



**МЕТАФРАКС**  
ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ  
ЦЕНТР

Общество с ограниченной ответственностью  
«Инженерно-технологический центр «Метафракс»

Свидетельство № СРО-П-112-11012010 от 10 августа 2018 г.

Заказчик – ПАО «Метафракс»

Установка формалина-3 (КФ-3)

Проектная документация

Раздел 12.4.Анализ риска аварий

МФ10-05/19-П-АРА

Том 1

2019



**МЕТАФРАКС**  
ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ  
ЦЕНТР

Общество с ограниченной ответственностью  
«Инженерно-технологический центр «Метафракс»

Свидетельство № СРО-П-112-11012010 от 10 августа 2018 г.

Заказчик – ПАО «Метафракс»

Установка формалина-3 (КФ-3)

Проектная документация

Раздел 12.4. Анализ риска аварий

МФ10-05/19-П-АРА

Том 1

Заместитель генерального  
директора – директор по  
проектированию

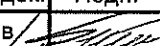
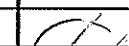


Р.Ф. Баязитов

Главный инженер проекта

Е.Ю. Власова

## СОДЕРЖАНИЕ ТОМА

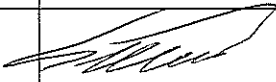
Обозначение	Наименование	Примечание
МФ10-05/19-П-АРА-С	Содержание тома	2
МФ10-05/19-П-АРА-СИ	Состав исполнителей и ответственных лиц	3
МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ	Текстовая часть	4

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	МФ10-05/19-П-АРА-С						Стадия	Лист	Листов
			Изм.	Кол.уч.	Лист	Недок.	Подп.	Дата			
			Разраб.		Хлуденев		12.12.19	П	1	1	
			Н.контр.		Поздеев		12.12.19				
			ГИП		Власова		12.12.19	 <b>МЕТАФРАКС</b> ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ЦЕНТР			

Содержание тома


**МЕТАФРАКС**  
ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ  
ЦЕНТР


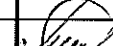


## СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ И ОТВЕТСТВЕННЫХ ЛИЦ

Список исполнителей	ФИО	Подпись
Специалист	С.А. Хлуденев	

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	МФ10-05/19-П-АРА-СИ						Стадия	Лист	Листов
			Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата			
			Разраб.		Хлуденев		12.12.19	Список исполнителей и ответственных лиц	П	1	1
			Н.контр.		Поздеев		12.12.19		 <b>МЕТАФРАКС</b> ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ЦЕНТР		
			ГИП		Власова		12.12.19				

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ОГЛАВЛЕНИЕ.....	1
1 СВЕДЕНИЯ О ТЕХНОЛОГИИ.....	2
1.1 Сведения об опасных веществах.....	2
1.2 Данные о технологии и оборудовании.....	11
1.2.1 Общее описание технологии.....	11
1.2.2 План размещения основного технологического оборудования, в котором обращаются опасные вещества.....	27
1.2.3 Перечень основного технологического оборудования, в котором обращаются опасные вещества.....	32
1.2.4 Данные о распределении опасных веществ по оборудованию.....	37
2 АНАЛИЗ РИСКА.....	38
2.1 Анализ известных аварий.....	38
2.1.1 Перечень аварий и обобщенные данные об инцидентах, имевших место на рассматриваемом объекте.....	38
2.1.2 Перечень наиболее опасных по последствиям аварий, имевших место на других аналогичных объектах, или аварий, связанных с обращающимися опасными веществами.....	38
2.1.3 Анализ основных причин произошедших аварий.....	45
2.2 Анализ условий возникновения и развития аварий.....	46
2.2.1 Определение возможных причин возникновения аварий и факторов, способствующих возникновению и развитию аварий.....	46
2.2.2 Определение сценариев аварий с участием опасных веществ.....	49
2.2.3 Обоснование применяемых физико-математических моделей и методов расчета.....	53
2.2.4 Оценка количества опасных веществ, участвующих в аварии.....	68
2.2.5 Расчет вероятных зон действия поражающих факторов.....	73
2.3. Оценка риска аварий.....	82
2.3.1 Оценка вероятности аварий.....	82
2.3.2 Оценка риска взрыва ТВС.....	129
2.3.3 Оценка пожарного риска.....	139
2.3.4 Оценка риска токсического поражения.....	143
3 ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ.....	145
3.1 Основные опасности технологического объекта и показатели риска аварий.....	145
3.2 Перечень наиболее значимых факторов, влияющих на показатели риска.....	145
3.3 Предложения по внедрению мер, направленных на уменьшение риска аварий.....	145
4 СИТУАЦИОННЫЕ ПЛАНЫ.....	147
5 СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	150

