 мм	C ₂₂	Пожар-вспышка	Пламя, тепловое излучение	80,17	0,205
				C ₂₃	Взрыв ТВС	Ударная волна	440,77	440,77
				C ₂₄	Рассеивание без воспламенения	–	440,77	–

2.2.5 Расчет вероятных зон действия поражающих факторов

Результаты оценки размеров зон действия поражающих факторов для наиболее опасных и наиболее вероятных приведены в таблицах (Таблица 2.10...Таблица 2.18).

Исходные предположения для оценки размеров зон действия поражающих факторов приведены в п. 2.2.2, 2.2.3 Настоящего документа.

При оценке вероятностных зон поражения от пожаров пролива прочерк в таблице означает, что указанная вероятность смертельного поражения не достигается. Наличие при этом вероятности поражения 100 % объясняется консервативным предположением о том, что вероятность гибели человека, попавшего в границы пролива, равна 100 %, хотя при использовании probit-функций вероятность гибели в проливе может отличаться от 100 %-ной в меньшую сторону.

Таблица 2.10 – Размеры зон действия поражающих факторов для аварий, сопровождающихся образованием пожара пролива (детерминированные критерии) на рассматриваемом ОПО

Номер блока	Позиция оборудования	Площадь пролива, м ²	Вид разрушения	Номер сценария	Интенсивность теплового излучения, кВт/м ²					
					1,4	4,2	7,0	10,5	13,9	14,8
-	Е-901/1...12	2116	Полное разрушение	С ₁	505,95	312,19	246,17	202,37	175,82	170,18
		189,41	Частичное разрушение	С ₆	171,11	99,91	76,62	61,32	52,14	50,19
-	Н-6/1,2	173,02	Полное разрушение	С ₉ , С ₁₀	164	95,55	73,23	58,56	49,74	47,85
		173,02	Частичное разрушение	С ₁₃ , С ₁₄	164	95,55	73,23	58,56	49,74	47,85
-	№ 12 НЗ, СТ	1384,44	Полное разрушение	С ₂₅ , С ₂₆	421,9	257,2	201,7	165,1	142,9	138,3
		1384,44	Частичное разрушение	С ₂₉ , С ₃₀	421,9	257,2	201,7	165,1	142,9	138,3

Таблица 2.11 – Размеры зон действия поражающих факторов для аварий, сопровождающихся образованием пожара пролива (вероятностные критерии) на рассматриваемом ОПО

Номер блока	Позиция оборудования	Площадь пролива, м ²	Вид разрушения	Номер сценария	Вероятностное смертельное поражение тепловым излучением, %					
					1	25	50	75	90	100
-	Е-901/1...12	2116	Полное разрушение	С ₁	223,76	203,66	191,94	179,36	155,57	123,99
		189,41	Частичное разрушение	С ₆	55,31	48,04	43,97	39,64	31,95	22,34
-	Н-6/1,2	173,02	Полное разрушение	С ₉ , С ₁₀	52,32	45,32	41,43	37,29	29,9	20,81
		173,02	Частичное разрушение	С ₁₃ , С ₁₄	52,32	45,32	41,43	37,29	29,9	20,81
-	№ 12 НЗ, СТ	1384,44	Полное разрушение	С ₂₅ , С ₂₆	177,4	160,3	150,5	139,9	120,1	94,23
		1384,44	Частичное разрушение	С ₂₉ , С ₃₀	177,4	160,3	150,5	139,9	120,1	94,23

Таблица 2.12 – Размеры зон действия поражающих факторов для аварий, сопровождающихся образованием пожара-вспышки на рассматриваемом объекте

Номер блока	Позиция оборудования	Метео	Вид разрушения	Номер сценария	Дрейф, м	Макс, длина зоны по ветру, м	Макс, длина зоны против ветра, м	Макс, полуширина зоны, м
-	Е-901/1...12	1 м/с, F, 35 °С	Полное разрушение	С ₂	120,1	1316,26	838,69	1077,37
		1 м/с, F, 35 °С	Частичное разрушение	С ₆	3,96	34,88	21,7	58,91
-	Н-6/1,2	1 м/с, F, 35 °С	Полное разрушение	С ₁₀	12,58	144,83	102	123,4
		1 м/с, F, 35 °С	Частичное разрушение	С ₁₄	2,33	144,83	102	123,4
-	С-901, С-902	1 м/с, F, 35 °С	Полное разрушение	С ₃₄	30,89	299,66	200,08	249,86
		1 м/с, F, 35 °С	Частичное разрушение	С ₃₈	3,95	34,88	21,7	58,91
-	№ 12 НЗ, СТ	1 м/с, F, 35 °С	Полное разрушение	С ₂₆	29,1	181,33	123,17	373,18
		1 м/с, F, 35 °С	Частичное разрушение	С ₃₀	20,73	131,09	89,96	273,77
-	№ 22 НЗ, СТ	1 м/с, F, 35 °С	Полное разрушение	С ₁₈	19	88,03	1,07	17,02
		1 м/с, F, 35 °С	Частичное разрушение	С ₂₂	0,9	5,24	0,07	1,44

Таблица 2.13 – Размеры зон действия поражающих факторов для аварий, сопровождающихся образованием взрыва облака ТВС (детерминированные критерии) на рассматриваемом объекте

Номер блока	Позиция оборудования	Метео	Вид разрушения	Номер сценария	Дрейф, м	Избыточное давление, кПа						
						2	5	14	28	53	70	100
-	Е-901/1...12	1 м/с, F, 35 °С	Полное разрушение	С ₃	120,1	2765,88	980,17	393,74	247,06	169,95	110,24	–
		1 м/с, F, 35 °С	Частичное разрушение	С ₇	3,97	167,21	112,7	45,27	28,41	19,54	12,68	–
-	Н-6/1,2	1 м/с, F, 35 °С	Полное разрушение	С ₁₁	12,59	229,39	154,28	61,98	38,89	26,75	17,35	–
		1 м/с, F, 35 °С	Частичное разрушение	С ₁₅	12,59	229,39	154,28	61,98	38,89	26,75	17,35	–
-	С-901, С-902	1 м/с, F, 35 °С	Полное разрушение	С ₃₅	707,51	778,91	303,94	122,1	76,61	52,7	34,18	–
		1 м/с, F, 35 °С	Частичное разрушение	С ₃₉	3,95	167,15	112,66	45,26	28,4	19,53	12,67	–
-	№ 12 НЗ, СТ	1 м/с, F, 35 °С	Полное разрушение	С ₂₇	29,12	1364,5	487,1	195,7	122,8	84,47	54,79	–
		1 м/с, F, 35 °С	Частичное разрушение	С ₃₁	20,74	1056,2	385,2	154,7	97,09	66,79	43,32	–
-	№ 22 НЗ, СТ	1 м/с, F, 35 °С	Полное разрушение	С ₁₉	19	112,49	39,39	-	-	-	-	-

Таблица 2.14 – Размеры зон действия поражающих факторов для аварий, сопровождающихся образованием взрыва облака ТВС (вероятностные критерии) на рассматриваемом объекте

Номер блока	Позиция оборудования	Метео	Вид разрушения	Номер сценария	Дрейф, м	Вероятностное смертельное поражение избыточным давлением, %				
						1	25	50	75	90
-	Е-901/1...12	1 м/с, F, 35 °С	Полное разрушение	С ₃	3,97	56,99	37,84	28,63	21,02	11,58
-	Н-6/1,2	1 м/с, F, 35 °С	Полное разрушение	С ₁₁	12,59	103,37	68,57	54,35	40,66	22,59
-	С-901, С-902	1 м/с, F, 35 °С	Полное разрушение	С ₃₅	30,89	249,22	161,52	129,77	104,05	70,87
			Частичное разрушение	С ₃₉	3,95	56,94	37,81	28,6	21	11,57

Номер блока	Позиция оборудования	Метео	Вид разрушения	Номер сценария	Дрейф, м	Вероятностное смертельное поражение избыточным давлением, %				
						1	25	50	75	90
-	№ 12 НЗ, СТ	1 м/с, F, 35 ° C	Полное разрушение	C ₂₇	29,12	399,9	259,1	208,2	167	114,3
		1 м/с, F, 35 ° C	Частичное разрушение	C ₃₁	20,74	316,2	204,9	164,6	132	90,34
-	№ 22 НЗ, СТ	1 м/с, F, 35 ° C	Полное разрушение	C ₂₃	19	30,66	-	-	-	-

Таблица 2.15 – Размеры зон действия поражающих факторов для аварий, сопровождающихся образованием «огненного шара» (детерминированные критерии) на рассматриваемом объекте

Номер блока	Позиция оборудования	Вид разрушения	Номер сценария	Интенсивность теплового излучения, кВт/м ² (радиус, м)					
				1,4	4,2	7,0	10,5	13,9	14,8
-	E-901/1...12	Полное разрушение	C ₁	1696,81	1147,37	931,28	775,45	674,8	653,1
-	C-901, C-902	Полное разрушение	C ₃₃	672,44	415,86	325,7	264,7	227,2	219,2

Таблица 2.16 – Размеры зон действия поражающих факторов для аварий, сопровождающихся образованием «огненного шара» (вероятностные критерии) на рассматриваемом объекте

Номер блока	Позиция оборудования	Вид разрушения	Номер сценария	Вероятностное смертельное поражение тепловым излучением, %					
				1	25	50	90	99	100
-	E-901/1...12	Полное разрушение	C ₁	827,63	651,6	585,23	462,87	364,76	293,05
-	C-901, C-902	Полное разрушение	C ₃₃	186,32	133,43	113,3	74,33	34,05	-

Таблица 2.17 – Размеры зон действия поражающих факторов для аварий, сопровождающихся образованием факела (детерминированные критерии) на рассматриваемом объекте

Номер блока	Позиция оборудования	Вид разрушения	Номер сценария	Интенсивность теплового излучения, кВт/м ²	
				10	100
-	Е-901/1...12	Частичное разрушение	С ₅	19,69	13,12
-	Н-6/1,2	Полное разрушение	С ₉	66,2	44,2
		Частичное разрушение	С ₁₃	41,8	27,9
-	С-901, С-902	Частичное разрушение	С ₃₇	17,2	11,4
-	№ 12 НЗ, СТ	Полное разрушение	С ₂₅	50,5	33,7
-	№ 12 НЗ, СТ	Полное разрушение	С ₁₇	5,4	3,6

Таблица 2.18 – Размеры зон действия поражающих факторов для аварий, сопровождающихся образованием факела (вероятностные критерии) на рассматриваемом объекте

Номер блока	Позиция оборудования	Вид разрушения	Номер сценария	Вероятностное смертельное поражение тепловым излучением, %
				99,9
-	Е-901/1...12	Частичное разрушение	С ₅	13,12
-	Н-6/1,2	Полное разрушение	С ₉	44,2
		Частичное разрушение	С ₁₃	27,9
-	С-901, С-902	Частичное разрушение	С ₃₇	11,4
-	№ 12 НЗ, СТ	Полное разрушение	С ₂₅	33,7
-	№ 22 НЗ, СТ	Полное разрушение	С ₁₇	3,6

2.2.6 Оценка возможного числа потерпевших, в том числе погибших, среди работников декларируемого объекта и иных физических лиц, которым может быть причинен вред здоровью или жизни в результате аварии на декларируемом объекте

Оценка числа погибших и пострадавших осуществляется с помощью программного комплекса для оценки последствий аварий с выбросом опасных веществ и оценки риска «ТОКСИ+Risk».

Результаты оценки последствий для некоторых вариантов развития аварии (образование пожара, взрывного превращения облака ТВС) в силу специфики реализации поражающих факторов (возможность распространения соответствующего поражающего фактора по 8-ми направлениям ветра) могут оцениваться диапазоном величин. В рамках т.н. «консервативной» оценки наибольший интерес представляют аварии, при реализации которых количество погибших и/или пострадавших максимально, поэтому в таблице приводятся результаты количественной оценки именно для таких вариантов развития аварий (реализация поражающего фактора в направлении ветра, сопровождающемся наибольшим количеством погибших).

Результаты оценки числа пострадавших, погибших на наиболее опасных и наиболее вероятных сценариях аварий, для рассматриваемого объекта приведены в таблице (Таблица 2.19). В таблице при помощи символа «/» разделены значения количеств погибших или пострадавших между персоналом рассматриваемого объекта (включает персонал иных объектов эксплуатирующей организации) и третьими лицами (персонал соседних объектов и т.д.).

Таблица 2.19 – Число пострадавших/погибших при наиболее опасных и наиболее вероятных авариях на рассматриваемых составляющих объекта

Номер блока	Позиция оборудования	Наименование	Иницирующее событие	Номер сценария аварии	Сценарий аварии	Основной поражающий фактор	Максимальное количество, чел.	
							погибших	пострадавших
-	E-901/1...12	Шаровый резервуар	Полное разрушение	C ₁	Пожар пролива	Пламя, тепловое излучение	3/0	3/0
				C ₂	Пожар-вспышка	Пламя, тепловое излучение	3/93	3/272
				C ₃	Взрыв ТВС	Ударная волна	3/27	3/177
				C ₁	Огненный шар	Пламя, тепловое излучение	3/15	3/171
				C ₄	Рассеивание без воспламенения	–	0/0	0/0
			Отверстие 10 мм	C ₆	Пожар пролива	Пламя, тепловое излучение	1/0	1/0
				C ₆	Пожар-вспышка	Пламя, тепловое излучение	1/0	1/0
				C ₇	Взрыв ТВС	Ударная волна	1/0	2/0
				C ₅	Горизонтальный факел	Пламя, тепловое излучение	1/0	1/0
				C ₈	Рассеивание без воспламенения	–	0/0	0/0
			-	H-6/1,2	Насос центробежный	Полное разрушение	C ₉	Горизонтальный факел
C ₁₀	Пожар-вспышка	Пламя, тепловое излучение					3/0	3/0
C ₁₁	Взрыв ТВС	Ударная волна					1/0	3/0
C _{9, C₁₀}	Пожар пролива	Пламя, тепловое излучение					1/0	2/0

Номер блока	Позиция оборудования	Наименование	Иницирующее событие	Номер сценария аварии	Сценарий аварии	Основной поражающий фактор	Максимальное количество, чел.	
							погибших	пострадавших
			Отверстие 10 мм	C ₁₂	Рассеивание без воспламенения	–	0/0	0/0
				C ₁₃	Горизонтальный факел	Пламя, тепловое излучение	1/0	1/0
				C ₁₄	Пожар-вспышка	Пламя, тепловое излучение	3/0	3/0
				C ₁₅	Взрыв ТВС	Ударная волна	1/0	3/0
				C ₁₃ , C ₁₄	Пожар пролива	Пламя, тепловое излучение	1/0	2/0
				C ₁₆	Рассеивание без воспламенения	–	0/0	0/0
-	С-901, С-902	Сепаратор	Полное разрушение	C ₃₄	Пожар-вспышка	Пламя, тепловое излучение	1/0	3/0
				C ₃₃	Огненный шар	Пламя, тепловое излучение	3/0	/0
				C ₃₅	Взрыв ТВС	Ударная волна	3/0	3/0
				C ₃₆	Рассеивание без воспламенения	–	0/0	0/0
			Отверстие 10 мм	C ₃₇	Горизонтальный факел	Пламя, тепловое излучение	0/0	0/0
				C ₃₈	Пожар-вспышка	Пламя, тепловое излучение	1/0	1/0
				C ₃₉	Взрыв ТВС	Ударная волна	1/0	2/0
				C ₄₀	Рассеивание без воспламенения	–	0/0	0/0

Номер блока	Позиция оборудования	Наименование	Иницирующее событие	Номер сценария аварии	Сценарий аварии	Основной поражающий фактор	Максимальное количество, чел.					
							погибших	пострадавших				
-	№ 12 НЗ, СТ	Технологический трубопровод	Полное разрушение	C ₂₅	Горизонтальный факел	Пламя, тепловое излучение	1/0	1/0				
				C ₂₅ , C ₂₆	Пожар пролива	Пламя, тепловое излучение	3/0	3/0				
				C ₂₆	Пожар-вспышка	Пламя, тепловое излучение	3/0	3/0				
				C ₂₇	Взрыв ТВС	Ударная волна	3/1	3/12				
				C ₂₈	Рассеивание без воспламенения	–	0/0	0/0				
			Отверстие 10 % номинального диаметра трубы, но не больше 50 мм	C ₂₉	Горизонтальный факел	Пламя, тепловое излучение	0/0	0/0				
				C ₂₉ , C ₃₀	Пожар пролива	Пламя, тепловое излучение	3/0	3/0				
				C ₃₀	Пожар-вспышка	Пламя, тепловое излучение	1/0	1/0				
				C ₃₁	Взрыв ТВС	Ударная волна	3/1	3/1				
				C ₃₂	Рассеивание без воспламенения	–	0/0	0/0				
				-	№ 22 НЗ, СТ	Технологический трубопровод	Полное разрушение	C ₁₇	Горизонтальный факел	Пламя, тепловое излучение	0/0	0/0
								C ₁₈	Пожар-вспышка	Пламя, тепловое излучение	1/0	1/0
C ₁₉	Взрыв ТВС	Ударная волна	1/0					1/0				
C ₂₀	Рассеивание без воспламенения	–	0/0					0/0				
Отверстие 10 %	C ₂₁	Горизонтальный факел	Пламя, тепловое излучение				0/0	0/0				

Номер блока	Позиция оборудования	Наименование	Иницирующее событие	Номер сценария аварии	Сценарий аварии	Основной поражающий фактор	Максимальное количество, чел.	
							погибших	пострадавших
			номинального диаметра трубы, но не больше 50 мм	C ₂₂	Пожар-вспышка	Пламя, тепловое излучение	0/0	0/0
				C ₂₃	Взрыв ТВС	Ударная волна	1/0	1/0
				C ₂₄	Рассеивание без воспламенения	–	0/0	0/0

В рамках настоящего раздела выделены наиболее опасные сценарии аварии на декларируемом объекте, а так вероятные сценарии аварии на декларируемом объекте.

2.2.7 Оценка возможного ущерба имуществу юридическим и физическим лицам и вреда окружающей среде

В соответствии с [1.28] Структура ущерба от аварий на опасных производственных объектах, как правило, включает: полные финансовые потери организации, эксплуатирующей опасный производственный объект, на котором произошла авария; расходы на ликвидацию аварии; социально-экономические потери, связанные с травмированием и гибелью людей (как персонала организации, так и третьих лиц); вред, нанесенный окружающей природной среде; косвенный ущерб и потери государства от выбытия трудовых ресурсов.

Вероятный ущерб от аварий на опасном производственном объекте рассчитывался следующим образом:

$$P_a = P_{п.п.} + P_{л.а.} + P_{с.э.} + P_{н.в.} + P_{экол.} + P_{в.т.р.},$$

где P_a – полный ущерб от аварий, руб.;

$P_{п.п.}$ – прямые потери организации, эксплуатирующей опасный производственный объект, руб.;

$P_{л.а.}$ – затраты на локализацию (ликвидацию) и расследование аварии, руб.;

$P_{с.э.}$ – социально-экономические потери (затраты, понесенные вследствие гибели и травматизма людей), руб.;

$P_{н.в.}$ – косвенный ущерб, руб.;

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

$P_{в.т.р.}$ – потери от выбытия трудовых ресурсов в результате гибели людей или потери ими трудоспособности, руб..

Прямые потери ($P_{п.п.}$) от аварий можно определить по формуле:

$$P_{п.п.} = P_{о.ф.} + P_{тм.ц.} + P_{им.},$$

где $P_{о.ф.}$ – потери предприятия в результате уничтожения основных фондов, руб.;

$P_{тм.ц.}$ – потери предприятия в результате уничтожения товарно-материальных ценностей, руб.;

$P_{им.}$ – потери предприятия в результате уничтожения имущества третьих лиц, руб.

Затраты на локализацию ($P_{л.а.}$) можно определить по формуле:

$$P_{л.а.} = P_{л.} + P_{р.},$$

где $P_{л.}$ – расходы, связанные с локализацией и ликвидацией последствий аварий, руб.;

$P_{р.}$ – расходы на расследование аварии, руб.

Для оборудования, машин, транспортных средств, инвентаря стоимость замещения можно определять исходя из суммы, необходимой для приобретения предмета, аналогичного уничтоженному, за вычетом износа, включая расходы по перевозке и монтажу, таможенные пошлины и прочие сборы.

Для зданий и сооружений стоимость замещения можно определять исходя из проектной стоимости строительства для данной местности объекта, аналогичного погибшему по своим проектным характеристикам и качеству строительных материалов, с учетом его износа и эксплуатационно-технического состояния.

В случае если стоимость замещения отдельных видов уничтоженных основных фондов затруднительно определить в виду их каких-нибудь уникальных характеристик либо в силу иных причин, то искомую величину можно определять по остаточной стоимости.

1) при частичном повреждении имущества стоимость ущерба, рекомендуется определять в размере расходов по его восстановлению до состояния, в котором оно находилось непосредственно перед наступлением аварии, при этом рекомендуется учитывать:

- 2) расходы на материалы и запасные части для ремонта, руб.;
- 3) расходы на оплату услуг сторонних организаций по ремонту, руб.;
- 4) стоимость электрической и иной энергии, необходимой для восстановления, руб.;
- 5) расходы по доставке материалов к месту ремонта и другие расходы, необходимые для восстановления объекта в том состоянии, в котором он находился непосредственно перед наступлением аварии, руб.;
- 6) надбавки к заработной плате за сверхурочную работу, работу в ночное время, в официальные праздники, руб.

Из суммы восстановительных расходов производятся вычеты на износ заменяемых в процессе ремонта частей, узлов, агрегатов и деталей.

Восстановительные расходы, как правило, не включают:

- 1) дополнительные расходы, вызванные изменениями или улучшениями пострадавшего объекта;
- 2) расходы по переборке, профилактическому ремонту и обслуживанию, равно как и иные расходы, которые были необходимы вне зависимости от факта наступления аварии;
- 3) другие расходы, произведенные сверх необходимых.

Расходы на локализацию/ликвидацию аварии и расследование ее причин приняты равными 10 % от стоимости прямого ущерба [1.24].

Социально-экономические потери, $P_{сэ}$, можно определить как сумму затрат на компенсации и мероприятия вследствие гибели персонала, $P_{э.п}$, и третьих лиц, $P_{э.т.л}$, и (или) травмирования персонала, $P_{т.п}$, и третьих лиц, $P_{т.т.л}$:

$$P_{сэ} = P_{э.п} + P_{э.т.л} + P_{т.п} + P_{т.т.л},$$

При возникновении аварий, в которых могут пострадать люди, социально-экономический ущерб (расходы по выплате пособий на погребение погибших, расходы по выплате пенсий по случаю потери кормильца, расходы на медицинскую, социальную и профессиональную реабилитацию пострадавших от аварии, расходы по выплате пособий по временной нетрудоспособности) будет определяться количеством пострадавших и степенью их поражения.

При возникновении аварийных ситуаций, в которых могут пострадать люди, ущерб от выбытия трудовых ресурсов связан с тем, что погибшие не будут больше принимать участие в трудовой деятельности. Также, как и социально экономический ущерб, этот ущерб будет определяться количеством смертельно травмированных и травмированных с полной потерей трудоспособности.

Расчет социально-экономических потерь и ущерба от выбытия трудовых ресурсов проводился с учетом положений и данных [1.28, 3.38]. Ущерб от выбытия трудовых ресурсов ($P_{в.т.р.}$) рассчитывался по формуле:

$$P_{\text{в.т.р.}} = \left(\frac{ВВП}{Ч_{\text{з.э.}}} - 12 * Z_c \right) * (B_n - B_c)$$

где: ВВП – валовой внутренний продукт РФ (по данным [3.24] в 2020 г. составил 106967,5 млрд. руб.);

$Ч_{\text{з.э}}$ – среднегодовая численность занятых в экономике РФ (по данным [3.24] в 2020 г. составила 69550,0 тыс. человек);

Z_c – среднемесячная номинальная начисленная заработная плата работников организаций (по данным [3.24] в 2020 г. составила 51344 руб.);

B_n – средний пенсионный возраст в РФ, лет;

B_c – средний возраст населения РФ (по данным [3.26] на 2021 г. составил 40,4 лет).

Средний пенсионный возраст рассчитывается по формуле:

$$B_n = \frac{60}{1+K} + 55 * \frac{K}{1+K}$$

где: K – соотношение мужчин и женщин в РФ (по данным [3.24] на 2020 г. соотношение численности мужчин и женщин $K = 67847799 \text{ чел.} / 78323216 \text{ чел.} = 0,866$).

Средний пенсионный возраст в РФ $B_n = 57,68$ лет. Ущерб от выбытия трудовых ресурсов $P_{\text{в.т.р}} = 15,929$ млн. руб. на одного человека.

Социально-экономические потери рассчитывались по формуле:

$$P_z = S_{\text{пог}} + 12 * Z_c * Ч_u * \frac{(18 - B_{\text{с.и.}})}{(1 + Ч_u)}$$

где: $S_{\text{пог}}$ – размер социального пособия на погребение (принят на уровне 8009,382 руб. в соответствии с положениями ст. 10 Федерального закона №8-ФЗ «О погребении и похоронном деле» [1.5], с учетом индексации на 2022 год по данным официального сайта пенсионного фонда РФ [3.37] и районного коэффициента для Республики Татарстан, равного 1,15);

$Ч_u$ – число иждивенцев на одного занятого в экономике (по данным [3.24] численность населения в возрасте моложе трудоспособного на 1 января 2019 г. составила – 27387,0 тыс. чел. С учетом среднегодовой численности занятых в экономике $Ч_u = 0,394$);

$B_{\text{с.и.}}$ – средний возраст иждивенцев принят равным 8 лет.

Социально-экономические потери составили $P_r = 1,749$ млн. руб. на одного человека.

Таким образом, социально-экономические потери и ущерб от выбытия трудовых ресурсов составил 17,678 млн. руб. на одного человека.

Социально-экономический ущерб, связанный с травмированием персонала, включает расходы на выплату пособий по временной нетрудоспособности, расходы на медицинскую, социальную и профессиональную реабилитацию пострадавшего, расходы на выплату пенсий лицам, ставшим инвалидами. Размер ущерба будет определяться степенью поражения человека, и, скорее всего, не превысит размер социально-экономического ущерба, связанного с его гибелью. Социально-экономические потери в случае травмирования персонала принимаются в размере P_r .

Косвенный ущерб, $\Pi_{н.в.}$, вследствие аварий рекомендуется определять как часть доходов, недополученных предприятием в результате простоя, $\Pi_{н.п.}$, зарплату и условно-постоянные расходы предприятия за время простоя, $\Pi_{з.п.}$, и убытки, вызванные уплатой различных неустоек, штрафов, пени и пр., $\Pi_{ш.}$, а также убытки третьих лиц из-за недополученной ими прибыли, $\Pi_{н.т.п.л.}$:

$$\Pi_{н.в.} = \Pi_{н.п.} + \Pi_{з.п.} + \Pi_{ш.} + \Pi_{н.т.п.л.}$$

Коэффициент учета косвенного ущерба допустимо принять равным 1,3 [3.15]. Согласно указанной методике, косвенный ущерб следует принимать в 1,3 больше прямого ущерба.

Ущерб имуществу других (третьих) лиц, рассчитывается по аналогии с расчетом прямого ущерба эксплуатирующей организации, а также на основании рыночной стоимости принадлежащего физическим лицам имущества.

Экологический ущерб, $\Pi_{экол.}$, рекомендуется определять как сумму ущербов от различных видов вредного воздействия на объекты окружающей природной среды

$$\Pi_{экол.} = \mathcal{E}_a + \mathcal{E}_в + \mathcal{E}_п + \mathcal{E}_б + \mathcal{E}_о,$$

где \mathcal{E}_a - ущерб от загрязнения атмосферы, руб.;

$\mathcal{E}_в$ - ущерб от загрязнения водных ресурсов, руб.;

$\mathcal{E}_п$ - ущерб от загрязнения почвы, руб.;

$\mathcal{E}_б$ - ущерб, связанный с уничтожением биологических (в том числе лесных массивов) ресурсов, руб.;

$\mathcal{E}_о$ - ущерб от засорения (повреждения) территории обломками (осколками) зданий, сооружений, оборудования и т. д., руб.

В силу того, что территория декларируемого объекта является промышленно освоенной площадкой, платежи за загрязнение окружающей среды при аварии будут определяться, главным образом, размером взысканий за вред, причиненный загрязнением атмосферного воздуха продуктами горения.

В соответствии с Правилами исчисления и взимания платы за негативное воздействие на окружающую среду [1.30], размер плат за загрязнение атмосферного воздуха продуктами *Ук.а.* определяется по формуле:

$$\Pi_{cp} = 25 * \sum_{i=1}^n M_{cpi} * H_{nli} * K_{om}$$

где:

H_{nli} – ставка платы за выброс 1 т i-го загрязняющего вещества, руб./т (ставки платы за негативное воздействие на окружающую среду и дополнительные коэффициенты устанавливаются Правительством РФ; величины S_p , приведены в таблице (Таблица 2.20) [1.37]);

M_{cpi} – платежная база за выброс или сброс i-го загрязняющего вещества, т;

K_{om} – дополнительный коэффициент 2 (в отношении территорий и объектов, находящихся под особой охраной в соответствии с федеральными законами) [1.30].

В соответствии с постановлением Правительства РФ от 01.03.2022 года № 274 «О применении в 2022 году ставок платы за негативное воздействие на окружающую среду» [1.38] к ставкам платы, установленным в постановлении Правительства РФ от 13 сентября 2016 года N 913 «О ставках платы за негативное воздействие на окружающую среду и дополнительных коэффициентах» [1.37], следует применять дополнительный повышающий коэффициент 1,19.

Таблица 2.20 – Ставки платы за выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух стационарными источниками

Наименование загрязняющих веществ	Величина показателя, руб./т [1.82]
Углеводороды C ₁ ...C ₅	108,0
Углеводороды C ₆ ...C ₁₀	0,1
Углеводороды C ₁₂ ...C ₁₉	108,0
Углерода оксид (CO)	1,6
Азота оксид (NO)	93,5
Азота диоксид (NO ₂)	138,8
Углерод (сажа) – консервативно принят по взвешенным частицам PM 2.5	182,4
Серы диоксид (SO ₂)	45,4
Сероводород (H ₂ S)	686,2
Водород цианистый (HCN)	547,4
Пыль неорганическая, содержащая диоксид кремния (SiO ₂)	109,5
Формальдегид (HCHO)	1823,6
Кислота уксусная (CH ₃ COOH)	93,5
Бенз(а)пирен	5472968,7
Циклогексан	3,2

Опасность уничтожения биологических (в том числе лесных массивов) при авариях на объекте отсутствует.

Вследствие того, что все рассматриваемые аварии происходят на территории огражденной промышленной площадки ущерб от засорения (повреждения) территории обломками (осколками) зданий, сооружений, оборудования и т. д, а также ущерб от загрязнения почвы и ущерб от загрязнения водных ресурсов не определяется.

Наибольшие компенсационные выплаты за ущерб атмосфере имеют место при возгорании выброшенных из аварийного технологического оборудования углеводородов, так как при их горении в условиях недостатка кислорода образуются вредные химические соединения (например, CO, NO, NO₂, сажа), представляющие большую опасность для экологии и обуславливающие более высокий размер платы за выброс в атмосферу.

Коэффициенты эмиссии поллютантов при горении нефтепродуктов:

- 1) оксид углерода (CO) – $3,11 \cdot 10^{-1}$ кг/кг;
- 2) диоксид углерода (CO₂) – 1,00 кг/кг;
- 3) оксиды азота (NO_x) – $1,51 \cdot 10^{-2}$ кг/кг;
- 4) оксиды серы в пересчете на SO₂ – $1,20 \cdot 10^{-3}$ кг/кг;
- 5) сероводород (H₂S) – $1,00 \cdot 10^{-3}$ кг/кг;
- 6) – сажа (C) – $1,47 \cdot 10^{-3}$ кг/кг;
- 7) синильная кислота (HCN) – $1,00 \cdot 10^{-3}$ кг/кг;
- 8) дым (ультрадисперсные частицы SiO₂) – $1,00 \cdot 10^{-6}$ кг/кг;

9) формальдегид (НСНО) – $5,33 \cdot 10^{-4}$ кг/кг;

10) органические кислоты (в пересчете на СН₃СООН) – $5,33 \cdot 10^{-4}$ кг/кг.

Результаты оценки возможного ущерба для наиболее опасных и наиболее вероятных сценариев развития аварий приведены в таблицах (Таблица 2.21, Таблица 2.22).

Таблица 2.21 –Результаты оценки возможного ущерба при наиболее вероятных сценариях аварий на декларируемом объекте

Номер оборудования	Иницирующее событие	Номер сценария аварии	Сценарий аварии	Прямые потери, тыс. руб.	Потери (убытки) из-за неиспользованных производственных возможностей, тыс. руб.	Социально-экономические потери и ущерб от выбытия трудовых ресурсов, тыс. руб.	Затраты на локализацию/ ликвидацию и расследование аварии, тыс. руб.	Экологич. ущерб, тыс. руб.	Общий ущерб от аварии, тыс. руб.
Е-901/1...12	Отверстие 10 мм	С ₆	Пожар пролива	61211,82	79575,36	17874,45	6121,18	0,063	164,782,88
		С ₆	Пожар-вспышка	57798,23	75137,69	17874,45	5779,82	0	156590,20
		С ₇	Взрыв ТВС	94034,75	122245,18	17874,45	9403,48	0	243557,85
		С ₈	Горизонтальный факел	67539,29	87801,07	17874,45	6753,93	0,063	179968,80
		С ₆	Рассеивание без воспламенения	57798,23	75137,69	0	5779,82	0	138715,74
Н-6/1,2	Отверстие 10 мм	С ₁₃	Горизонтальный факел	6212,36	8076,07	17874,45	621,24	0,054	32784,18
		С ₁₄	Пожар-вспышка	6212,36	8076,07	53623,36	621,24	0	68533,03
		С ₁₅	Взрыв ТВС	74111,15	96344,50	17874,45	7411,12	0	195741,21
		С ₁₃ , С ₁₄	Пожар пролива	15520,38	20176,50	17874,45	1552,04	0,054	55123,42
		С ₁₆	Рассеивание без воспламенения	6212,36	8076,07	0	621,24	0	14909,67
С-901, С-902	Отверстие 10 мм	С ₃₇	Горизонтальный факел	24784,00	32219,20	0	2478,40	0,044	59481,64
		С ₃₈	Пожар-вспышка	24784,00	32219,20	17874,45	2478,40	0	77356,05
		С ₃₉	Взрыв ТВС	60997,62	79296,91	17874,45	6099,76	0	164268,74
		С ₄₀	Рассеивание без воспламенения	24784,00	32219,20	0	2478,40	0	59481,59
№ 12 НЗ, СТ	Отверстие 10 %	С ₂₉	Горизонтальный факел	196,23	255,10	0	19,62	0,46	471,41

Номер оборудования	Иницирующее событие	Номер сценария аварии	Сценарий аварии	Прямые потери, тыс. руб.	Потери (убытки) из-за неиспользованных производственных возможностей, тыс. руб.	Социально-экономические потери и ущерб от выбытия трудовых ресурсов, тыс. руб.	Затраты на локализацию/ликвидацию и расследование аварии, тыс. руб.	Экологич. ущерб, тыс. руб.	Общий ущерб от аварии, тыс. руб.
	номинального диаметра трубы, но не больше 50 мм	C ₂₉ , C ₃₀	Пожар пролива	25139,01	32680,71	53623,36	2513,90	0,46	113957,45
		C ₃₀	Пожар-вспышка	196,23	255,10	17874,45	19,62	0	18345,40
		C ₃₁	Взрыв ТВС	423342,90	550345,77	71497,81	42334,29	0	1087520,78
		C ₃₂	Рассеивание без воспламенения	196,23	255,10	0	19,62	0	470,95
№ 22 НЗ, СТ	Отверстие 10 % номинального диаметра трубы, но не больше 50 мм	C ₂₁	Горизонтальный факел	4,21	5,48	0	0,42	0	10,12
		C ₂₂	Пожар-вспышка	7,29	9,48	0	0,73	0	17,51
		C ₂₃	Взрыв ТВС	7,29	9,48	17874,45	0,73	0	17891,96
		C ₂₄	Рассеивание без воспламенения	7,29	9,48	0	0,73	0	17,51

Таблица 2.22 – Результаты оценки возможного ущерба при наиболее опасных сценариях аварий на декларируемом объекте

Номер оборудования	Иницирующее событие	Номер сценария аварии	Сценарий аварии	Прямые потери, тыс. руб.	Потери (убытки) из-за неиспользованных производственных возможностей, тыс. руб.	Социально-экономические потери и ущерб от выбытия трудовых ресурсов, тыс. руб.	Затраты на локализацию/ликвидацию и расследование аварии, тыс. руб.	Экологич. ущерб, тыс. руб.	Общий ущерб от аварии, тыс. руб.
Е-901/1...12	Полное разрушение	С ₁	Пожар пролива	274797,37	357236,58	53623,36	27479,74	13,28	713150,33
		С ₂	Пожар-вспышка	63347,58	82351,85	1715947,49	6334,76	0	1867981,67
		С ₃	Взрыв ТВС	789020,88	1025727,14	536233,59	78902,09	0	2429883,70
		С ₁	Огненный шар	789020,88	1025727,14	321740,15	78902,09	13,28	2215403,55
		С ₄	Рассеивание без воспламенения	63347,58	82351,85	0	6334,76	0	152034,18
Н-6/1,2	Полное разрушение	С ₉	Горизонтальный факел	6212,36	8076,07	17874,45	621,24	0,054	32784,18
		С ₁₀	Пожар-вспышка	6212,36	8076,07	53623,36	621,24	0	68533,03
		С ₁₁	Взрыв ТВС	74111,15	96344,50	17874,45	7411,12	0	195741,21
		С ₉ , С ₁₀	Пожар пролива	15520,38	20176,50	17874,45	1552,04	0,054	55123,42
		С ₁₂	Рассеивание без воспламенения	6212,36	8076,07	0	621,24	0	14909,67
С-901, С-902	Полное разрушение	С ₃₄	Пожар-вспышка	24913,25	32387,22	17874,45	2491,32	0	77666,25
		С ₃₃	Огненный шар	24913,25	32387,22	53623,36	2491,32	0,273	113415,43
		С ₃₅	Взрыв ТВС	288410,74	374933,96	53623,36	28841,07	0	745809,13
		С ₃₆	Рассеивание без воспламенения	24913,25	32387,22	0	2491,32	0	59791,79

Номер оборудования	Иницирующее событие	Номер сценария аварии	Сценарий аварии	Прямые потери, тыс. руб.	Потери (убытки) из-за неиспользованных производственных возможностей, тыс. руб.	Социально-экономические потери и ущерб от выбытия трудовых ресурсов, тыс. руб.	Затраты на локализацию/ликвидацию и расследование аварии, тыс. руб.	Экологич. ущерб, тыс. руб.	Общий ущерб от аварии, тыс. руб.
№ 12 НЗ, СТ	Полное разрушение	C ₂₅	Горизонтальный факел	196,23	255,10	0	19,62	0,46	471,41
		C ₂₅ , C ₂₆	Пожар пролива	25139,01	32680,71	53623,36	2513,90	0,46	113957,45
		C ₂₆	Пожар-вспышка	196,23	255,10	17874,45	19,62	0	18345,40
		C ₂₇	Взрыв ТВС	677188,74	880345,36	71497,81	67718,87	0	1696750,78
		C ₂₈	Рассеивание без воспламенения	196,23	255,10	0	19,62	0	470,95
№ 22 НЗ, СТ	Полное разрушение	C ₁₇	Горизонтальный факел	4,21	5,48	0	0,42	0	10,12
		C ₁₈	Пожар-вспышка	4,21	5,48	17874,45	0,42	0	17884,57
		C ₁₉	Взрыв ТВС	7,29	9,48	17874,45	0,73	0	17891,96
		C ₂₀	Рассеивание без воспламенения	7,29	9,48	0	0,73	0	17,51

2.3 Оценка риска аварий, включающая данные о вероятности аварий, показателях риска причинения вреда работникам декларируемого объекта и физическим лицам, ущерба имуществу юридическим и физическим лицам и вреда окружающей среде (по составляющим объекта)

Оценка вероятности аварий:

Для определения вероятностей возникновения аварийных ситуаций использовались статистические данные, приведенные в Руководстве по безопасности «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах» [1.37], а также в Федеральных нормах и правилах в области промышленной безопасности «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств» [1.7].

Результаты оценки вероятностей возникновения аварий приведены в таблице (Таблица 2.23).

Таблица 2.23 – Вероятности возникновения аварийных ситуаций на оборудовании и трубопроводах составляющих объекта

Оборудование	Вид разрушения	Вероятность, 1/год (1/(год*м) – для трубопроводов)
Оборудование, работающее под давлением	Полное разрушение	$1,0 \cdot 10^{-6}$
	Образование отверстия (диаметр 10 мм)	$1,0 \cdot 10^{-5}$
Технологические аппараты, колонны, реакторы, фильтры	Полное разрушение	$1,0 \cdot 10^{-5}$
	Образование отверстия (диаметр 10 мм)	$1,0 \cdot 10^{-4}$
Насосы, компрессоры	Полное разрушение	$1,0 \cdot 10^{-4} \dots 1,0 \cdot 10^{-5}$
	Образование отверстия (утечка через отверстие с номинальным диаметром 10 % от диаметра наибольшего трубопровода, но не больше 50 мм)	$4,4 \cdot 10^{-3} \dots 5,0 \cdot 10^{-5}$
Трубопровод диаметром менее 75 мм	Полное разрушение	$1,0 \cdot 10^{-6}$
	Образование отверстия (истечение через отверстие с эффективным диаметром 10 % от номинального диаметра трубы, но не больше 50 мм)	$5,0 \cdot 10^{-6}$
Трубопровод диаметром от 75 до 150 мм	Полное разрушение	$3,0 \cdot 10^{-7}$
	Образование отверстия (истечение через отверстие с эффективным диаметром 10 % от номинального диаметра трубы, но не больше 50 мм)	$2,0 \cdot 10^{-6}$

Оборудование	Вид разрушения	Вероятность, 1/год (1/(год*м) – для трубопроводов)
Трубопровод диаметром более 150 мм	Полное разрушение	$1,0 \cdot 10^{-7}$
	Образование отверстия (истечение через отверстие с эффективным диаметром 10 % от номинального диаметра трубы, но не больше 50 мм)	$5,0 \cdot 10^{-7}$

Анализ дерева событий используется для определения вероятности промежуточных событий (отдельных направлений развития аварии) и конечных событий (последствий аварии). Частота различных результатов оценивается посредством умножения исходной частоты выброса на вероятность в точке ветвления различных факторов, влияющих на конечный результат.

После выброса горючего вещества возможны несколько опасных направлений развития аварии (при условии воспламенения), которые зависят от условий воспламенения (немедленно или с задержкой) и выброса опасного вещества (в открытое или замкнутое пространство).

При анализе дерева событий применялся консервативный подход, при котором не учитывается срабатывание систем безопасности, снижающее вероятность опасных последствий. Например, срабатывание сигнализации выброса углеводородов, закрытие аварийных запорных задвижек в целях ограничения выброса. На практике, благодаря этому вероятность воспламенения выброса может быть снижена. Фактически вероятность воспламенения основывалась только на размере выброса, а не на его продолжительности и поэтому вероятность воспламенения не уменьшалась.

При оценке вероятности немедленного воспламенения или воспламенения с задержкой (при условии, что воспламенение происходит), принимается, что с увеличением размера сквозного повреждения повышается вероятность немедленного воспламенения. Это объясняется тем, что возникновение крупных выбросов более вероятно при реализации таких механизмов отказа, как внешний удар, который может также привести к воспламенению из-за трения. Возникновение мелких утечек с большей вероятностью объясняется коррозией, т.е. маловероятно, что источником воспламенения может служить механизм возникновения отказа.

Ниже (Рисунок 2.16...Рисунок 2.18) представлены деревья событий для аварийных выбросов жидкости и газа по принятым сценариям аварий [1.41].