Взаим. инв. №	Подп. и дата							МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ		
		Изм.	Коп.уч.	Лист	№док	Подп.	Дата			
Инв. № подл.		Разраб.		Хлуденев		25.12.19	Текстовая часть	Стадия	Лист	Листов
								П	1	152
		Н.контр.	Поздеев		25.12.19	 <b>МЕТАФРАКС</b> ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ЦЕНТР				
	ГИП	Власова		25.12.19						

## 1 СВЕДЕНИЯ О ТЕХНОЛОГИИ

## 1.1 Сведения об опасных веществах

На проектируемом объекте в технологическом процессе обращаются следующие опасные вещества: формальдегид, формалин, метанол, водород. Характеристики перечисленных опасных веществ приведены в таблицах 1÷4.

Таблица 1 – Характеристика формальдегида

№ п/п	Наименование параметра	Параметр	Источник информации
1	2	3	4
1.	<i>Название вещества</i>		
1.1.	Торговое	Формальдегид, альдегид муравьиный	Химический энциклопедический словарь. М.1983
1.2.	Химическое		
2.	<i>Формула</i>	H <sub>2</sub> CO	Химический энциклопедический словарь. М.1983 «Формальдегид» С.К. Огородников Л.Химия, 1984
2.1	Эмпирическая	$\begin{array}{c} \text{H-C} = \text{O} \\   \\ \text{H} \end{array}$	
2.2	Структурная		
3.	<i>Состав, %</i>		
3.1	Основной продукт	100	«Формальдегид» С.К. Огородников Л.Химия, 1984
3.2	Примеси (с идентификацией)		
4.	<i>Общие данные</i>		
4.1	Молекулярный вес, г/моль	30.03	Справочник химика. Т.2. Изд. Л.Химия, 1964.
4.2	Температура кипения, °С (при давлении 101 кПа)	минус 21	
4.3	Плотность при 20°С, кг/м <sup>3</sup>	0,8153	
5	<i>Данные о взрывопожароопасности</i>	Горючий газ	
5.2	Температура самовоспламенения, °С	430	Пожарная безопасность веществ и материалов...» Под ред. И.В. Рябова, М.Химия, 1970
5.3	Пределы взрываемости, % об.	7-73	
6	<i>Данные о токсической опасности</i>	2 класс опасности	
6.1	ПДК в воздухе рабочей зоны, мг/м <sup>3</sup>	0,5	ГОСТ 1625-89 ГОСТ 12.1.005-88 «Пособие по оценке опасности, связанной с возможными авариями при производстве...» М.1992
6.2	ПДК в атмосферном воздухе, мг/м <sup>3</sup>	0,035	
6.3	Летальная токсодоза LCt <sub>50</sub>	6	
6.4	, мг-мин/л Пороговая токсодоза PCt <sub>50</sub> , мг-мин/л	0,6	
7	<i>Реакционная способность</i>	Сильный восстановитель, гидролизуется, полимеризуется	«Формальдегид» С.К. Огородников Л.Химия, 1984
8	<i>Запах</i>	Резкий	Справочник «Вредные вещества в промышленности» Т.1 хи-

Инд. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	Кол.ч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата

МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ

Лист

2

№ п/п	Наименование параметра	Параметр	Источник информации
1	2	3	4
			мия, 1976
9	<i>Коррозийное воздействие</i>	Оказывает коррозионное воздействие на углеродистую сталь	«Формальдегид» С.К. Огородников Л.Химия, 1984
10	<i>Меры предосторожности</i>	Герметизация оборудования и аппаратов; помещения должны быть снабжены приточно-вытяжной вентиляцией; прямой контакт с формалином должен быть исключен	Справочник «Вредные вещества в промышленности» Т.1 химия, 1976
11	<i>Информация о воздействии на людей</i>	Сильно раздражает слизистые оболочки глаз и дыхательных путей, вызывает заболевание кожи, при попадании внутрь приводит к прекращению поглощения кислорода кровью. В случае аварии возможно воспламенение смесей формальдегида с воздухом с образованием барических и термических нагрузок с последующим их воздействием на людей, оборудование, здания и сооружения.	Справочник «Вредные вещества в промышленности» Т.1 химия, 1976
12	<i>Средства защиты</i>	Фильтрующий промышленный противогаз с фильтром марки ДОТ М 460; очки, резиновые перчатки, защитный костюм, спецобувь.	Справочник «Вредные вещества в промышленности» Т.1 химия, 1976
13	<i>Методы перевода вещества в безвредное состояние</i>	Нейтрализуется щелочным раствором	«Формальдегид» С.К. Огородников Л.Химия, 1984
14	<i>Меры первой помощи пострадавшим от воздействия вещества</i>	При попадании на кожу немедленно обмыть 5% раствором нашатырного спирта или водой, при попадании в глаза обильно промыть водой.	Справочник «Вредные вещества в промышленности» Т.1 химия, 1976