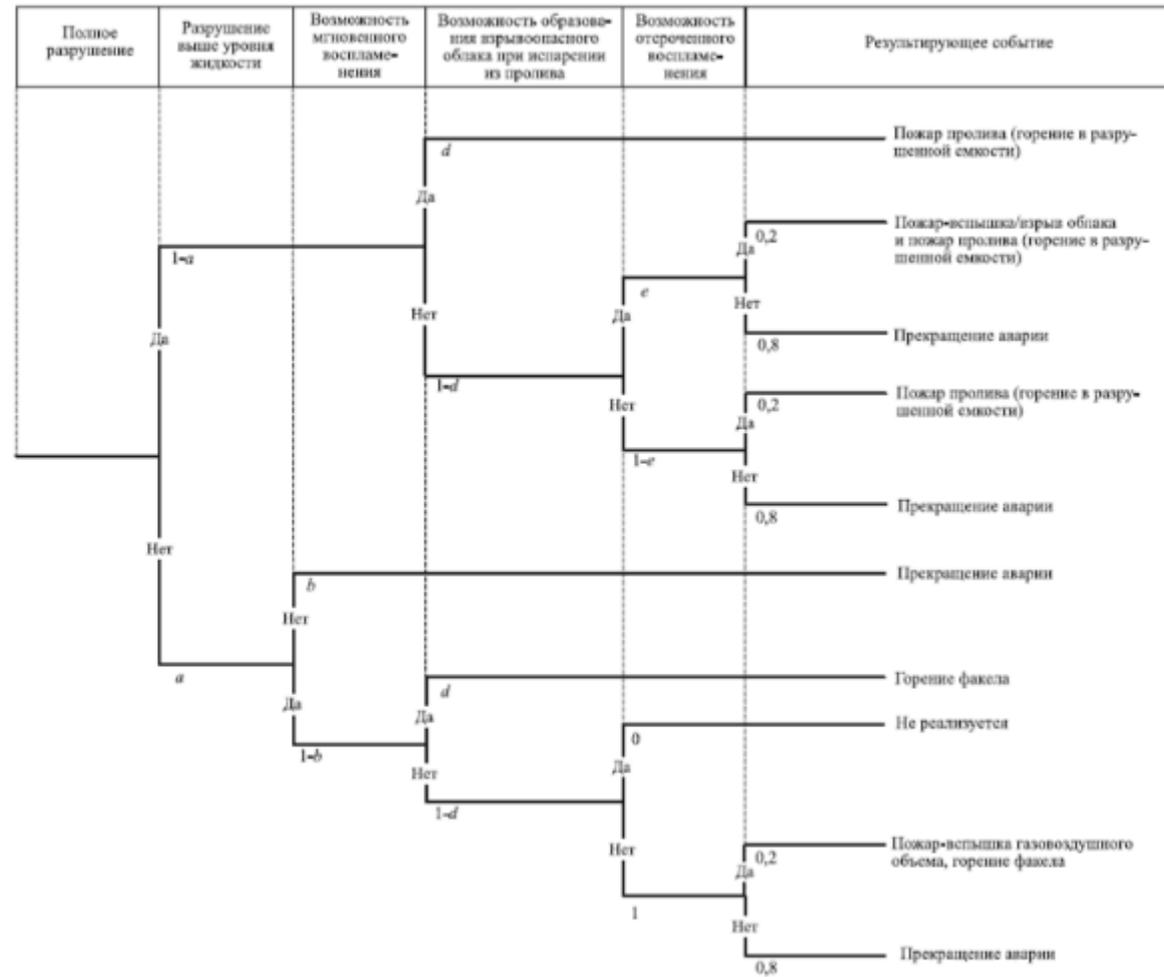


Рисунок 2.16 – Дерево событий при разрушении емкости под давлением

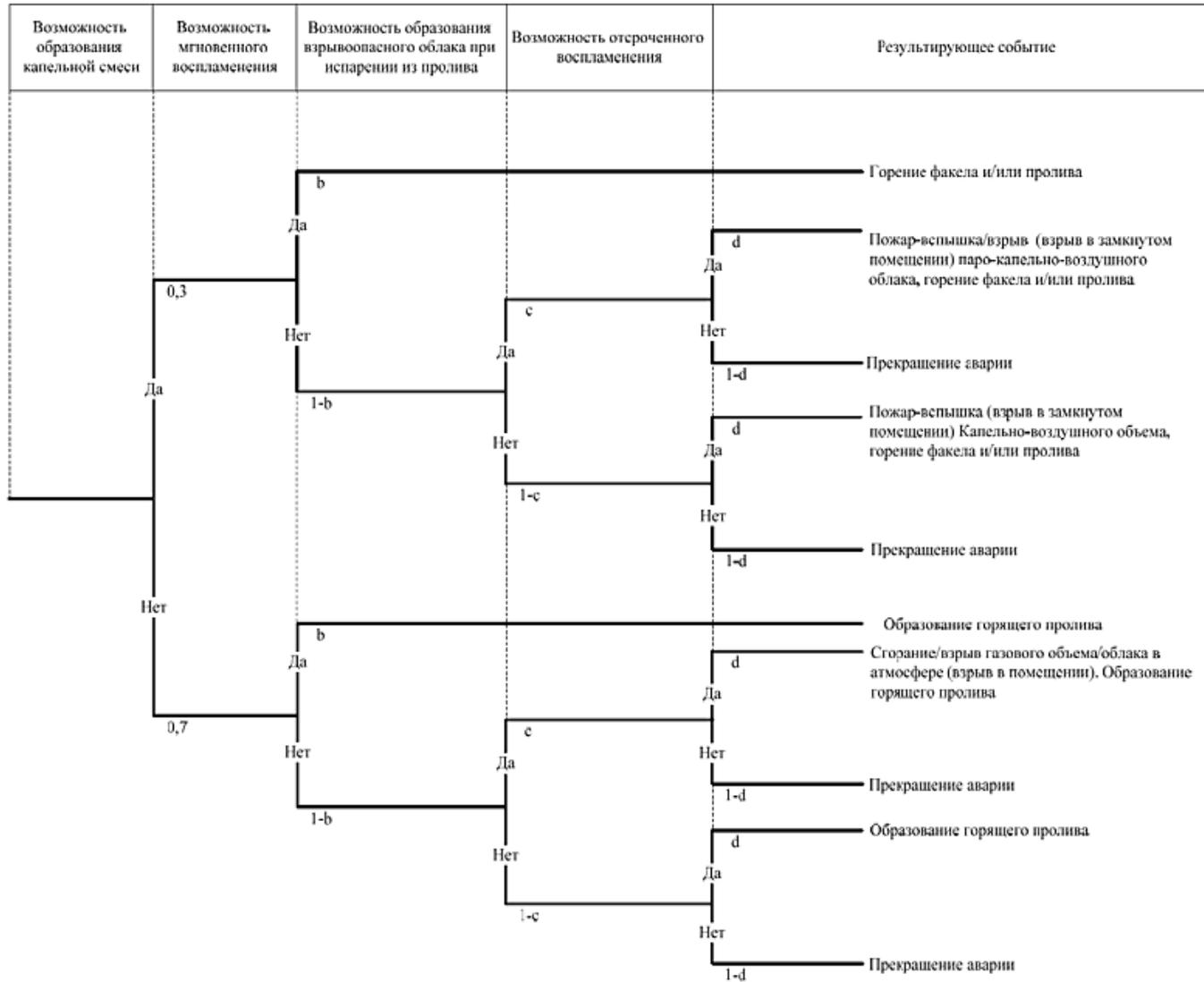


Рисунок 2.17 – Дерево событий при аварии в насосных

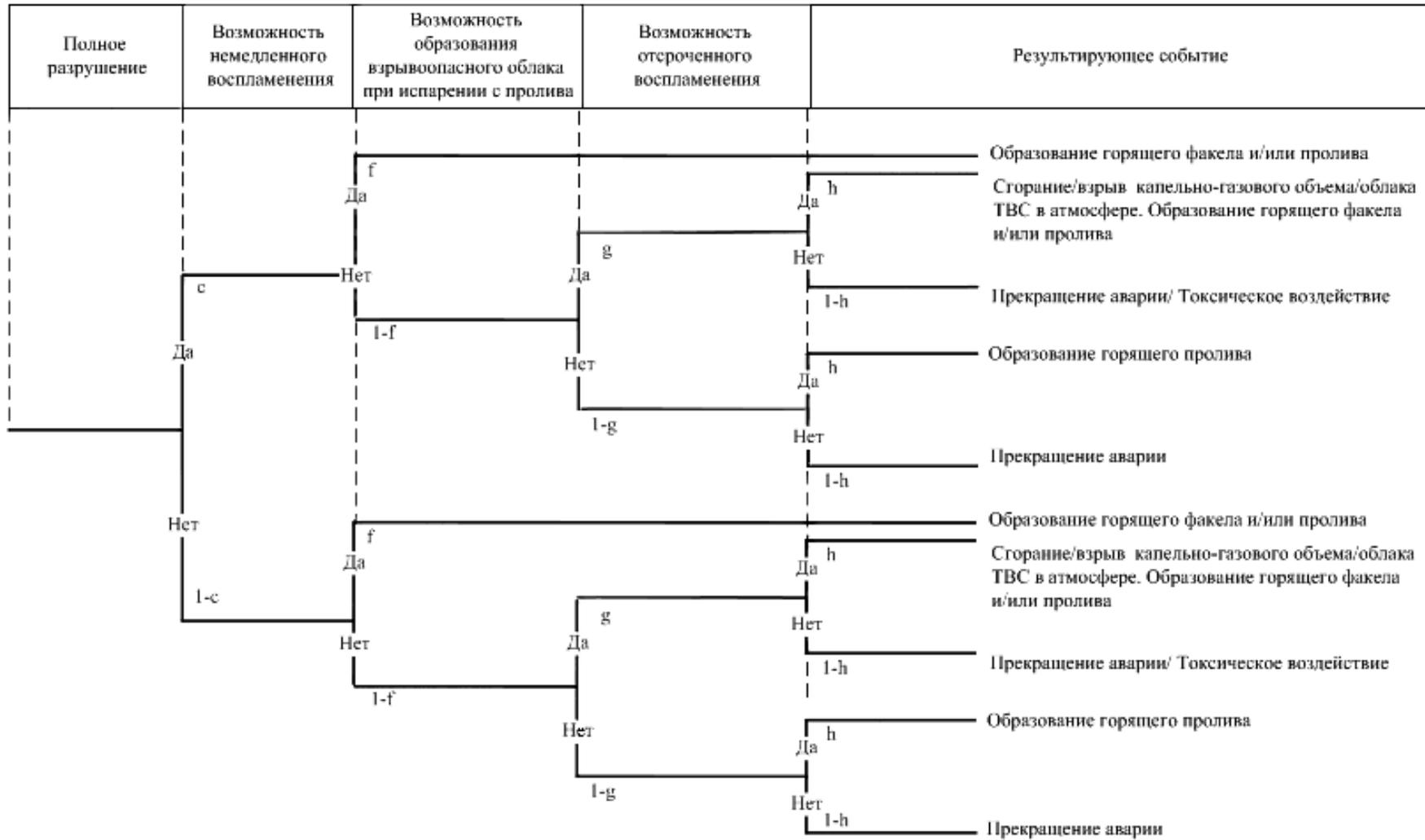


Рисунок 2.18 – Дерево событий при разгерметизации технологического трубопровода

На рисунке (Рисунок 2.16) принимаются следующие условные вероятности событий:

- 1) резервуар сохраняет целостность после появления разрушения (a) – 0,95;
- 2) разрушение ниже уровня жидкости (b) – пропорционально отношения средней высоты уровня жидкости (взлива) к высоте резервуара (если нет данных – принимается 0,8);
- 3) мгновенное воспламенение и образование горящих проливов/факелов (c) – 0,05 для истечения жидкой фазы (отверстие ниже уровня жидкости), 0,2 – для истечения газовой фазы (отверстие выше уровня жидкости);
- 4) образование дрейфующего облака топливно-воздушной смеси (d) –
- 5) случаях – 1;
- 6) появление на пути дрейфующего облака источника зажигания (e) – 0,05 для истечения жидкой фазы (отверстие ниже уровня жидкости); 0,2 – для истечения газовой фазы (отверстие выше уровня жидкости).

На рисунке (Рисунок 2.17) принимаются следующие условные вероятности событий:

- 1) возможность образования капельной смеси (a) – 0,3;
- 2) мгновенное воспламенение и образование горящих проливов/факелов (b) – 0,05;
- 3) образование топливно-воздушной смеси (c) – 1;
- 4) появление на пути дрейфующего облака источника зажигания (d) – 0,05.

Оценка риска причинения вреда работникам декларируемого объекта и физическим лицам:

Для оценки риска аварий использовались следующие показатели риска [1.33,1.37]:

- 1) потенциальный территориальный риск (или потенциальный риск) – частота реализации поражающих факторов аварии в рассматриваемой точке на площадке опасного производственного объекта и прилегающей территории;
- 2) индивидуальный риск – ожидаемая частота (частота) поражения отдельного человека в результате воздействия исследуемых поражающих факторов аварии;
- 3) коллективный риск (или ожидаемые людские потери) – ожидаемое количество пораженных в результате возможных аварий за определенный период времени;
- 4) социальный риск (или риск поражения группы людей) – зависимость частоты возникновения сценариев аварий F , в которых погибло не менее N человек, от этого числа N . Характеризует социальную тяжесть последствий (катастрофичность) реализации совокупности сценариев аварии и представляется в виде соответствующей F/N – кривой.

В соответствии с требованиями [1.26, 1.27] результаты расчетов потенциального риска отображены на ситуационном плане декларируемого объекта в виде замкнутых линий равных значений – изолиний потенциального риска.

Поле распространения потенциального риска гибели от аварий на оборудовании проектируемой площадки приведено на рисунке (Рисунок 2.19).

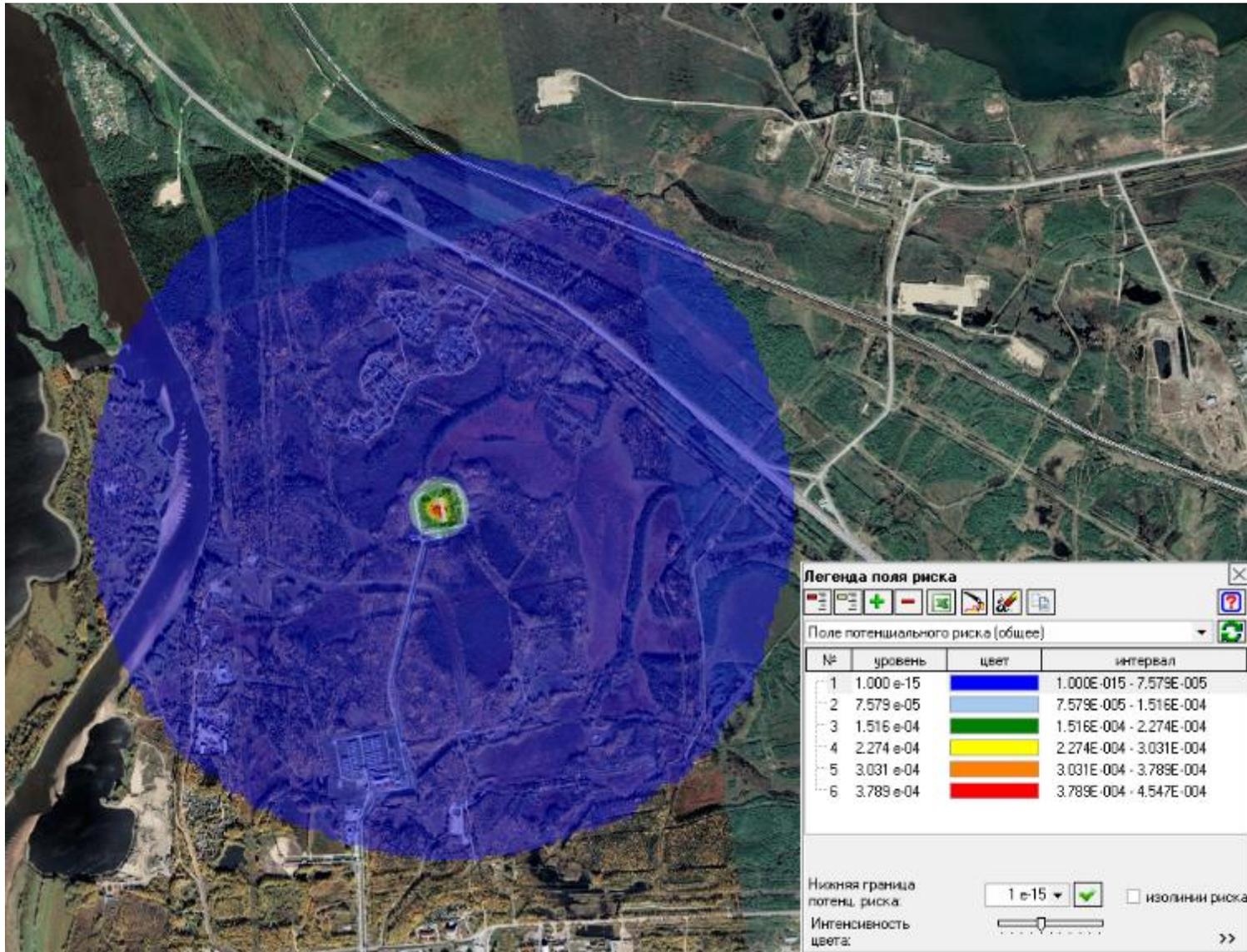


Рисунок 2.19 – Поле потенциального риска при авариях на декларируемом объекте

В соответствии с результатами расчета риска, аварии на ТП-2 не внесут значимый вклад в показатели риска для персонала соседних ОПО:

- 1) ОПО «Площадка переработки нефтяного газа Нижневартовского ГПЗ» АО «СибурТюменьГаз» рег.№ А58-40551-0068;
- 2) ОПО «Площадка товарного парка №1 Нижневартовского ГПЗ» АО «Сибур-ТюменьГаз» рег.№ А58-40551-0066.

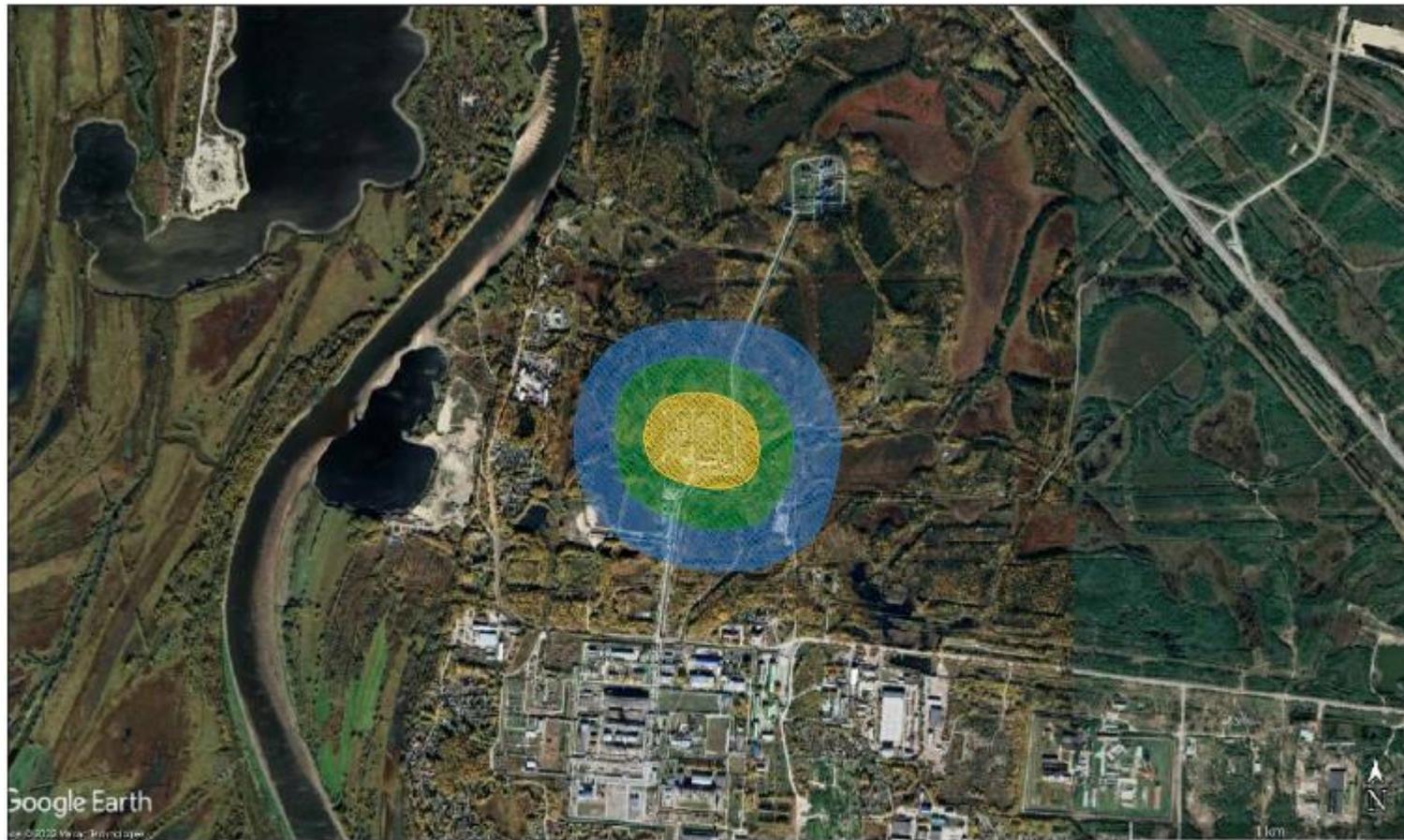
В соответствии с материалами:

1) Декларация промышленной безопасности ОПО «Площадка переработки нефтяного газа Нижневартовского ГПЗ» АО «СибурТюменьГаз» рег.№ А58-40551-0068 (заключение ЭПБ от 05.12.2022 №Д.7-100.12.22);

2) Декларация промышленной безопасности ОПО «Площадка товарного парка №1 Нижневартовского ГПЗ» АО «СибурТюменьГаз» рег.№ А58-40551-0066 (заключение ЭПБ от 05.12.2022 №Д.7-101.12.22), аварии на соседних с ТП-2 ОПО:

–ОПО «Площадка переработки нефтяного газа Нижневартовского ГПЗ» АО «СибурТюменьГаз» рег.№ А58-40551-0068;

–ОПО «Площадка товарного парка №1 Нижневартовского ГПЗ» АО «Сибур-ТюменьГаз» рег.№ А58-40551-0066, не внесут вклад в результирующие показатели риска гибели для персонала ТП-2 (Рисунок 2.20, Рисунок 2.21).



Условные обозначения	
Обозначение	Характеристика величины
	Зона потенциального риска 10^{-4} - 10^{-5}
	Зона потенциального риска 10^{-5} - 10^{-6}
	Зона потенциального риска 10^{-6} - 10^{-7}
	Зона потенциального риска 10^{-7} - 10^{-8}
	Зона потенциального риска 10^{-8} - 10^{-9}

Рисунок 2.20 – Распределение поля потенциального риска при авариях на ТП-1



Условные обозначения	
Обозначение	Характеристика изолинии
	Зона потенциального риска $10^4 - 10^6$
	Зона потенциального риска $10^6 - 10^8$
	Зона потенциального риска $10^8 - 10^{10}$
	Зона потенциального риска $10^{10} - 10^{12}$
	Зона потенциального риска $10^{12} - 10^{14}$

Рисунок 2.21 – Распределение поля потенциального риска при авариях на ГПЗ

Интегральные показатели риска для различных «групп риска», полученные с учетом возможного влияния соседних ОПО представлены в таблице (Таблица 2.24).

Таблица 2.24 – Показатели рисков для различных «групп риска»

Наименование	Коллективный риск	Индивидуальный риск
Персонал на территории ТП-2 и территории иных ОПО, технологически связанных с ТП-2		
Площадка товарного парка №2 Нижневартовского ГПЗ	$5,20 \cdot 10^{-5}$	$1,73 \cdot 10^{-5}$
Площадка товарного парка №1 Нижневартовского ГПЗ*	$1,76 \cdot 10^{-4}$	$7,14 \cdot 10^{-6}$
Площадка переработки попутного нефтяного газа Нижневартовского ГПЗ*	$5,74 \cdot 10^{-4}$	$6,22 \cdot 10^{-6}$
Третьи лица, находящиеся на соседних производственных объектах (не связанных технологически с площадкой ТП-2) в населенном пункте или на транспортных коммуникациях (авто и железные дороги)		
Лица на внешних транспортных коммуникациях (автомобильные и железные дороги)	$4,27 \cdot 10^{-8}$	$4,68 \cdot 10^{-10}$
Иные физические лица (на территории садовых участков)	$3,65 \cdot 10^{-6}$	$2,17 \cdot 10^{-8}$
Примечание: * - с учетом данных ДПБ ОПО «Площадка переработки нефтяного газа Нижневартовского ГПЗ» АО «СибурТюменьГаз» рег.№ А58-40551-0068 (заключение ЭПБ от 05.12.2022 №Д.7-100.12.22, ДПБ ОПО «Площадка переработки нефтяного газа Нижневартовского ГПЗ» АО «СибурТюменьГаз» рег.№ А58-40551-0068 (заключение ЭПБ от 05.12.2022 №Д.7-100.12.22))		

Социальный риск представляется в виде графика ступенчатой функции – зависимости частоты возникновения сценариев аварий F, в которых погибло не менее N человек, от этого числа N (N – ближайшее большее целое число к значению ожидаемого числа погибших).

Диаграмма социального риска гибели (F/N-диаграммы) для персонала проектируемой площадки приведена на рисунке (Рисунок 2.22). F/N-диаграмма для персонала соседних предприятий риска гибели третьих лиц (находящихся на соседних производственных объектах (не связанных технологически с площадкой ТП-2) в населенном пункте или на транспортных коммуникациях (авто и железные дороги) приведена на рисунке (Рисунок 2.23). На F/N диаграммах нанесены кривые, соответствующие распределению допустимых значений социального риска гибели, установленные в обосновании безопасности опасного производственного объекта «Товарный парк №2. Реконструкция. Нижневартовский ГПЗ» [2.3]:

1) $1,04 \cdot 10E-03/N^2$ (где N – количество погибших) – для людей на территории ТП-2 и территории иных ОПО, технологически связанных с ТП-2;

2) $\cdot 4,79E-05/N^2$ (где N – количество погибших) – для третьих лиц (находящихся на соседних производственных объектах (не связанных технологически с площадкой ТП-2) в населенном пункте или на транспортных коммуникациях (авто и железные дороги).

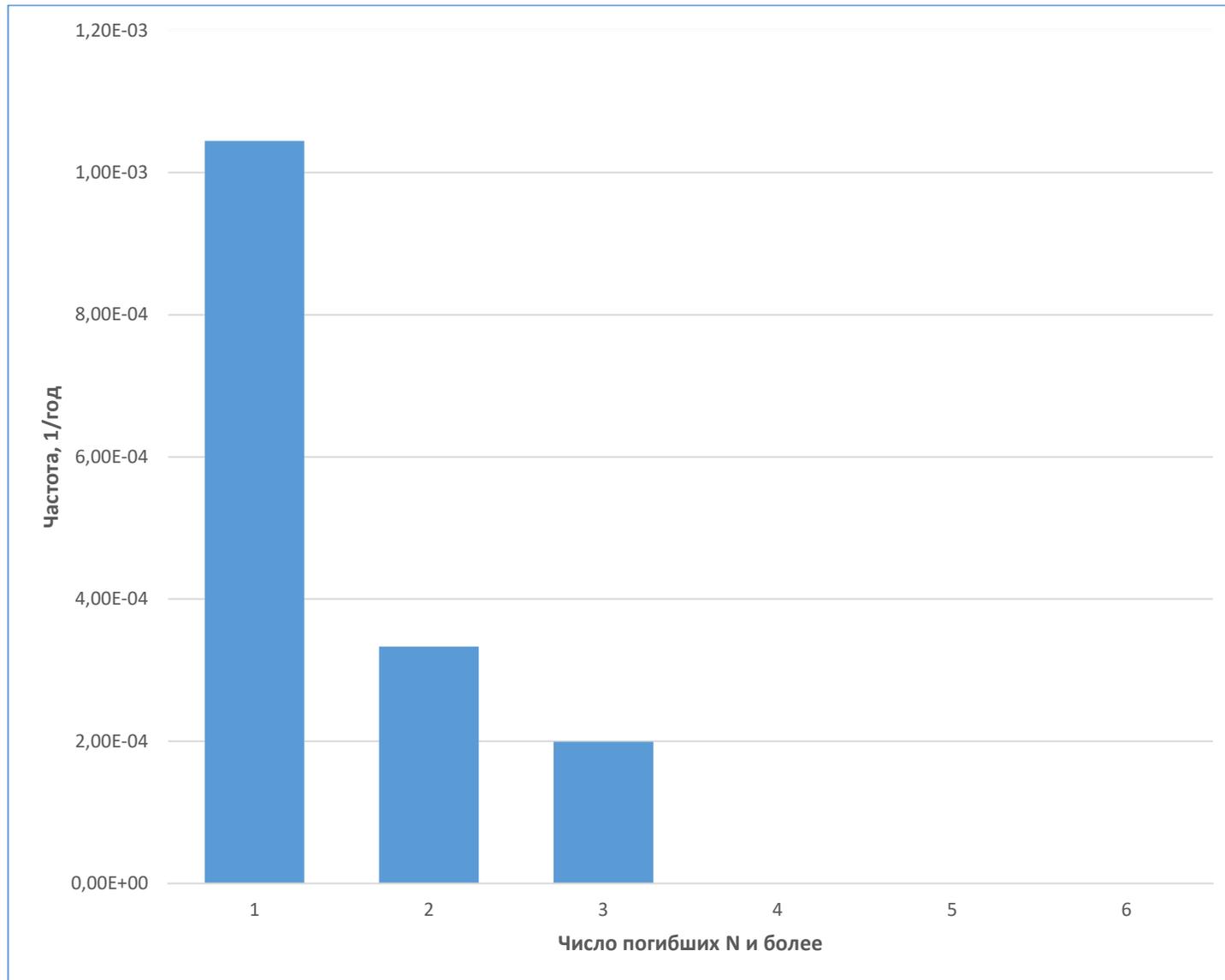


Рисунок 2.22 – F-N-диаграмма риска гибели людей на территории ТП-2 и территории иных ОПО, технологически связанных с ТП-2

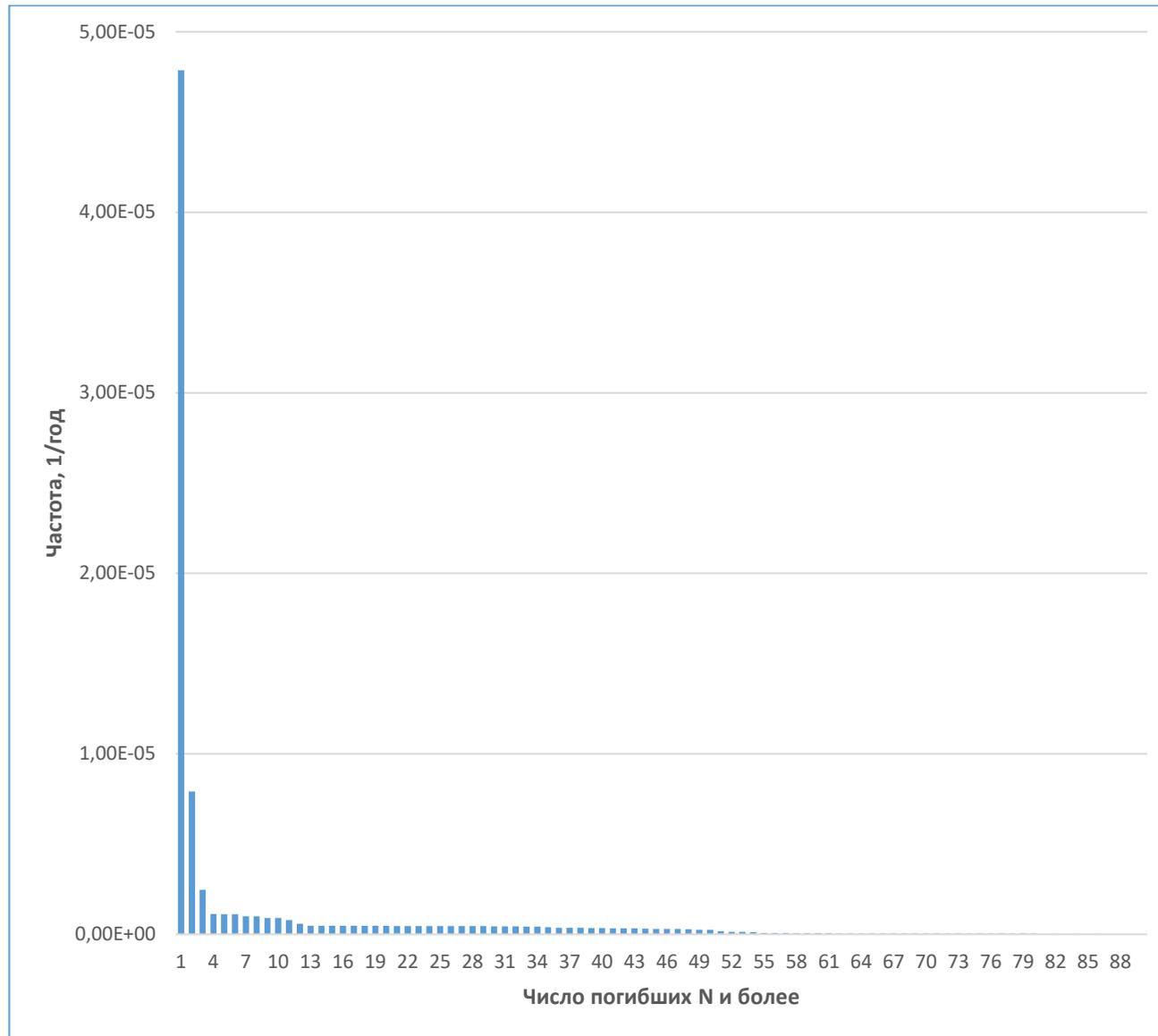


Рисунок 2.23 –F-N-диаграмма риска гибели третьих лиц (находящихся на соседних производственных объектах (не связанных технологически с площадкой ТП-2) в населенном пункте или на транспортных коммуникациях (авто и железные дороги)

С учетом значительной удаленности площадки ТП-2 от площадок рядом расположенных ОПО:

- 1) «Площадка товарного парка №1 Нижневартовского ГПЗ» АО «СибурТюменьГаз» рег.№ А58-40551-0066 (далее ТП-1) (находится на расстоянии $\approx 0,8$ км);
- 2) «Площадка переработки попутного нефтяного газа Нижневартовского ГПЗ» АО «СибурТюменьГаз» рег.№ А58-40551-0068 (далее ГПЗ) (находится на расстоянии $\approx 1,6$ км).

Воздействие на здания с постоянным пребыванием персонала, здания с помещениями управления (операторные), а также здания в которых расположено оборудование, обеспечивающее бесперебойное функционирование автоматизированных систем контроля, управления, ПАЗ для перевода технологических процессов в безопасное состояние и аварийного останова технологических объектов (аппаратные) на указанных ОПО при авариях со взрывом на ТП-2 пренебрежимо мало. Площадки ТП-1 и ГПЗ находятся в интервале поля частот реализации избыточного давления от $7,19 \times 10^{-6}$ до 1×10^{-15} . Предполагая, что существующие объекты АО «СибурТюменьГаз» соответствуют требованиям нормативно-технических документов в области промышленной безопасности полученным значением воздействия допустимо пренебречь.

Для оценки потенциального барического воздействия на здания ТП-2 (аппаратная ТП-2) следует оценить не только влияние аварий на оборудовании ТП-2. Требуется также учесть потенциальные аварии на оборудовании соседних ОПО АО «СибурТюменьГаз».

При этом использовались данные следующих документов:

- 1) Декларация промышленной безопасности ОПО «Площадка переработки нефтяного газа Нижневартовского ГПЗ» АО «СибурТюменьГаз» рег.№ А58-40551-0068 (заключение ЭПБ от 05.12.2022 №Д.7-100.12.22);
- 2) Декларация промышленной безопасности ОПО «Площадка товарного парка №1 Нижневартовского ГПЗ» АО «СибурТюменьГаз» рег.№ А58-40551-0066 (заключение ЭПБ от 05.12.2022 №Д.7-101.12.22).

Для оценки вклада потенциального барического воздействия соседних ОПО в результирующие показатели риска взрыва на ТП-2 была сформирована соответствующая расчетно-аналитическая модель с учетом оборудования ТП-1 и трубопроводов межцеховой эстакады от ГПЗ до ТП-2.

С учетом того, что согласно материалам ДПБ ОПО «Площадка переработки нефтяного газа Нижневартовского ГПЗ» АО «СибурТюменьГаз» рег.№ А58-40551-0068 (заключение ЭПБ от 05.12.2022 №Д.7-100.12.22)) площадка ТП-2 попадает в зону воздействия взрывной ударной волны 2 кПа при реализации ряда сценариев с полным разрушением оборудования на площадке ГПЗ, дополнительно была проанализирована суммарная частота реализации указанных сценариев. Суммарная частота реализации аварийных сценариев со взрывом с максимальной зоной действия поражающих факторов (2 кПа) достигающей площадки ТП-2 при авариях на ГПЗ не превысит $1,07 \cdot 10^{-5}$ 1/год.

Значение вычисленных частот достижения различных избыточных давлений взрыва при всех рассмотренных авариях на декларируемом объекте приведены в таблице (Таблица 2.25).

Сведения о минимальных значениях избыточных давлений взрыва, воздействующих на здания с частотой $< 1,0 \cdot 10^{-4}$ 1/год при всех рассмотренных авариях на декларируемом объекте приведен в таблице (Таблица 2.25).

Таблица 2.25 – Минимальные значения избыточных давлений взрыва, воздействующих на здания с частотой $< 1,0 \cdot 10^{-4}$ 1/год

№ п/п	Номер по ГП	Наименование титула	Значение избыточного давления, кПа	
			Без учета соседних ОПО	С учетом соседних ОПО
1	10	Аппаратная ТП-2	Менее 2 кПа	Менее 2 кПа

F-P-диаграммы для зданий декларируемого объекта без учета влияния соседних ОПО и с учетом влияния соседних ОПО приведены на рисунках (Рисунок 2.24...Рисунок 2.25).

Поля распределения частот превышения избыточного давления при рассмотренных авариях на декларируемом объекте приведены на рисунках (Рисунок 2.26...Рисунок 2.35).

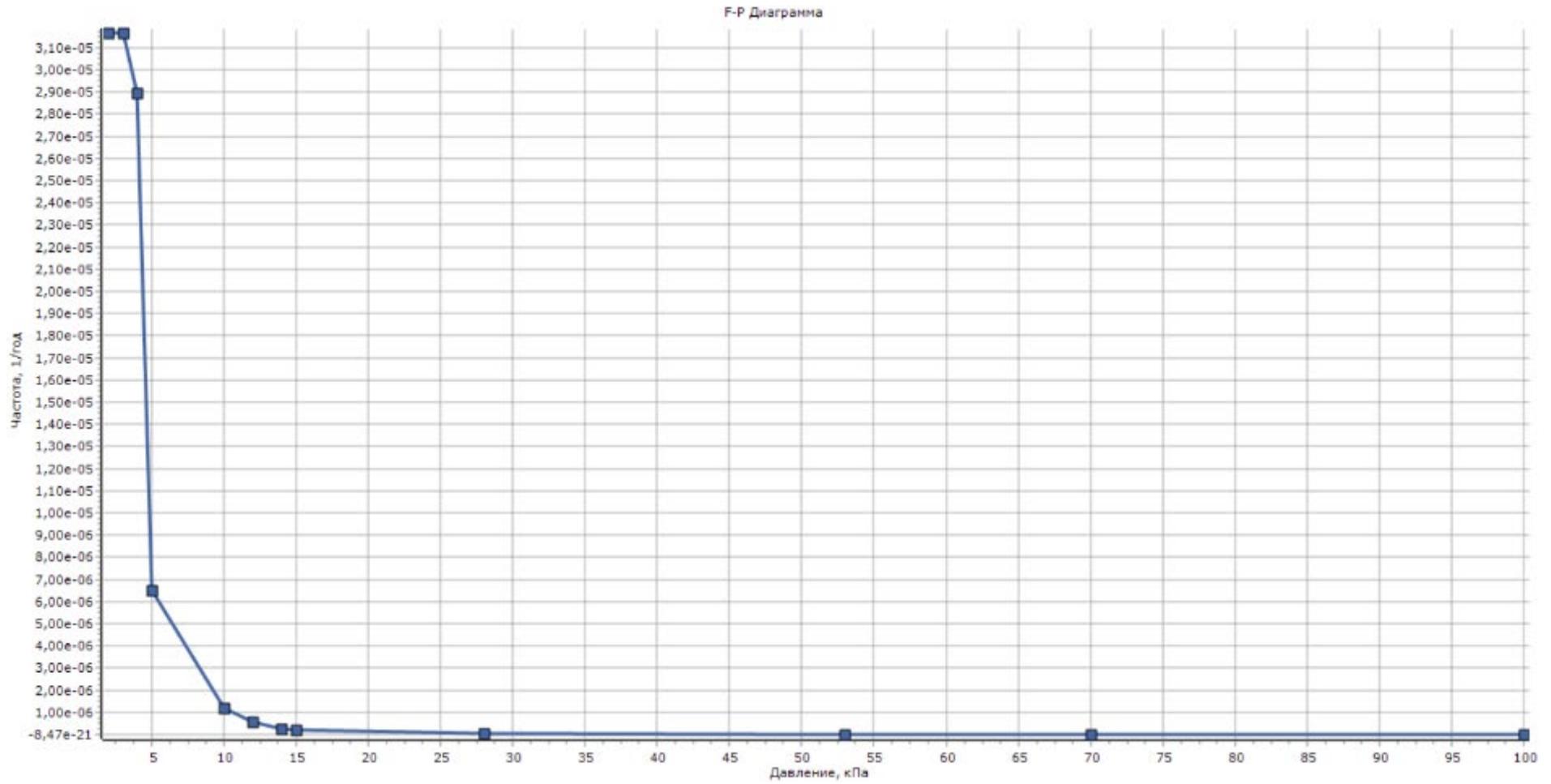


Рисунок 2.24 – F-R-диаграмма для зданий декларируемого объекта (без учета влияния соседних ОПО)

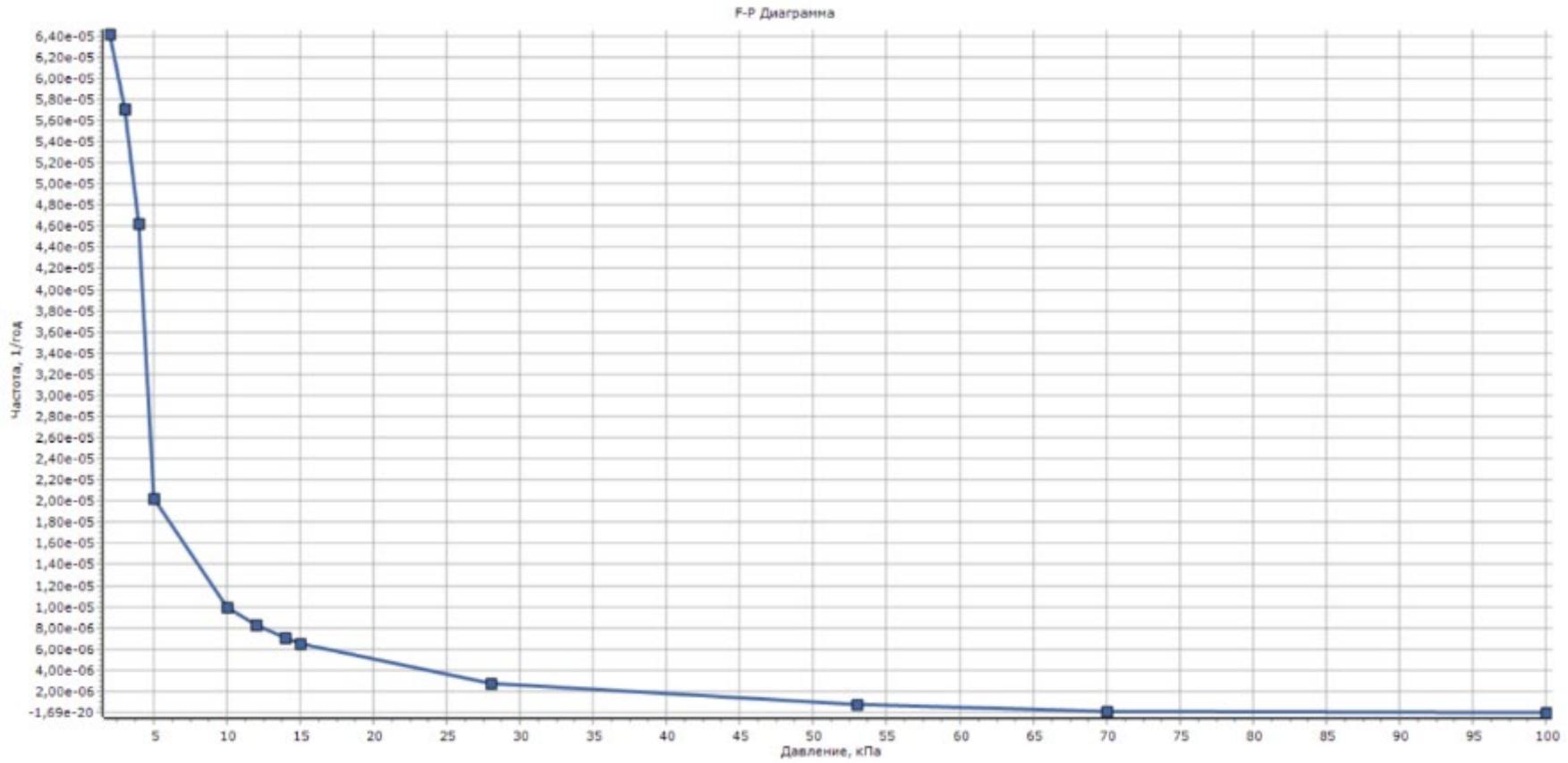


Рисунок 2.25 – F-P-диаграмма для зданий декларируемого объекта (с учетом влияния соседних ОПО)

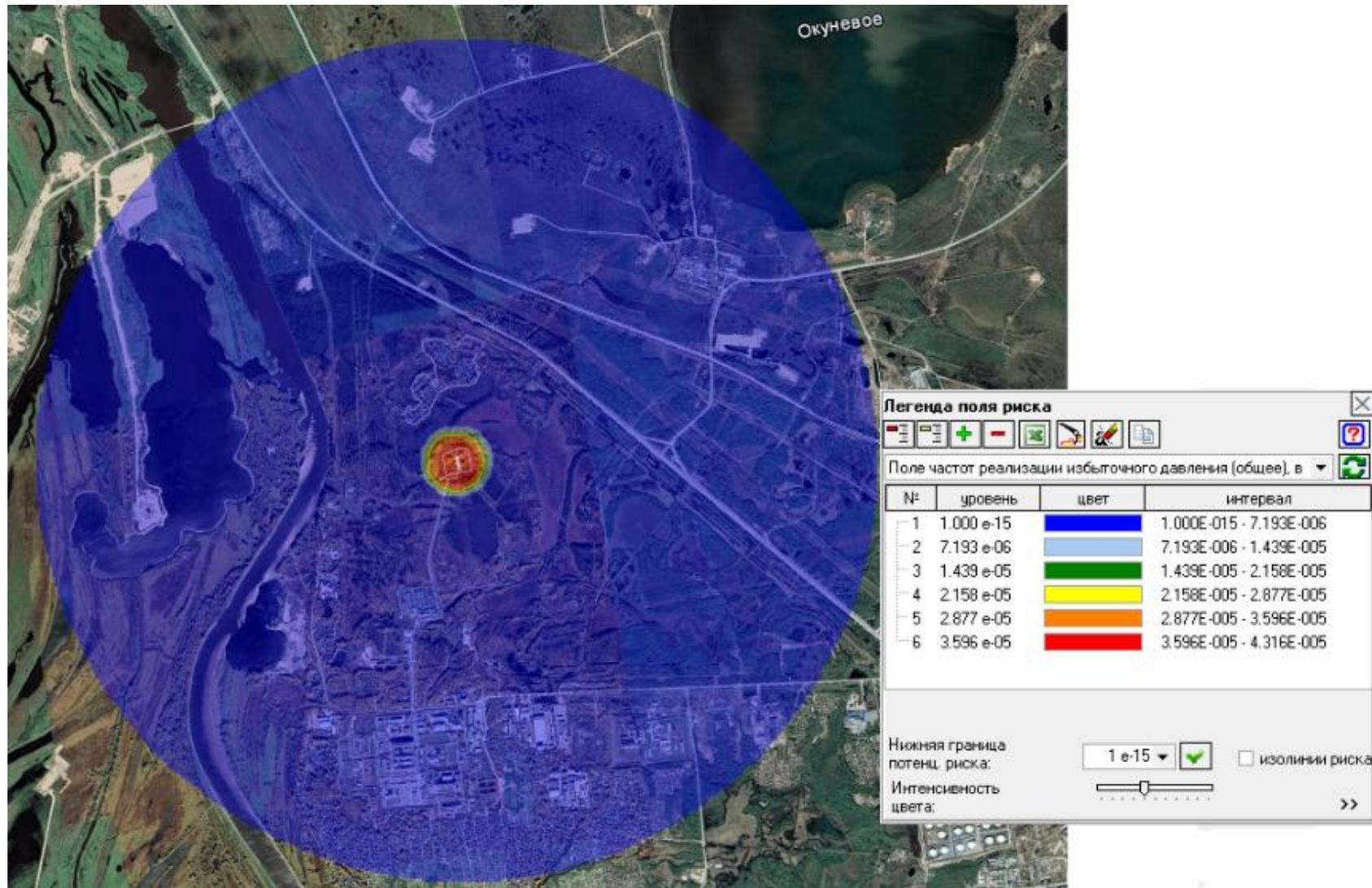


Рисунок 2.26 – Поле распределения частот превышения избыточного давления $\Delta P = 2$ кПа при авариях на декларируемом объекте (без учета соседних ОПО)