Изм. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	Колуч.	Лист	Недок	Подп.	Дата

МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ

Лист

3

Таблица 2 – Характеристика формалина

№ п/п	Наименование параметра	Параметр	Источник Информации
1	2	3	4
1. 1.1. 1.2.	<i>Название вещества</i> химическое торговое	Формалин, формоль Формалин концентриро- ванный малометаноль- ный	СТО 00203803-003-2010
2. 2.1 2.2	<i>Формула</i> эмпирическая структурная	$H_2CO$ $H - C = O$   H	Химический энциклопеди- ческий словарь. М.1983 «Формальдегид» С.К. Огородников Л.Химия, 1984
3. 3.1 3.2	<i>Состав, %</i> основной продукт примеси (с идентификаци- ей)	Массовая доля фор- мальдегида, % – 55,0±0,5 Массовая доля метано- ла, % – 0,5-1,0 Массовая доля кислот (в пересчете на муравьи- ную кислоту) %, не бо- лее – 0,04	СТО 00203803-003-2010
4. 4.1 4.2 4.3	<i>Общие данные</i> молекулярный вес температура кипения, °С (при давлении 101 кПа) плотность при 20°С, кг/м <sup>3</sup>	30,03 103÷106 1160÷1180	СТО 00203803-003-2010
5 5.1 5.2 5.3	<i>Данные о взрывопожаро- опасности</i> Температура вспышки, °С Температура самовоспла- менения, °С Пределы взрываемости, % об.	Горючая жидкость 80 435 7-73 (по формальдегиду)	«Формальдегид» С.К. Огородников Л.Химия, 1984
6 6.1 6.2 6.3 6.4	<i>Данные о токсической опасности</i> ПДК в воздухе рабочей зоны, мг/м <sup>3</sup> ПДК в атмосферном воз- духе, мг/м <sup>3</sup> Летальная токсодоза LCt <sub>50</sub> , мг·мин/л Пороговая токсодоза RCt <sub>50</sub> , мг·мин/л	2 класс опасности 0,5 (по формальдегиду) 0,035 6 0,6	СТО 00203803-003-2010 ГОСТ 12.1.005-88 «Пособие по оценке опас- ности, связанной с воз- можными авариями при производстве» М.1992
7	<i>Реакционная способность</i>	Сильный восстано- витель, гидролизует- ся, полимери- зуется	«Формальдегид» С.К. Огородников Л.Химия, 1984
8	<i>Запах</i>	Резкий	Справочник «Вредные вещества в промышленности» Т.1 хи- мия, 1976
9	<i>Коррозионное воздей-</i>	Оказывает коррозионное	«Формальдегид» С.К.

Изм. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	Колуч.	Лист	Недок	Подп.	Дата

МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ

Лист

4



№ п/п	Наименование параметра	Параметр	Источник Информации
1	2	3	4
	<i>ствие</i>	воздействие на углеродистую сталь.	Огородников Л.Химия, 1984
10	<i>Меры предосторожности</i>	Герметизация оборудования и аппаратов; помещения должны быть снабжены приточно-вытяжной вентиляцией; прямой контакт с формалином должен быть исключен.	Справочник «Вредные вещества в промышленности» Т.1 химия, 1976
11	<i>Информация о воздействии на людей</i>	Сильно раздражает слизистые оболочки глаз и дыхательных путей, вызывает заболевание кожи, при попадании внутрь – приводит к прекращению поглощения кислорода кровью. В случае аварии возможно воспламенение смесей формальдегида с воздухом с образованием барических и термических нагрузок с последующим их воздействием на людей, оборудование, здания и сооружения.	Справочник «Вредные вещества в промышленности» Т.1 химия, 1976
12	<i>Средства защиты</i>	Фильтрующий промышленный противогаз с фильтром марки ДОТ М 460, очки, резиновые перчатки, защитный костюм, спецобувь.	Справочник «Вредные вещества в промышленности» Т.1 химия, 1976
13	<i>Методы перевода вещества в безвредное состояние</i>	Нейтрализуется щелочным раствором.	«Формальдегид» С.К. Огородников Л.Химия, 1984
14	<i>Меры первой помощи пострадавшим от воздействия вещества</i>	При попадании на кожу немедленно обмыть 5% раствором нашатырного спирта или водой, при попадании в глаза обильно промыть водой.	Справочник «Вредные вещества в промышленности» Т.1 химия, 1976