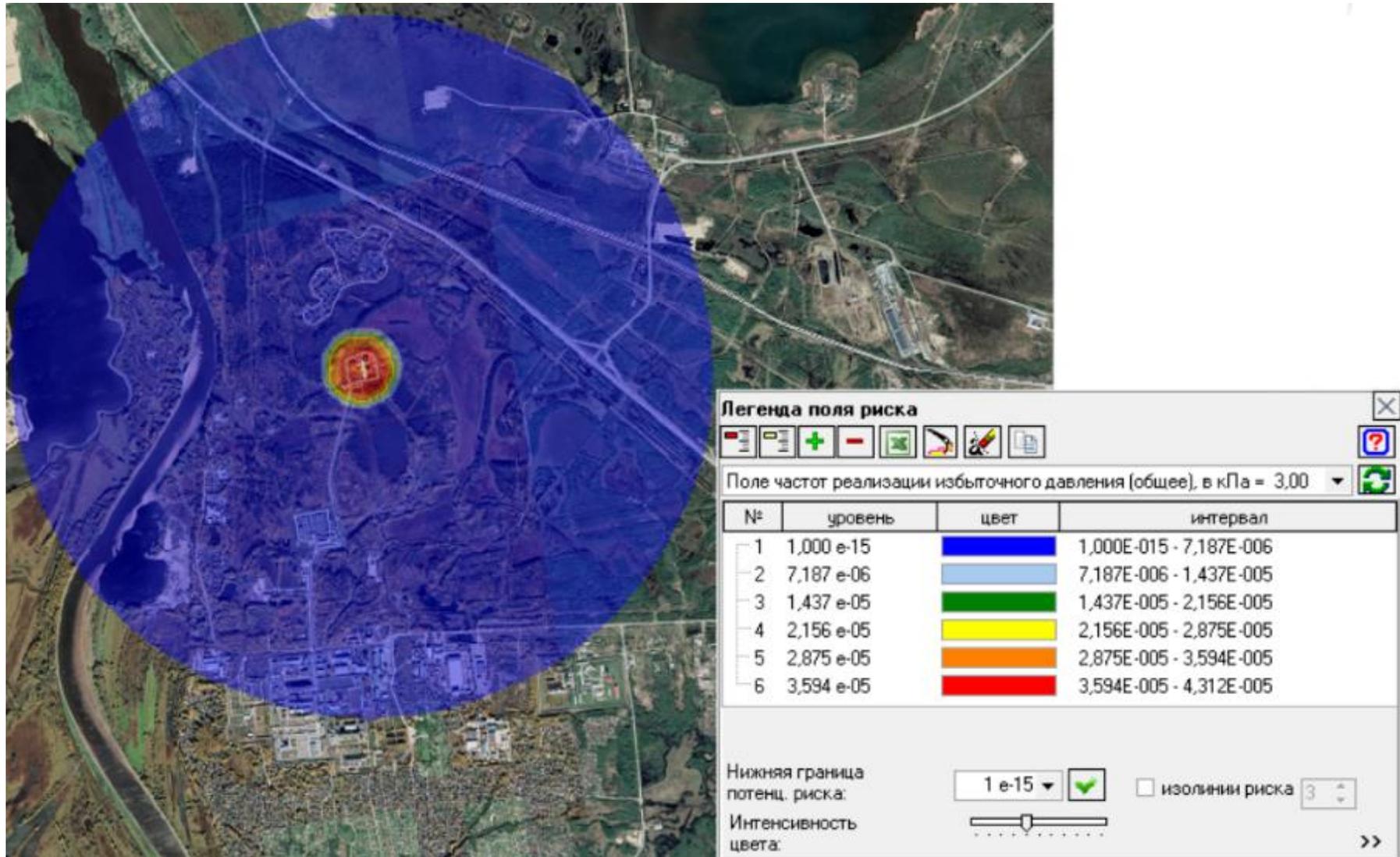


Рисунок 2.27 – Поле распределения частот превышения избыточного давления $\Delta P = 3$ кПа при авариях на декларируемом объекте (без учета соседних ОПО)

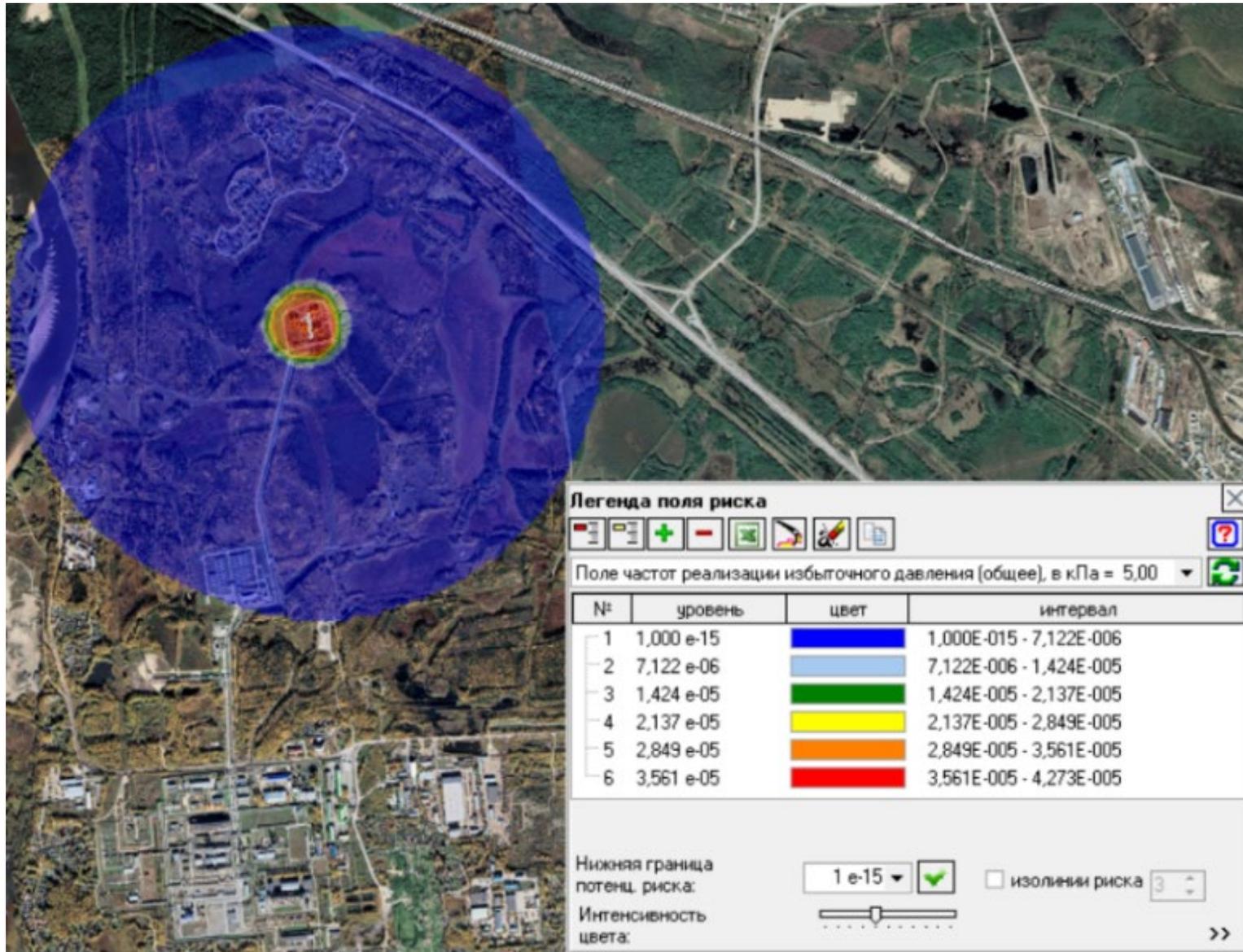


Рисунок 2.28 – Поле распределения частот превышения избыточного давления $\Delta P = 5$ кПа при авариях на декларируемом объекте (без учета соседних ОПО)

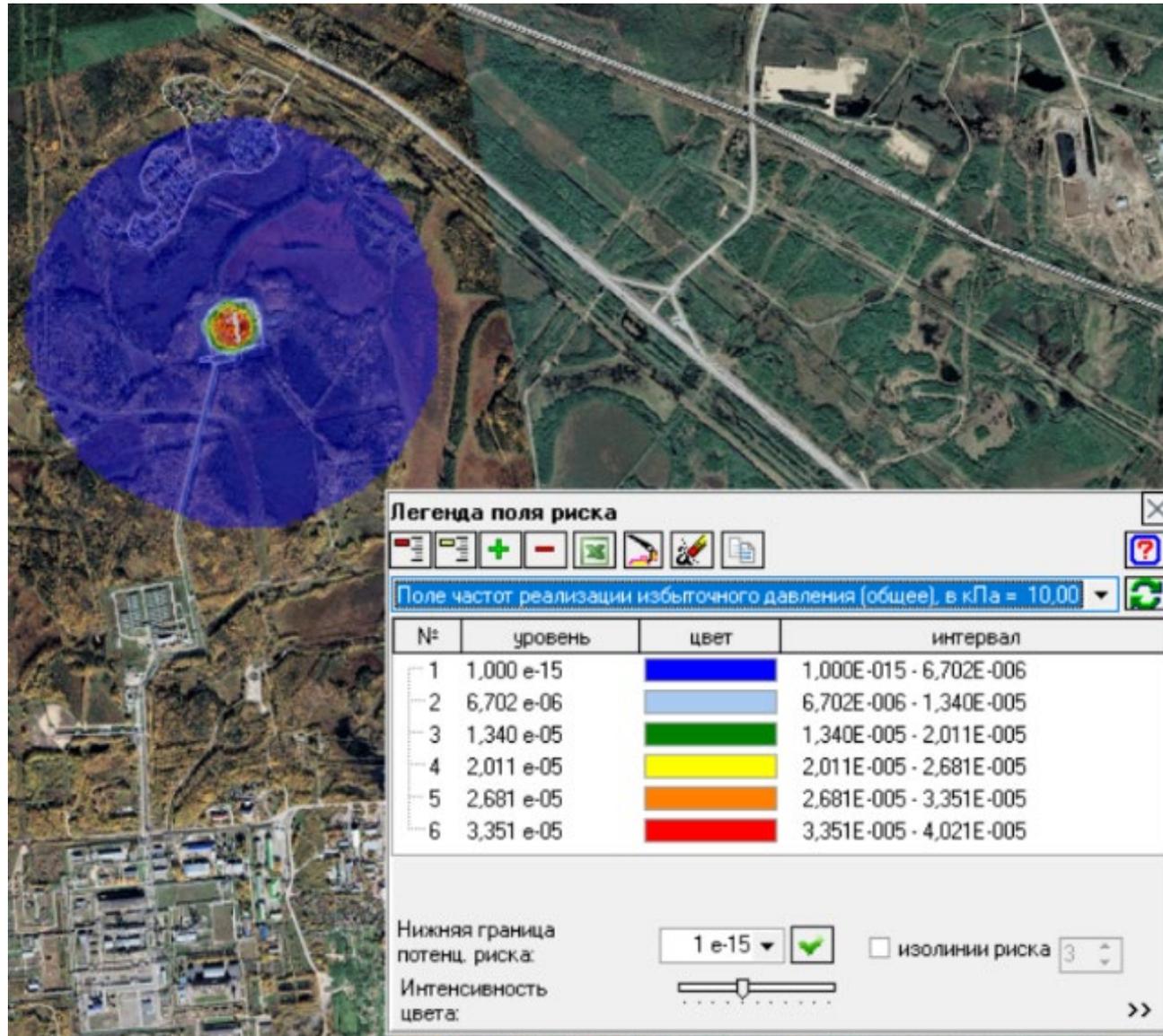


Рисунок 2.29 – Поле распределения частот превышения избыточного давления $\Delta P = 10$ кПа при авариях на декларируемом объекте (без учета соседних ОПО)

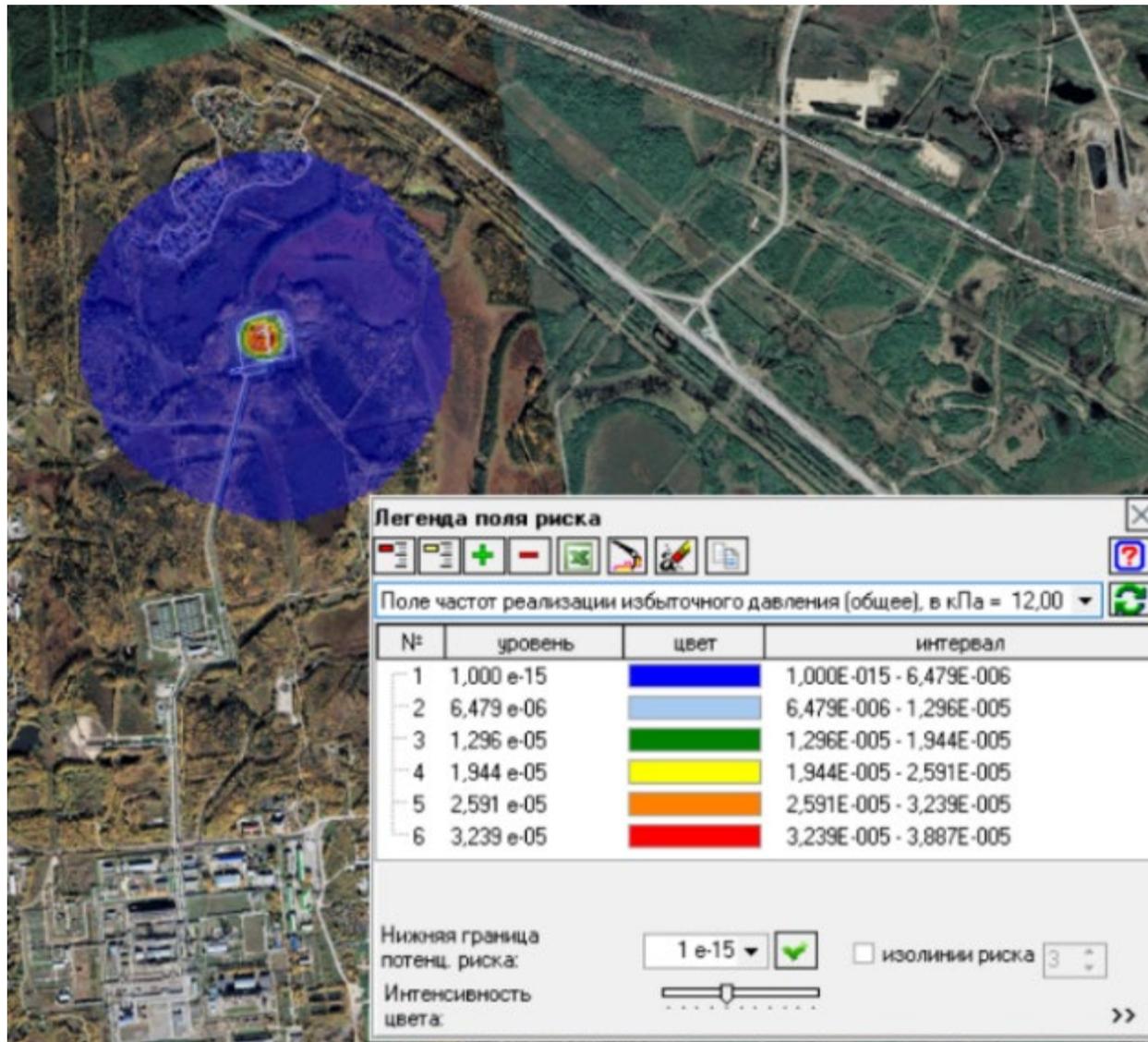


Рисунок 2.30 – Поле распределения частот превышения избыточного давления $\Delta P = 12$ кПа при авариях на декларируемом объекте (без учета соседних ОПО)

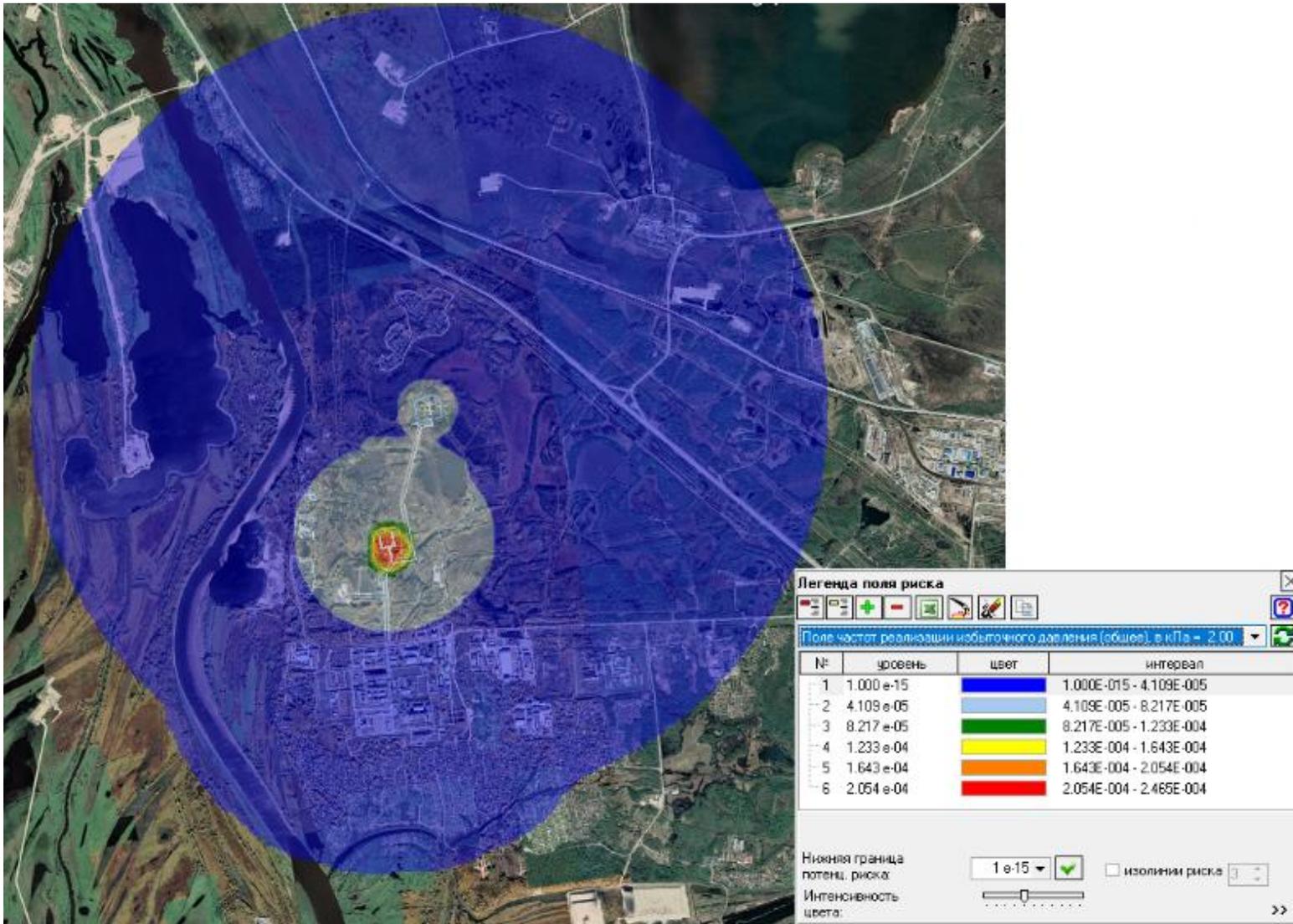


Рисунок 2.31 – Поле распределения частот превышения избыточного давления $\Delta P = 2$ кПа при авариях на декларируемом объекте (с учетом соседних ОПО)

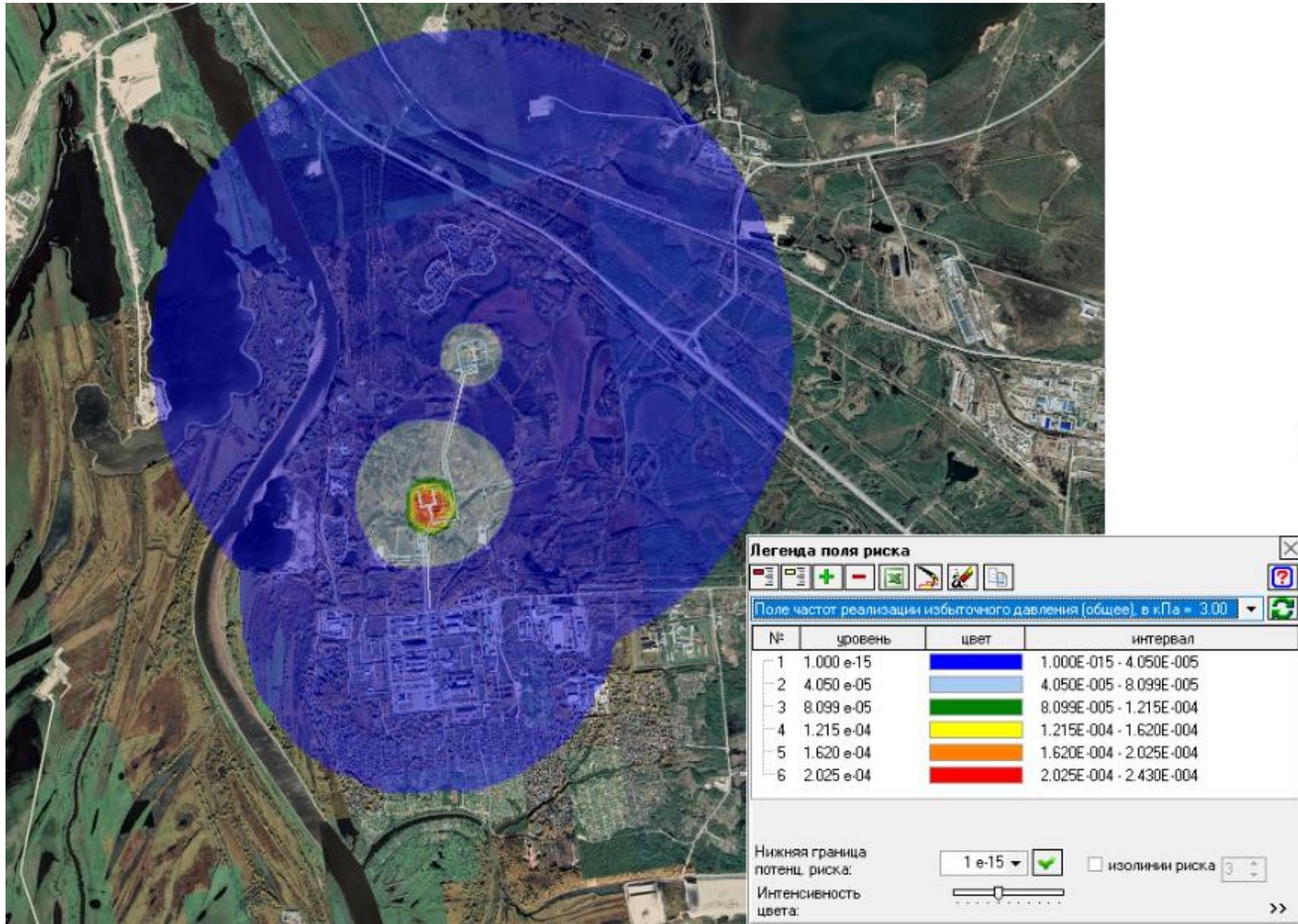


Рисунок 2.32 – Поле распределения частот превышения избыточного давления $\Delta P = 3$ кПа при авариях на декларируемом объекте (с учетом соседних ОПО)

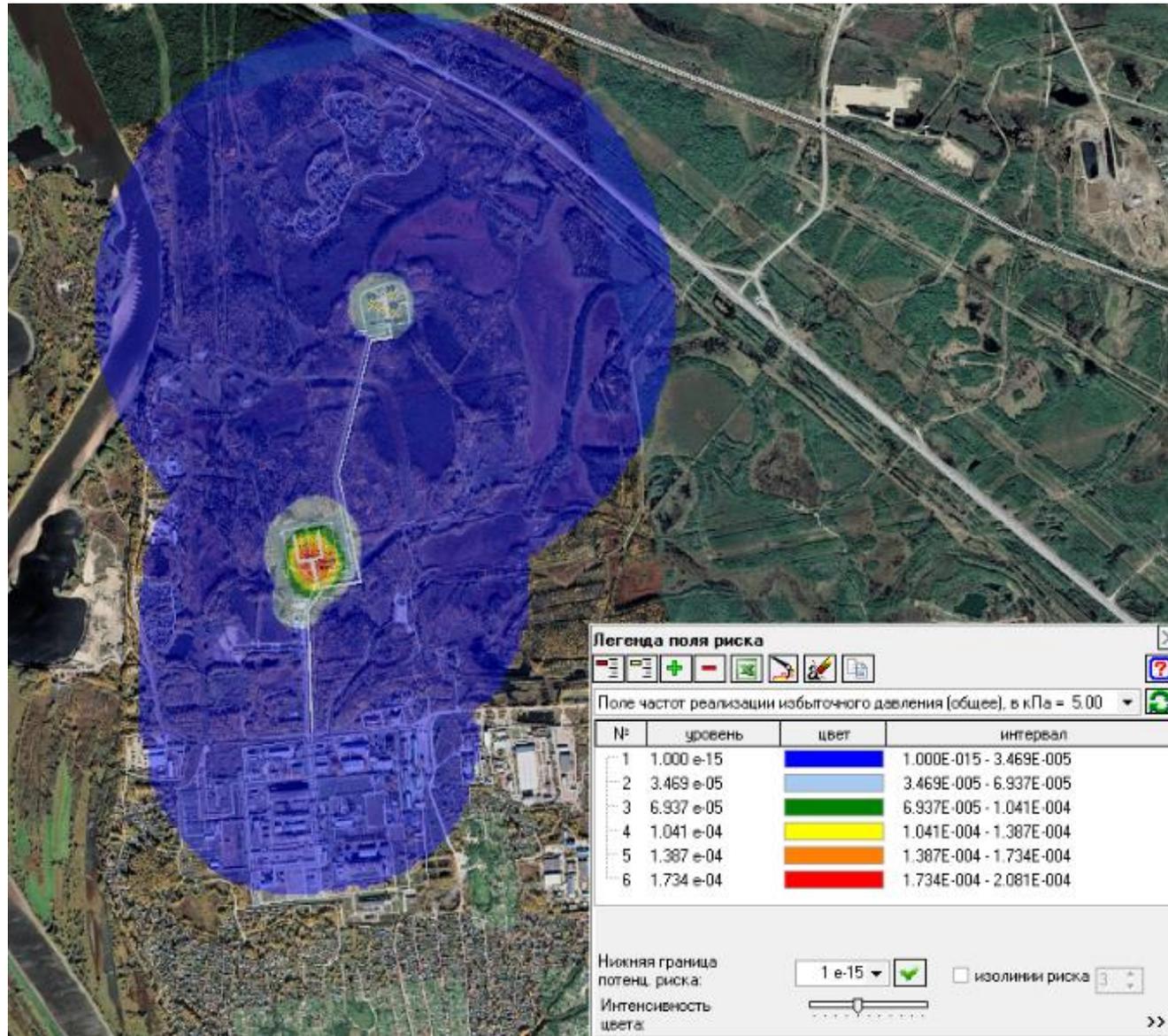


Рисунок 2.33 – Поле распределения частот превышения избыточного давления $\Delta P = 5$ кПа при авариях на декларируемом объекте (с учетом соседних ОПО)

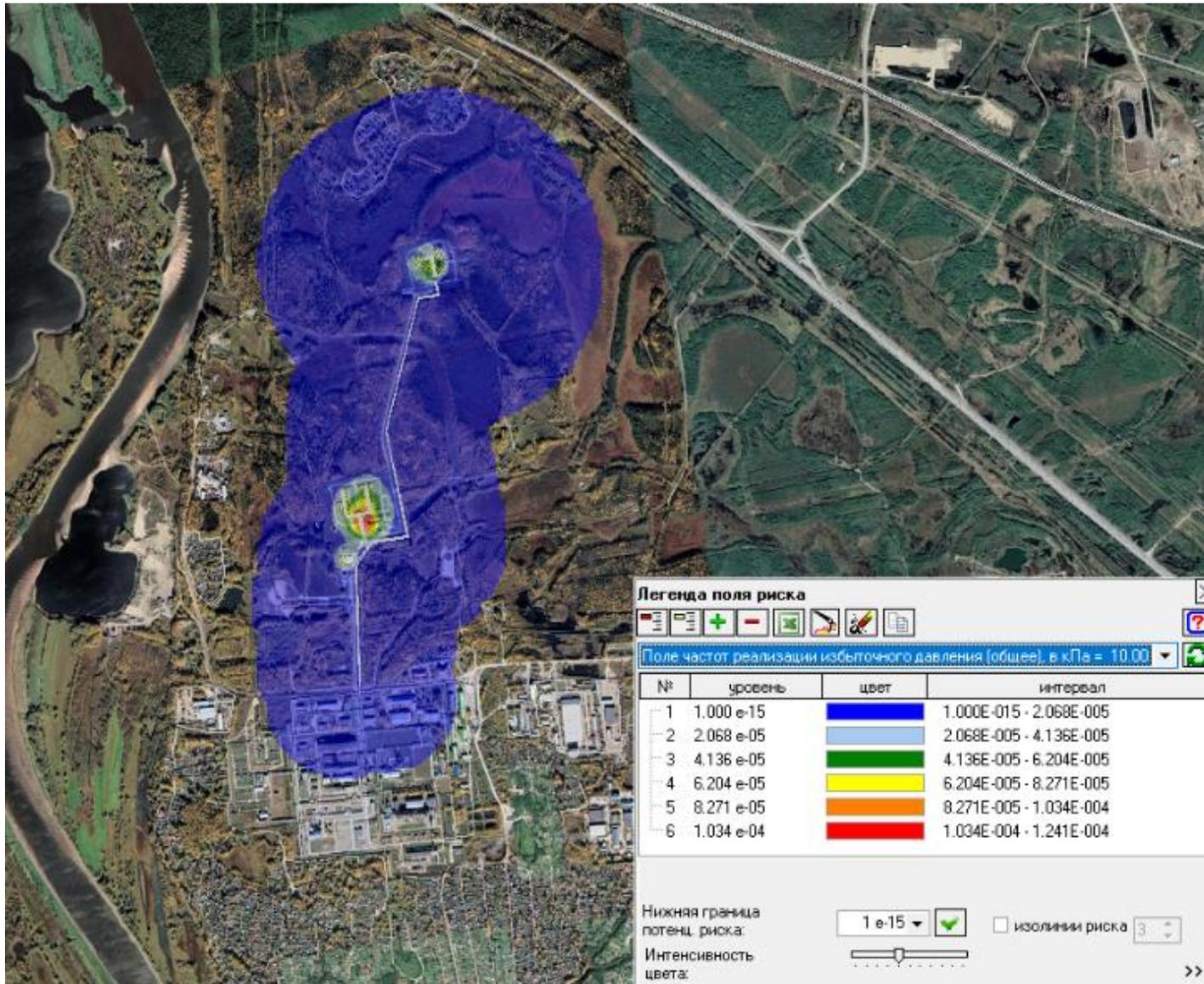


Рисунок 2.34 – Поле распределения частот превышения избыточного давления $\Delta P = 10$ кПа при авариях на декларируемом объекте (с учетом соседних ОПО)

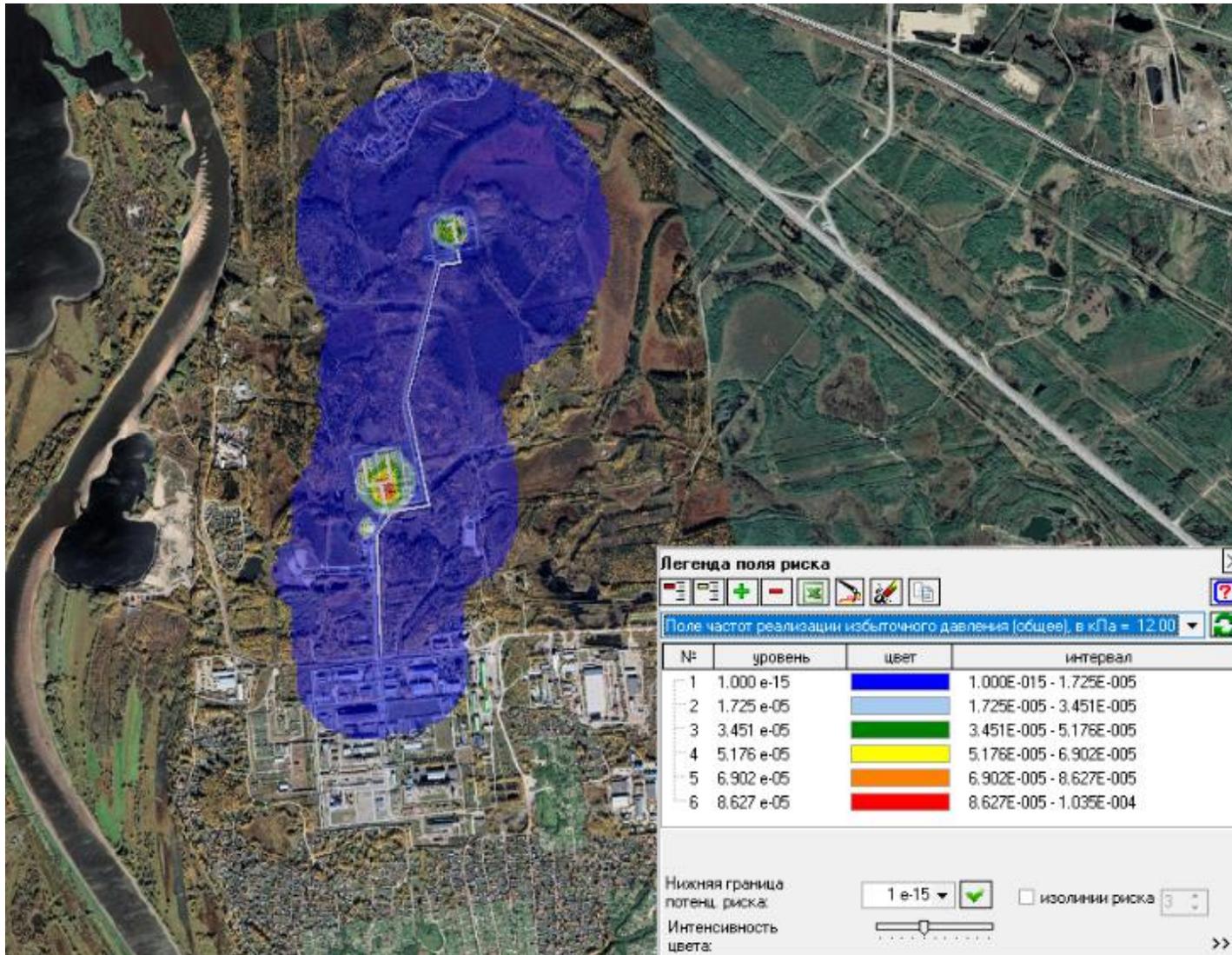


Рисунок 2.35 – Поле распределения частот превышения избыточного давления $\Delta P = 12$ кПа при авариях на декларируемом объекте (с учетом соседних ОПО)

Анализ результатов расчетов, приведенных в таблице (Таблица 2.25), а также рисунках (Рисунок 2.24...Рисунок 2.35), что для анализируемого здания значение избыточного давления при авариях на декларируемом объекте составляет менее 2 кПа.

При этом индивидуальный и социальный риски гибели людей в анализируемых зданиях не превышают допустимых значений, установленных в ОБ ОПО [2.3].

В рамках проведенной вероятностной оценки потенциального барического воздействия от гипотетических аварий на оборудовании реконструируемого товарного парка № 2 на существующие здания и сооружения АО «СибурТюменьГаз» установлено, что величина избыточного давления взрыва, воздействующая с частотой менее $1,0 \cdot 10^{-4}$ 1/год. Предполагая, что существующие объекты АО «СибурТюменьГаз» соответствуют требованиям нормативно-технических документов в области промышленной безопасности полученным значением воздействия допустимо пренебречь.

В данной работе выполнена оценка частоты эскалации аварии с резервуара на резервуар, находящихся в одной группе, а также с одной группы резервуаров на другую.

Критерием эскалации аварии принималось давление на фронте падающей ударной волны 20 кПа и тепловое излучение – 15 кВт/м².

Величина избыточного давления в 20 кПа принималась в соответствии со слабой степенью разрушения оборудования при избыточном давлении на фронте падающей ударной волны (Таблица № 3, Приложение 3, ФНИП ОПВБ [1.7]). Для случая воздействия инициирующего пожара на располагаемое на соседних участках технологическое оборудование критическая интенсивность теплового излучения принимается равной 15 кВт/м² в соответствии с Пособием [3.41].

Результаты расчета частоты эскалации аварии приведены ниже таблицу (Таблица 2.26).

Таблица 2.26 – Итоговые показатели частоты эскалации аварии

Наименование объекта	Частота эскалации аварии при поражении ударной волной 20 кПа, 1/год	Частота эскалации аварии при поражении тепловым излучением 15 кВт/м ² , 1/год	Суммарная частота эскалации аварии, 1/год
Эскалация аварии с резервуара на резервуар, находящихся в одной группе			
E-901/1...12	$2,93 \cdot 10^{-7}$	$1,72 \cdot 10^{-6}$	$2,01 \cdot 10^{-6}$
Эскалация аварии с одной группы резервуаров на другую			
E-901/1...12	$5,99 \cdot 10^{-7}$	$4,51 \cdot 10^{-6}$	$5,11 \cdot 10^{-6}$

Интегральная частота достижения избыточного давления/теплового излучения различных значений приведена на рисунках (Рисунок 2.36...Рисунок 2.39).

Территориальное распределение поля риска ударной волны (20 кПа) и теплового излучения (15 кВт/м²) приведено на рисунках (Рисунок 2.40...Рисунок 2.43).

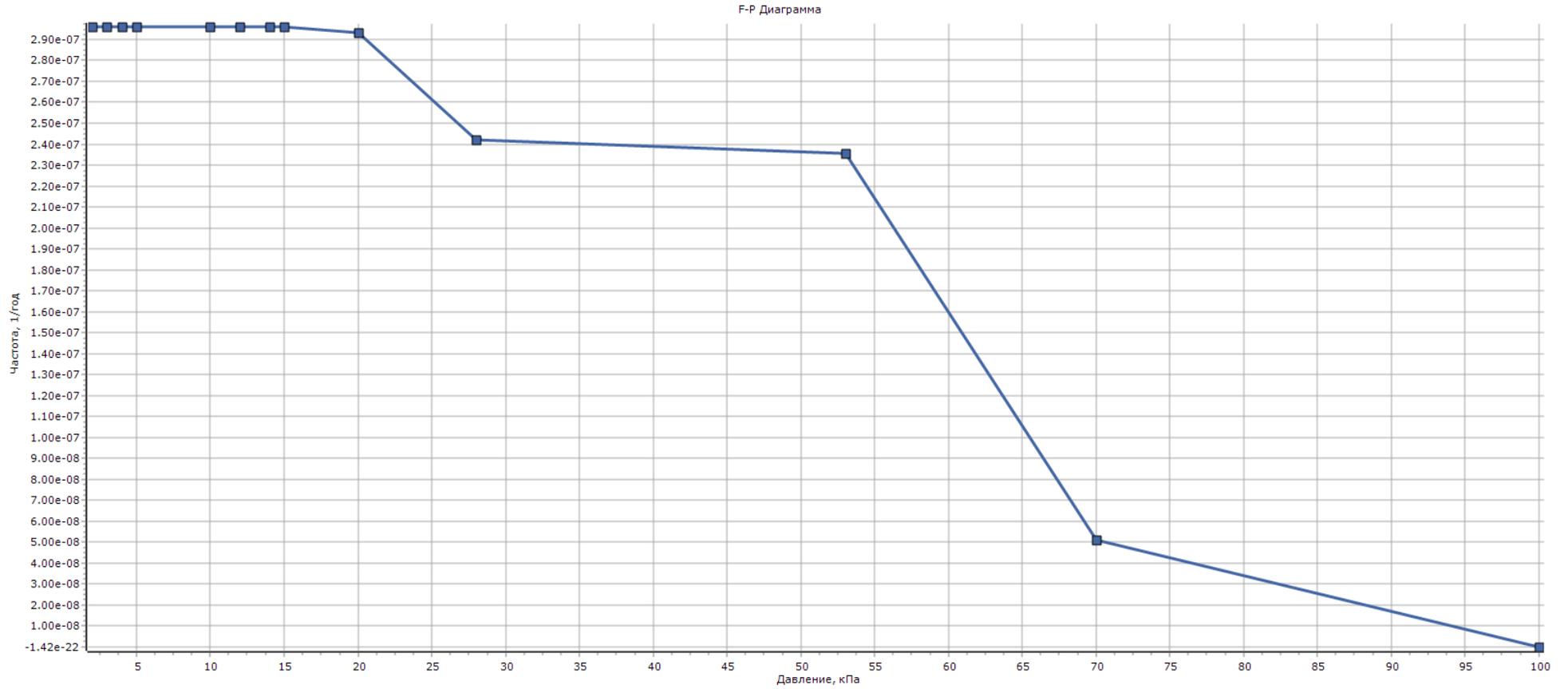


Рисунок 2.36 – Интегральная частота достижения ударной волной избыточного давления различных значений при эскалации с резервуара на резервуар, находящихся в одной группе

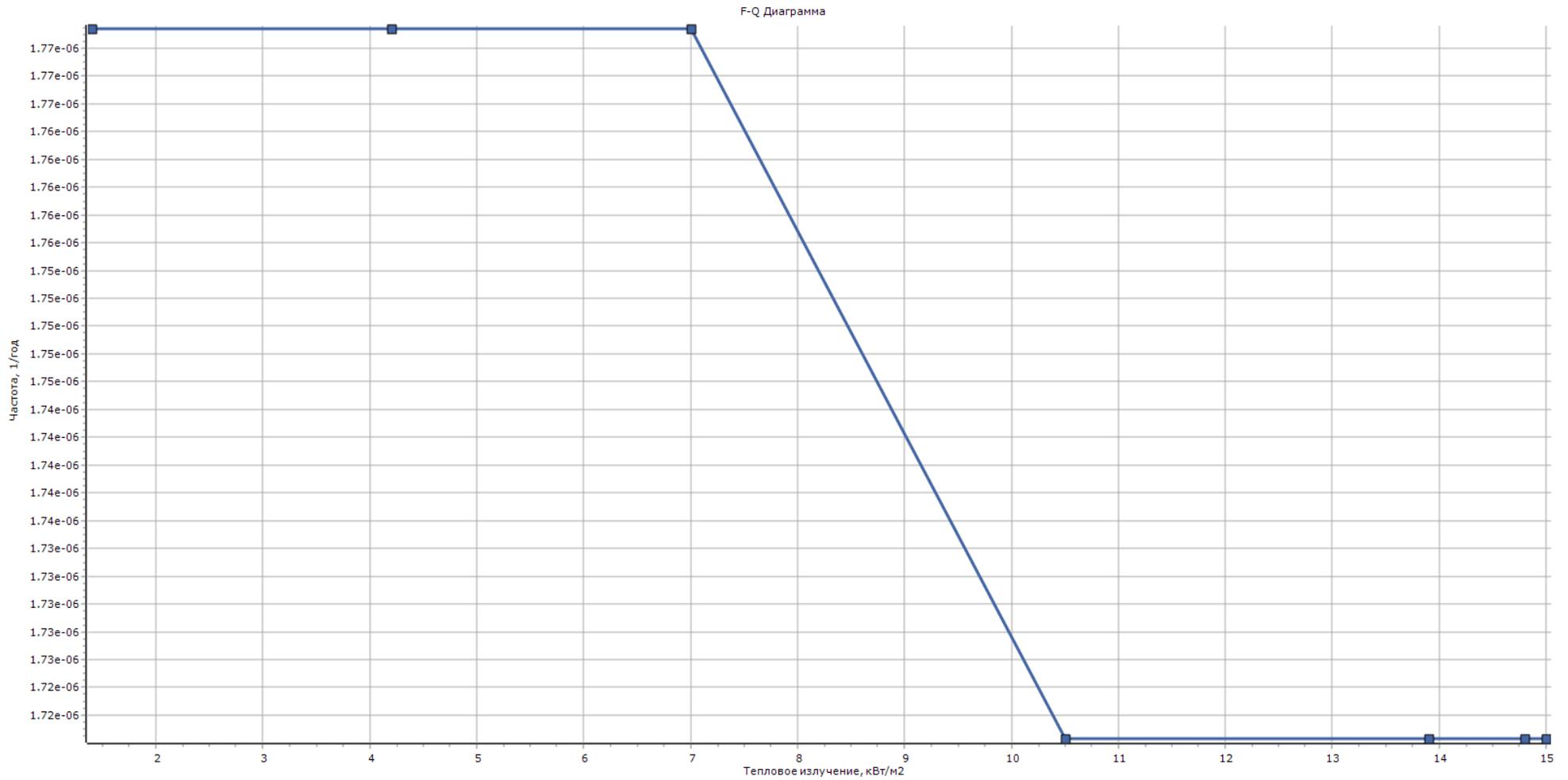


Рисунок 2.37 –Интегральная частота достижения теплового излучения различных значений при эскалации с резервуара на резервуар, находящихся в одной группе

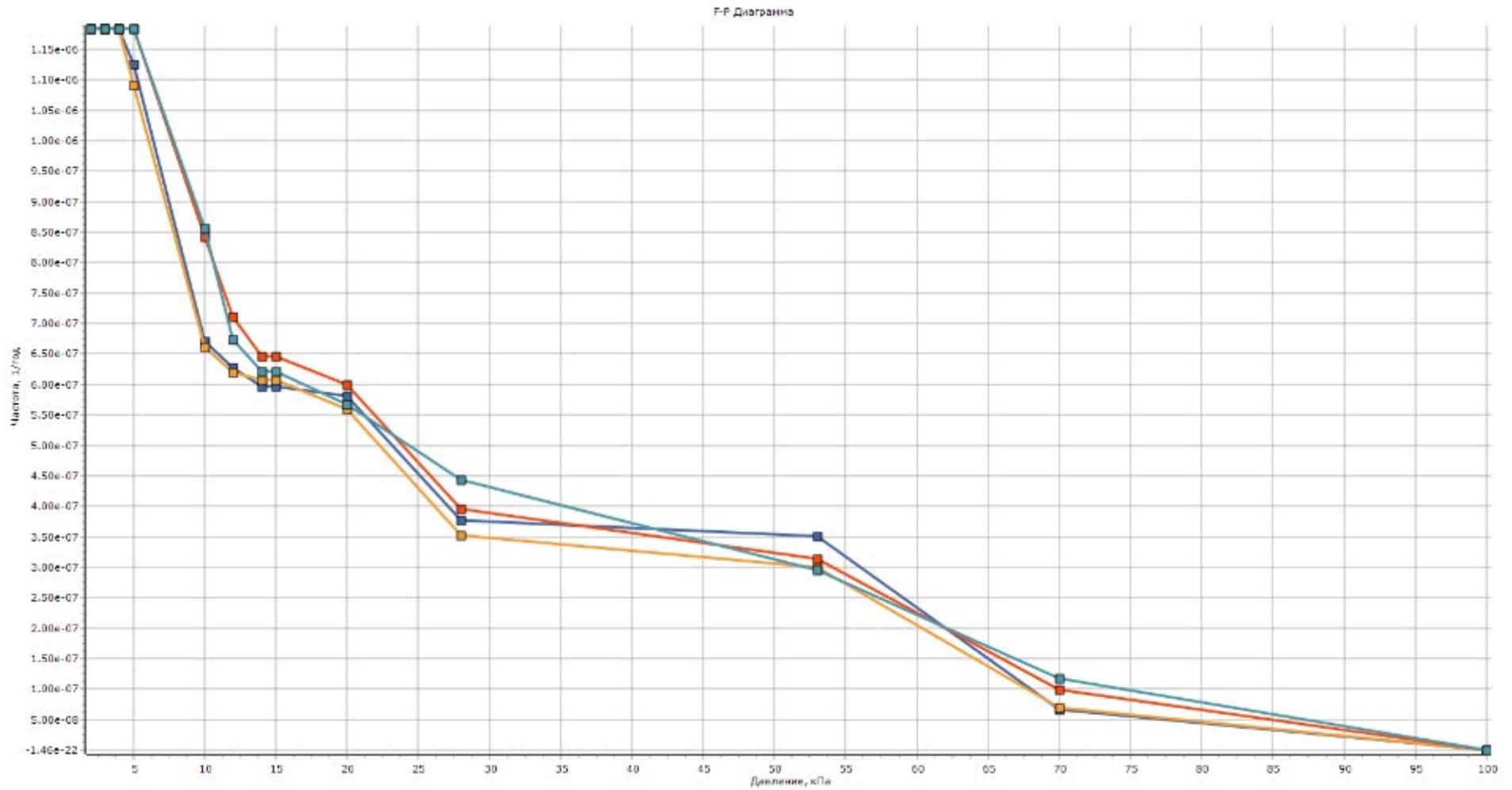


Рисунок 2.38 – Интегральная частота достижения ударной волной избыточного давления различных значений при эскалации с одной группы резервуаров на другую

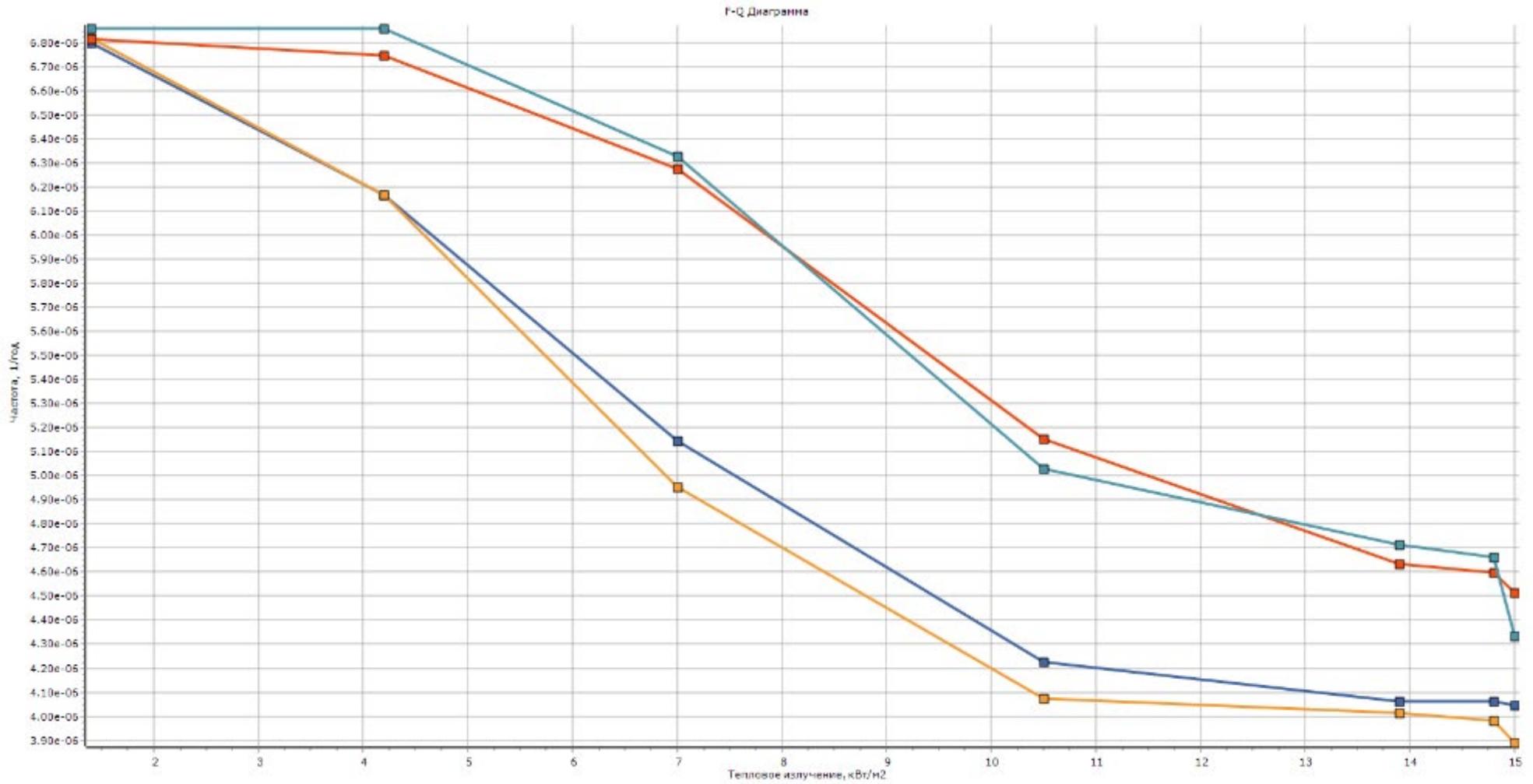


Рисунок 2.39 – Интегральная частота достижения теплового излучения различных значений при эскалации с одной группы резервуаров на другую

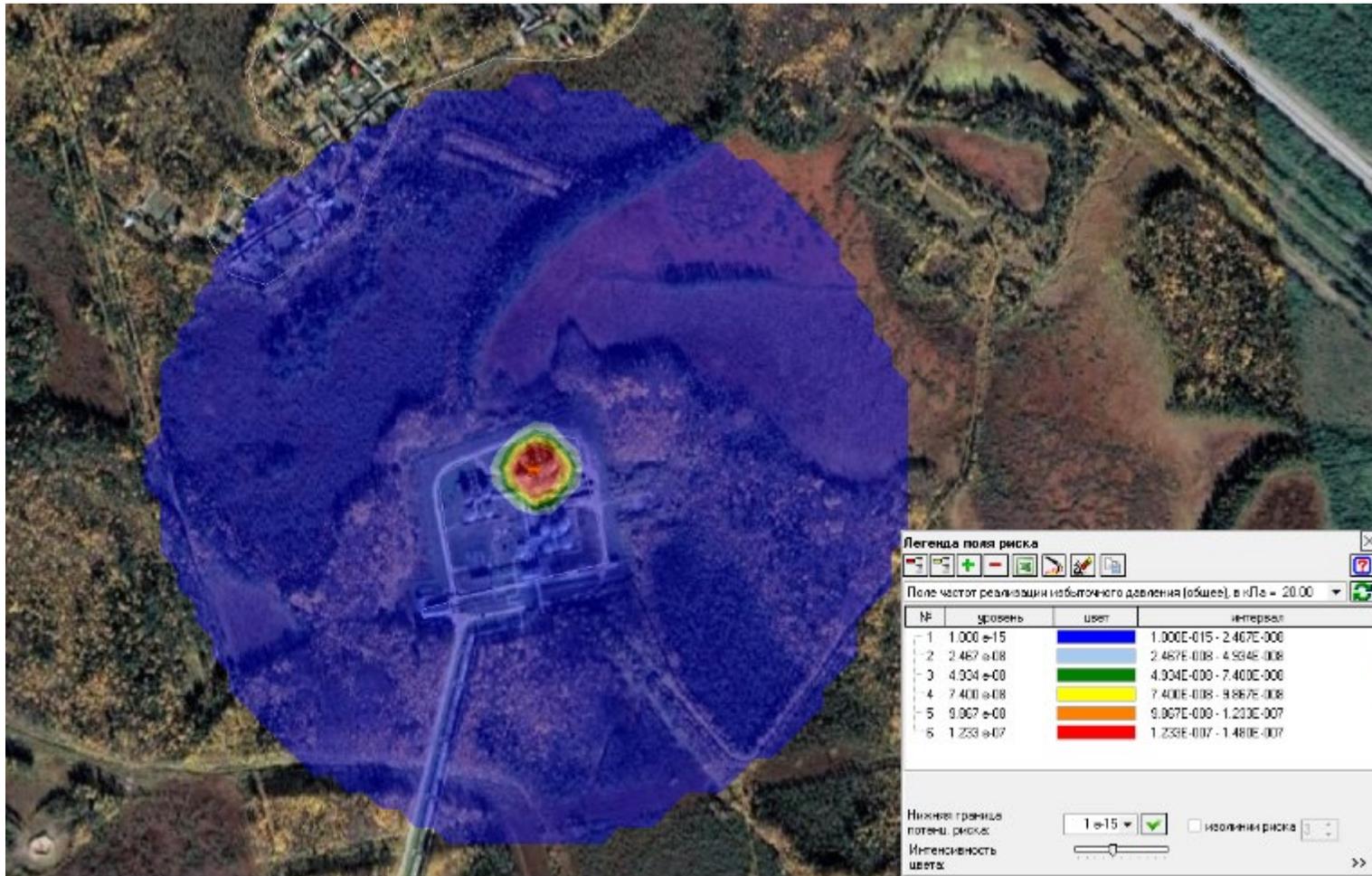


Рисунок 2.40 – Территориальное распределение поля риска ударной волны при эскалации с резервуара на резервуар, находящихся в одной группе

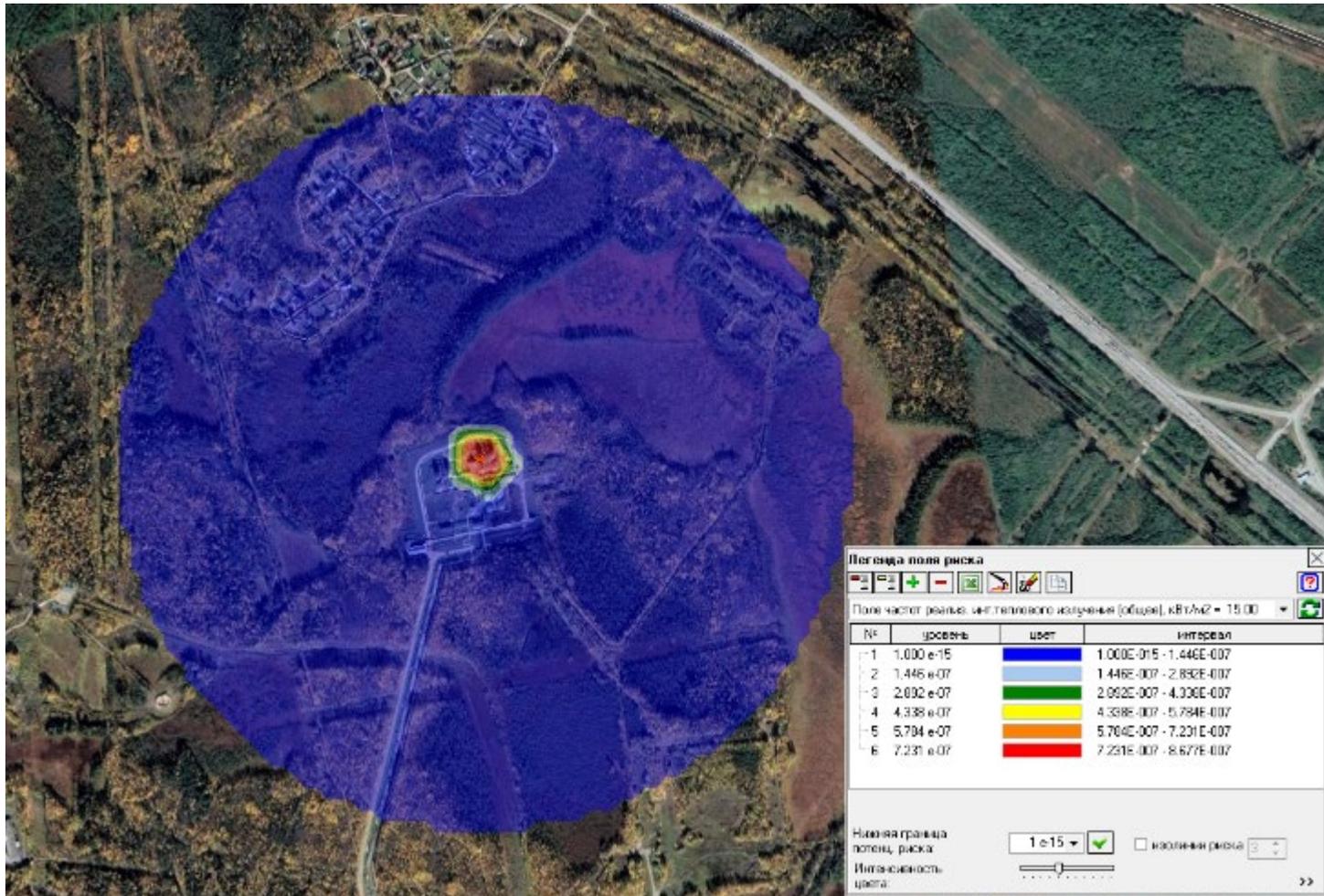


Рисунок 2.41 – Территориальное распределение поля риска теплового излучения при эскалации с резервуара на резервуар, находящихся в одной группе

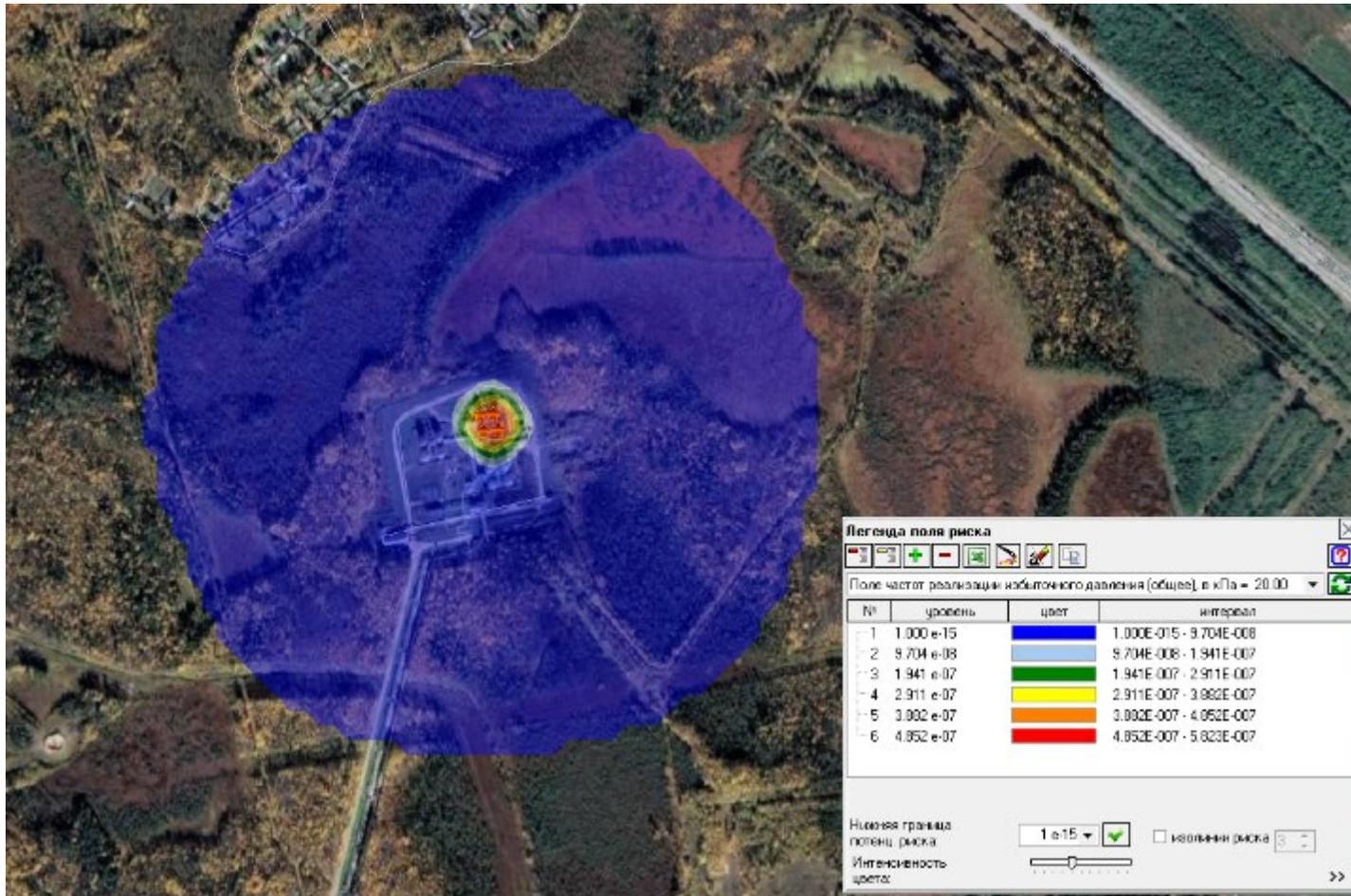


Рисунок 2.42 – Территориальное распределение поля риска ударной волны при эскалации с одной группы резервуаров на другую

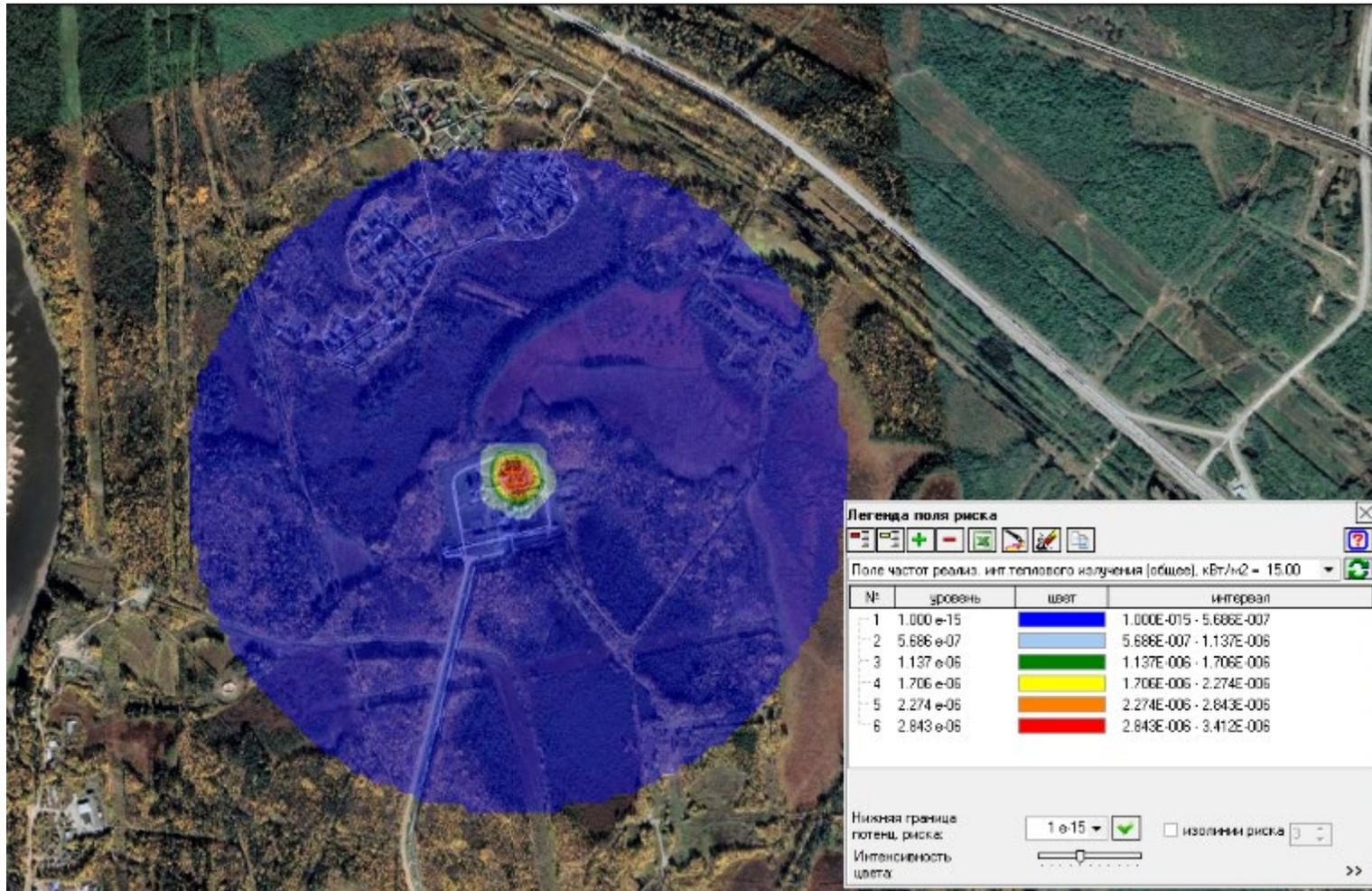


Рисунок 2.43 – Территориальное распределение поля риска теплового излучения при эскалации с одной группы резервуаров на другую

3 ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

3.1 Перечень составляющих декларируемого объекта с указанием показателей риска для работников и иных юридических и физических лиц

Опасность составляющих определяется возможностью возникновения и развития на них аварий с наиболее тяжелыми последствиями для персонала, имущества владельца декларируемого ОПО и окружающей среды.

Опасность составляющих обусловлена наличием на них технологических систем, в которых обращаются взрывопожароопасные вещества, способные при аварийном выбросе привести к пожару и взрыву.

Наиболее высокие риски связаны с возможными отказами технологического оборудования и трубопроводов при эксплуатации и транспортировке продукции при высоких параметрах среды.

Наиболее опасной составляющей является – Товарный парк №2 (оборудование Е 901/6).

Для данного объекта «Товарный парк №2. Реконструкция. Нижневартовский ГПЗ» показатели риска аварий составят:

- 1) коллективный риск для персонала составляет $5,2 \cdot 10^{-5}$ чел./год;
- 2) величина индивидуального риска для персонала ОПО не превышает $1,73 \cdot 10^{-5}$ 1/год;
- 3) коллективный риск для третьих лиц составляет $3,1 \cdot 10^{-5}$ чел./год;
- 4) величина индивидуального риска для третьих лиц на внешних транспортных коммуникациях не превышает $4,27 \cdot 10^{-8}$ 1/год;
- 5) величина индивидуального риска для третьих лиц (на территории садовых участков) не превышает $3,65 \cdot 10^{-6}$ 1/год.

Распределение поля потенциального риска приведено на рисунке (Рисунок 2.22).

3.2 Сравнительный анализ рассчитанных показателей аварии на декларируемом объекте со среднестатистическими показателями риска аварий, риска гибели людей по неестественным причинам (пожары, дорожно-транспортные происшествия), риска чрезвычайных ситуаций техногенного характера и (или) критериями приемлемого (допустимого) риска

Согласно результатам количественного анализа риска для персонала, обслуживающего ТП-2 и иные ОПО, технологически связанных с ТП-2, расчетное значение индивидуального риска гибели при аварии не превышает величины $1,73 \cdot 10^{-5}$ год⁻¹, что ниже среднестатистических (фоновых) показателей техногенного риска (за 5 лет), связанных с производственной деятельностью и обыденной жизнью человека в России, представленных в таблице (Таблица 3.1).

Таблица 3.1 – Среднестатистический риск гибели людей при техногенных происшествиях и обыденной жизни в Российской Федерации

Причина гибели, отрасль промышленности	Индивидуальный риск, год ⁻¹
Магистральный трубопроводный транспорт	$1.16 \cdot 10^{-5}$
Газодобывающая промышленность	$2.01 \cdot 10^{-5}$
Металлургическая промышленность	$3.42 \cdot 10^{-5}$

Причина гибели, отрасль промышленности	Индивидуальный риск, год ⁻¹
Нефтехимическая промышленность	$4.40 \cdot 10^{-5}$
Нефтеперерабатывающая промышленность	$8.59 \cdot 10^{-5}$
Нефтедобывающая промышленность	$1.30 \cdot 10^{-4}$
Горнодобывающие производства	$1.97 \cdot 10^{-4}$
Угольная промышленность	$4.72 \cdot 10^{-4}$
Производство, хранение и применение взрывчатых материалов промышленного назначения	$7.14 \cdot 10^{-4}$
Подземная угледобыча	$9.41 \cdot 10^{-4}$
Смерть от всех причин	$1.33 \cdot 10^{-2}$
Смерть для мужчин трудоспособного возраста	$9.41 \cdot 10^{-3}$
Смерть женщин трудоспособного возраста	$2.53 \cdot 10^{-3}$
Смерть от внешних причин (убийств и самоубийств, отравлений, травм и др.)	$1.27 \cdot 10^{-3}$
Гибель при ДТП и пожарах	$2.42 \cdot 10^{-4}$
Примечания: в соответствии с данными Росстата, Ростехнадзора (на основе http://riskprom.ru/publ/19-1-0-449)	

В сравнении с имеющимися статистическими данными по аналогичным объектам этот достаточно низкий показатель отражает тот факт, что в ходе нормальной эксплуатации ТП-2 на объекте соблюдаются требования промышленной безопасности.

3.3 Предложения по внедрению мер, направленных на уменьшение риска аварий

На этапе разработки мер по снижению риска аварий требуется в качестве первоочередных планировать и разрабатывать:

- 1) обоснованные рекомендации по снижению риска аварий для наиболее опасных составных частей декларируемого объекта;
- 2) способы предупреждения возникновения возможных инцидентов и аварий на декларируемом объекте.

Выбор рекомендаций по снижению риска аварий имеет следующие приоритеты:

- 1) меры, снижающие возможность возникновения аварий, включающие:
 - уменьшение возможности возникновения инцидентов;
 - уменьшение вероятности перерастания инцидента в аварию;
- 2) меры, снижающие тяжесть последствий возможных аварий, включающие:
 - уменьшение вероятности эскалации аварий, когда последствия какой-либо аварии становятся непосредственной причиной аварии на соседних составных частях ОПО;
 - уменьшение вероятности нахождения групп людей в зонах поражающих факторов аварий;
 - ограничение возможности возрастания масштаба и интенсивности воздействия поражающих факторов аварий;
 - уменьшение вероятности развития аварий по наиболее опасным сценариям возможной аварии;

- увеличение требуемого уровня надежности системы противоаварийной защиты, средств активной и пассивной защиты от воздействия поражающих факторов аварий;

3) меры обеспечения готовности к локализации и ликвидации последствий аварий.

Для оптимизации разработанных рекомендаций по снижению риска аварий используется следующая альтернатива:

- 1) в рамках доступных ресурсов обеспечить максимальное снижение риска аварий при эксплуатации декларируемого объекта;
- 2) обеспечить снижение риска аварий до требуемого уровня, в том числе допустимого риска аварий, при минимальных затратах ресурсов.

Предупредительные мероприятия (снижающие внеплановые потери) – организационные и инженерно-технические решения, уменьшающие риски возникновения инцидентов, аварий, производственных неполадок и чрезвычайных ситуаций, снижающие интенсивность поражающих факторов промышленных аварий или уменьшающие последствия их воздействия на людей, окружающую среду, имущество и производственную деятельность предприятия в целом, в том числе направленные на выполнение нормативных требований.

Для сохранения достигнутого низкого уровня риска аварии в качестве реализации перспективных мероприятий по уменьшению риска аварий и повышению уровня промышленной безопасности декларируемых объектов рекомендуется решать следующие вопросы:

- 1) проведение экспертизы технических устройств и сооружений по истечении срока безопасной эксплуатации;
- 2) приведение оборудования и технологических процессов в соответствие с требованиями действующих нормативных документов;
- 3) повышение профессиональной подготовки производственного персонала, строгое соблюдение мер пожарной безопасности;
- 4) поддержание в высокой готовности сил и средств для предупреждения, локализации и ликвидации последствий аварий, в первую очередь, систем, сил и средств пожаротушения;
- 5) поддержание в исправном состоянии и дальнейшее совершенствование инженерно-технических систем по своевременной локализации возможной аварии;
- 6) совершенствование систем и способов предупреждения о чрезвычайных ситуациях;
- 7) рабочие, из числа обслуживающего персонала, находящегося на территории декларируемого объекта, должны руководствоваться действующими инструкциями и регламентами, строго соблюдать требования промышленной безопасности и правила по охране труда и техники безопасности;
- 8) в целях предотвращения скопления взрывопожароопасных веществ в помещениях необходимо осуществлять постоянный контроль за исправностью системы вентиляции;
- 9) для безаварийной эксплуатации сосудов, находящихся под давлением, необходимо осуществлять постоянный контроль за состоянием работы предохранительных клапанов, манометров, указателей уровня.

Учитывая то, что полностью исключить возможность возникновения крупной аварии на подобном ОПО невозможно, персонал объекта должен быть осведомлен о возможных чрезвычайных ситуациях на объекте и готов к реальным действиям при возникновении и развитии аварий.

В качестве приоритетных способов предупреждения возникновения возможных инцидентов и аварий на ОПО «Площадка товарного парка №2 Нижневартовского ГПЗ» рекомендуется использовать активную защиту от перерастания аварийной опасности в угрозу аварии для жизни и здоровья человека, имущества и окружающей среды на стадии эксплуатации декларируемого объекта.

Для уменьшения вероятности разгерметизации оборудования требуется:

- 1) выполнение графиков осмотра, ремонта и технического освидетельствования сосудов и аппаратов, трубопроводов;
- 2) систематическое проведение работ по диагностике состояния трубопроводов, емкостей на базе современных технических средств;
- 3) постоянный контроль изоляционных и антикоррозионных покрытий;
- 4) использование существующих и новейших средств дефектоскопии;
- 5) совершенствование способов и служб контроля утечек и систематического надзора за техническим состоянием всех технологических участков;
- 6) проведение экспертизы промышленной безопасности оборудования, зданий и сооружений;
- 7) превентивная замена участков трубопроводов, наиболее опасных с точки зрения разгерметизации;
- 8) качественное выполнение строительно-монтажных работ. Для предупреждения развития аварий и локализации выбросов:
- 9) регулярный контроль состояния оборудования, средств автоматического контроля, блокировок и сигнализаций;
- 10) периодические проверки (с составлением актов) исправности и готовности систем пожаротушения (противопожарного водопровода, гидрантов и кранов, и др.);
- 11) повышение уровня автоматизации и применение надежных в эксплуатации датчиков, преобразователей, агрегатных систем автоматики и телемеханики.

Для уменьшения масштаба ущерба от аварий также необходимо:

- 1) систематическое обучение обслуживающего персонала Товарного парка №2 четким действиям по ликвидации возможных аварий, проведение учебных тренировок по плану с отработкой практических действий в случае аварии;
- 2) своевременное обучение и регулярное проведение аттестации руководителей и специалистов, проверки знаний персонала по безопасным приемам работы и действиям в аварийных ситуациях;
- 3) дополнительная противоаварийной подготовка персонала на специальных тренажерах (с привлечением высококвалифицированных специалистов в области обеспечения промышленной безопасности) по отработке действий в опасных условиях при конкретных сценариях развития аварий на всех действующих технологических участках;
- 4) проведение периодических проверок (с составлением актов) наличия и исправности средств индивидуальной защиты, технических средств ликвидации возможных аварий с их обновлением по мере необходимости;
- 5) систематическое проведение обучения работников всех подразделений методам, способам, средствам обеспечения безопасности производственного процесса и вопросам охраны
- 6) труда (в том числе проведение вводных инструктажей, обучение и проверка знаний, повышение квалификации и переподготовка кадров) и обеспечение периодической проверки знаний;
- 7) проведение периодических проверок компонентов систем оповещения, связи и составление актов об их исправности;

8) организация мониторинга – наблюдение, контроль и накопление информации при эксплуатации ОПО «Площадка товарного парка №2 Нижневартовского ГПЗ».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Перечень нормативных правовых актов, регулирующих требования промышленной безопасности на декларируемом объекте

- 1.1 Федеральный закон от 21.07.1997 № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов».
- 1.2 Федеральный закон от 27.07.2010 № 225-ФЗ «Об обязательном страховании гражданской ответственности владельца опасного объекта за причинение вреда в результате аварии на опасном объекте».
- 1.3 Федеральный закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».
- 1.4 Федеральный закон №384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений». Принят Государственной думой 23.12.2009 г., с Изменениями.
- 1.5 Федеральный закон от 12.01.1996 №8-ФЗ «О погребении и похоронном деле».
- 1.6 Федеральные нормы и правила «Правила проведения экспертизы промышленной безопасности». Утв. Приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору № 420 от 20.10.2020 г.
- 1.7 Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств». Утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 15.12.2020 г. № 533.
- 1.8 Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности». Утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 15.12.2020 г. № 534.
- 1.9 ГОСТ 12.1.005-88 «ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны».
- 1.10 ГОСТ 12.1.007-76 «ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности».
- 1.11 ГОСТ 12.1.044-89 «ССБТ. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения».
- 1.12 ГОСТ Р 12.3.047-2012 «ССБТ. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля».
- 1.13 ГОСТ Р 22.10.02-2016. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Менеджмент риска чрезвычайной ситуации. Допустимый риск чрезвычайных ситуаций.
- 1.14 ГОСТ 12.1.004-91. ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования.
- 1.15 ГОСТ 27.310-95 «Анализ видов, последствий и критичности отказов. Основные положения».
- 1.16 ГОСТ Р 27.012-2019 (МЭК 61882:2016) Надежность в технике. Анализ опасности и работоспособности (HAZOP). Dependability in technics. Hazard and operability studies (HAZOP studies).
- 1.17 ГОСТ Р 27.302-2009 Надежность в технике (ССНТ). Анализ дерева неисправностей.
- 1.18 ГОСТ Р МЭК 62502-2014. Менеджмент риска. Анализ дерева событий.
- 1.19 ГОСТ Р МЭК 61508-1-2012. Часть 1-7. Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью.
- 1.20 ГОСТ Р 54389-2011 «Конденсат газовый стабильный. Технические условия».
- 1.21 ГОСТ Р 54973-2012 «Переработка попутного нефтяного газа. Термины и определения».
- 1.22 ГОСТ 5542-2014 «Газы горючие природные промышленного и коммунально-

бытового назначения. Технические условия».

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

1.24 СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.

1.25 СП 131.13330.2020. Строительная климатология.

1.26 Порядок оформления декларации промышленной безопасности опасных производственных объектов и перечень включаемых в нее сведений (утвержден приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 16.10.2020 № 414).

1.27 РД 03-357-00 «Методические рекомендации по составлению декларации промышленной безопасности опасного производственного объекта» (утверждены постановлением Госгортехнадзора РФ от 26.04.2000 № 23).

1.28 РД 03-496-02 «Методические рекомендации по оценке ущерба от аварий на опасных производственных объектах» (утверждены постановлением Госгортехнадзора РФ от 29.10.2002 № 63).

1.29 СТО Газпром 2-2.3-351-2009 «Методические указания по проведению анализа риска для опасных производственных объектов газотранспортных предприятий ОАО «Газпром» (утверждены распоряжением ОАО «Газпром» от 30.03.2009 № 83).

1.30 СТО Газпром 2-2.3-400-2009. Методика анализа риска для опасных производственных объектов газодобывающих предприятий ОАО «Газпром» (утверждены распоряжением ОАО «Газпром» от 05.10.2009 № 326).

1.31 Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 010/2011 «О безопасности машин и оборудования», утвержден Решением комиссии Таможенного союза от 18.10.2011 № 823.

1.32 Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 012/2011 «О безопасности оборудования для работы во взрывоопасных средах», утвержден Решением комиссии Таможенного союза от 18.10.2011 № 825.

1.33 «Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах» (утверждена приказом МЧС РФ от 10.07.2009 № 404, зарегистрировано в Минюсте РФ 17.08.2009 № 14541).

1.34 «Правила исчисления и взимания платы за негативное воздействие на окружающую среду» (утверждены Постановлением Правительства РФ от 03.03.2017 № 255).

1.35 Руководство по безопасности «Методика моделирования распространения аварийных выбросов опасных веществ» (утверждено приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 02.11.2022 № 385).

1.36 Руководство по безопасности «Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей» (утверждено приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 28.11.2022 № 412).

1.37 Руководство по безопасности «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах» (утверждено приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 03.11.2022 № 387).

1.38 Руководство по безопасности «Методика установления допустимого риска аварии при обосновании безопасности опасных производственных объектов нефтегазового комплекса». Утверждено приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 23.08.2016 г № 349.

1.39 Руководство по безопасности «Методические рекомендации по разработке обоснования безопасности опасных производственных объектов нефтегазового комплекса». Утверждено Приказом Ростехнадзора от 30.09.2015 г. № 387.

1.40 Руководство по безопасности «Методы обоснования взрывоустойчивости зданий и сооружений при взрыве топливно-воздушных смесей на опасных

производственных объектах» (утверждено приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 28.11.2022 № 413).

1.41 Руководство по безопасности «Методика оценки риска аварий на опасных производственных объектах нефтегазоперерабатывающей, нефте- и газохимической промышленности» (утверждено приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 28.11.2022 № 414).

1.42 «Ставки платы за негативное воздействие на окружающую среду» (утверждены постановлением Правительства РФ от 13.09.2016 № 913).

1.43 Постановление Правительства РФ от 01.03.2022 года № 274 «О применении в 2022 году ставок платы за негативное воздействие на окружающую среду».

1.44 Постановление Правительства РФ от 29.12.2018 № 1730 «Об утверждении особенностей возмещения вреда, причиненного лесам и находящимся в них природным объектам вследствие нарушения лесного законодательства».

1.45 Постановление Правительства Российской Федерации от 22 мая 2007 г. № 310 «О ставках платы за единицу объема лесных ресурсов и ставках платы за единицу площади лесного участка, находящегося в федеральной собственности».

1.46 СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания.

1.47 Руководство по безопасности «Методика оценки риска аварий на опасных производственных объектах магистрального трубопроводного транспорта газа» (утверждено приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 26.12.2018 № 647).

1.48 ТУ 38.101524-2015 «Широкая фракция легких углеводородов. Технические условия».

1.49 РПБ 97152834-19-70037 «Конденсат газовый стабильный».

2 Перечень документации организации, используемой при разработке расчетно-пояснительной записки

2.1 Декларация промышленной безопасности ОПО «Площадка переработки нефтяного газа Нижневартовского ГПЗ» АО «СибурТюменьГаз» рег.№ А58-40551-0068 (заключение ЭПБ от 05.12.2022 №Д.7-100.12.22);

2.2 Декларация промышленной безопасности ОПО «Площадка товарного парка №1 Нижневартовского ГПЗ» АО «СибурТюменьГаз» рег.№ А58-40551-0066 (заключение ЭПБ от 05.12.2022 №Д.7-101.12.22);

2.3 Обоснование безопасности опасного производственного объекта «Товарный парк №2. Реконструкция. Нижневартовский ГПЗ» АО «СибурТюменьГаз», СТГ.10569-867-10_22-ОБОПО.

2.4 Технологический регламент по эксплуатации товарного парка № 2 «Нижневартовский ГПЗ» – филиал АО «СибурТюменьГаз», 2018 г.

3 Перечень используемой литературы

3.1 Корольченко. Д.А. Корольченко. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения. Справочник: в 2-х ч. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Асс. «Пожнаука». 2004. – Ч. I. – 713 с.

3.2 Корольченко. Д.А. Корольченко. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения. Справочник: в 2-х ч. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Ассоциация «Пожнаука». 2004. – Ч. II. – 774 с.

3.3 А. Н. Баратов, А. Я. Корольченко, Г. Н. Кравчук. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: Справ. изд.: в 2 книгах – М., Химия, 1990.

3.4 Вредные вещества в промышленности. Справочник для химиков. инженеров

и врачей. Изд. 7-е. пер. и доп. В трех томах. Том I. Органические вещества. Под ред. Н.В. Лазарева и Э.Н. Левиной. – Л.: «Химия». 1976. – 592 с.

3.5 Вредные вещества в промышленности. Справочник для химиков, инженеров и врачей. Изд. 7-е. пер. и доп. В трех томах. Том II. Органические вещества. Под ред. Н.В. Лазарева и Э.Н. Левиной. – Л.: «Химия». 1976. – 624 с.

3.6 Вредные вещества в промышленности. Справочник для химиков, инженеров и врачей. Изд. 7-е. пер. и доп. В трех томах. Том III. Неорганические и элементоорганические соединения. Под ред. Н.В. Лазарева и И.Д. Гадаскиной. – Л.: «Химия». 1977. – 608 с.

3.7 Воробьева Г.Я. Коррозионная стойкость материалов в агрессивных средах химических производств. Изд. 2-е пер. и доп. М.: «Химия». 1975. – 816 с.

3.8 Бесчастнов М.В. Промышленные взрывы. Оценка и предупреждение. – М.: «Химия». 1991. – 432с.

3.9 Химическая энциклопедия: в 5 т.: т. 1: А – Дарзана / Ред. кол.: Кнунянц И. Л. (гл. ред.) и др. – М.: «Советская энциклопедия». 1988. – 623 с.

3.10 Иванов Е.Н. Пожарная защита открытых технологических установок. – М.: Химия. 1975.

3.11 Абросимов А.А. Экология переработки углеводородных систем. – М.: Химия, 2002.

3.12 Иванов Е.Н. Пожарная защита открытых технологических установок. – М.: Химия, 1975.

3.13 E.R. Bruyn, Exxon Mobil Refinery доклад "Asset Management & Safety Instrumented Systems" на семинаре "The Role of Instrumentation in Plant Asset Management International Instrument User's Association, 2003.

3.14 Бесчастнов М.В. Взрывобезопасность и противоаварийная защита химико-технологических процессов. – М.: Химия. 1983. – 472 с.

3.15 Шебеко Ю.Н. Болодьян И.А. Гордиенко Д.М. и др. Оценка материального риска пожаров и взрывов для наружных технологических установок. // Пожаровзрывобезопасность. 1999. № 5.- с. 54-62.

3.16 Белов П.Г. Системный анализ и моделирование опасных процессов в техносфере: Учеб. пособие для студентов высших учебных заведений. – М.: Издательский центр «Академия», 2003. – 512 с.

3.17 Защита объектов народного хозяйства от оружия массового поражения: Справочник / Г.П. Демиденко, Е.П. Кузьменко, П.П. Орлов; Под ред. Г.П. Демиденко. Киев: Высш. шк., 1989. 287 с.

3.18 Справочник химика. Второе издание переработанное и дополненное. Том 3. Химическое равновесие и кинетика. Свойства растворов. Электродные процессы. – под редакцией Никольского Б.П. -Л., Химия, 1965.

3.19 В. Б. Коган, В. М. Фридман, В. В. Кафаров. Равновесие между жидкостью и паром. Том.1. Издательство «Наука» Москва-Ленинград, 1996.

3.20 Краткая химическая энциклопедия / под ред. И.Л. Кнунянца – М.: Издательство «Советская энциклопедия», 1990 г., в 5 книгах.

3.21 Пособие по обследованию и проектированию зданий и сооружений, подверженных воздействию взрывных нагрузок. АО «ЦНИИПромзданий». Москва, 2000 г.

3.22 Официальный сайт Росреестра [<https://rosreestr.ru>].

- 3.23 Российский статистический ежегодник. 2020: Стат. сб./
- 3.24 Росстат- М. 2020 – 700 с.
- 3.25 Российский статистический ежегодник. 2021: Стат. сб./
- 3.26 Росстат- М. 2021 – 692 с.
- 3.27 Демографический ежегодник России. 2019: Стат. сб./ Росстат. – М.. 2019. – 252 с.
- 3.28 Демографический ежегодник России. 2021: Стат. сб./ Росстат. – М.. 2021. – 256 с.
- 3.29 Официальный сайт Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору России (<http://www.gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons/>).
- 3.30 Годовой отчет «О деятельности федеральной службы по экологическому технологическому и атомному надзору» за 2013 год (http://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports/).
- 3.31 Годовой отчет «О деятельности федеральной службы по экологическому технологическому и атомному надзору» за 2014 год (http://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports/).
- 3.32 Годовой отчет «О деятельности федеральной службы по экологическому технологическому и атомному надзору» за 2014 год (http://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports/).
- 3.33 Годовой отчет «О деятельности федеральной службы по экологическому технологическому и атомному надзору» за 2015 год (http://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports/).
- 3.34 Годовой отчет «О деятельности федеральной службы по экологическому технологическому и атомному надзору» за 2016 год (http://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports/).
- 3.35 Годовой отчет «О деятельности федеральной службы по экологическому технологическому и атомному надзору» за 2017 год (http://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports/).
- 3.36 Годовой отчет «О деятельности федеральной службы по экологическому технологическому и атомному надзору» за 2018 год (http://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports/).
- 3.37 Годовой отчет «О деятельности федеральной службы по экологическому технологическому и атомному надзору» за 2019 год (http://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports/).
- 3.38 Годовой отчет «О деятельности федеральной службы по экологическому технологическому и атомному надзору» за 2020 год (http://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports/).
- 3.39 Официальный сайт Пенсионного фонда Российской Федерации (<https://pfr.gov.ru/>).
- 3.40 Кручина И.А.. Лисанов М.В.. Печеркин А.С.. Сидоров В.И. К вопросу об оценке стоимости человеческой жизни. // Проблемы безопасности и чрезвычайные ситуации. 2003. № 4. – с.72-75.
- 3.41 Пособие по определению расчетных величин пожарного риска для производственных объектов. М.: ВНИИПО, 2012, 242 с.

- 3.42 Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения.: Справочник / Баратов А.К., Корольченко А.Я., Кравчук Г.Н. – М.: Химия, 1990. -384 с.
- 3.43 «Вредные вещества в промышленности». Справочник для химиков, инженеров и врачей под ред. Н. В. Лазарева, Э. Н. Левиной, в 3-х томах, 7-е изд., перераб. и доп. – Л.: Химия, 1976. – Т. 1. – 592 с.
- 3.44 «Справочник химика» под ред. Б. П. Никольского, В. А. Рабиновича, М. Е. Позина, в 6-ти томах, 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Химия, 1968. – Дополнительный том. – 508 с.
- 3.45 Свойства вредных и опасных веществ, обращающихся в нефтегазовом комплексе. Справочник. – Воронеж: ДООО «Газпроектинжиниринг», 2005.
- 3.46 «Коррозионная стойкость материалов в агрессивных средах химических производств», Г. Л. Воробьева, изд. «Химия», М. 1967 г.
- 3.47 E. M. Lenoir, J. A. Davenport. A Survey of Vapor Cloud Explosions: Second Update. // Process Safety Progress, Volume 12, Issue 1, January 1993, pages 12-33.
- 3.48 Lees' Loss Prevention in the Process Industries: Hazard Identification, Assessment and Control, 4th Edition, Volume 3, Butterworth-Heinemann, 2012.
- 3.49 T. Abbasi, S.A. Abbasi. The Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion (BLEVE): Mechanism, Consequence Assessment, Management. // Journal of Hazardous Materials, Volume 141, Issue 3, March 2007, pages 489-519.
- 3.50 Guidelines for Evaluating the Characteristics of Vapor Cloud Explosions, Flash Fires, and BLEVEs. American Institute of Chemical Engineers, Center for Chemical Process Safety, New York, 1994.
- 3.51 Маршалл В. Основные опасности химических производств. - М.: «Мир», 1989. - 672 с.