Изм.	Копуч.	Лист	Недок	Подп.	Дата
Инд. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №			

Таблица 3 – Характеристика метанола

№ п/п	Наименование параметра	Параметр	Источник информации
1	2	3	4
1 1.1 1.2	<i>Название вещества</i> Химическое Торговое	Метиловый спирт, метанол, карбинол, древесный спирт Метанол технический	ГОСТ 2222-95 Марка А
2 2.1 2.2	<i>Формула</i> эмпирическая структурная	CH <sub>4</sub> O CH <sub>3</sub> —OH	«Справочник химика», том 2 под ред. Никольского Б.П
3 3.1 3.2	<i>Состав, (массовая доля %)</i> Основной продукт Примеси (с идентификацией)	99,95 Массовая доля свободных кислот в пересчете на муравьиную кислоту – не более 0,0015 % Массовая доля альдегидов и кетонов в пересчете на ацетон – не более 0.003 % Массовая доля летучих соединений железа в пересчете на железо – не более 0,00001 %	ГОСТ 2222-95 Марка А
4 4.1 4.2 4.3	<i>Общие данные</i> Молекулярный вес, г/моль Температура кипения, °С (при давлении 101 кПа) Плотность при 20°С, кг/м <sup>3</sup>	32,042 64,0-65,5 791-792 (жидкость) 1,1 (пары)	ГОСТ 2222-95 Марка А
5 5.1 5.2 5.3	<i>Данные о взрывопожароопасности</i> Температура вспышки, °С Температура самовоспламенения, °С Пределы взрываемости: объемные, % об.	ЛВЖ 6 440 6,98-35,5	ГОСТ 2222-95 Марка А Информационная карта Потенциально Опасного вещества –метанола. Св. ВГ№ 000037
6 6.1 6.2 6.3 6.4.	<i>Данные о токсической опасности</i> ПДК в воздухе рабочей зоны, мг/м <sup>3</sup> ПДК в атмосферном воздухе, мг/м <sup>3</sup> Летальная токсодоза LCt <sub>50</sub> , мг·мин/л Пороговая токсодоза RCt <sub>50</sub> , мг·мин/л	3 класс опасности 5,0 1,0 мг/м <sup>3</sup> 10,8 (расч.) 108 (расч.)	ГОСТ 2222-95 Марка А Информационная карта Опасного вещества – метанола. Св. ВГ№ 000037 РД 52.04.253-90
7	<i>Реакционная способность</i>	Окисляется, восстанавливается, галогенизируется	«Производство метанола» М.М.Каратаев М.Химия, 1973

Изм. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	Копуч.	Лист	№ док	Подп.	Дата

МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ

Лист

6

№ п/п	Наименование параметра	Параметр	Источник информации
1	2	3	4
8	<i>Запах</i>	Слабый алкогольный	«Производство метанола» М.М.Каратаев М.Химия, 1973
9	<i>Коррозионное воздействие</i>	Чистый метиловый спирт не обладает выраженным коррозионным действием, однако, примеси органических кислот, содержащиеся в неочищенном спирте, взаимодействуют с металлами.	Н.В.Лазарев «Вредные вещества в промышленности», Т.1, Химия, 1976
10	<i>Меры предосторожности</i>	Герметизация оборудования и аппаратов. Помещения должны быть снабжены приточно-вытяжной вентиляцией. Систематический контроль за состоянием воздушной среды	Общие санитарные нормы при работе с метанолом» 4132-86.1986
11	<i>Информация о воздействии на людей</i>	Сильнодействующий яд, вызывающий поражение центральной нервной системы, при приеме внутрь вызывает слепоту и смерть. Смертельная доза – 30 см <sup>3</sup> . Тяжелое отравление со слепотой вызывают 5÷10 см <sup>3</sup> . В случае аварии возможно воспламенение смесей метанола с воздухом с образованием барических и термических нагрузок с последующим их воздействием на людей, оборудование, здания и сооружения.	Н.В.Лазарев «Вредные вещества в промышленности», Т.1, Химия, 1976
12	<i>Средства защиты</i>	Фильтрующий промышленный противогаз с фильтром марки ДОТ М 460. При работе с метиловым спиртом следует использовать спец-одежду и спецобувь.	Н.В.Лазарев «Вредные вещества в промышленности», Т.1, Химия, 1976
13	<i>Методы перевода вещества в безвредное состояние</i>	Собрать в герметично закрывающуюся тару и передать на уничтожение	Н.В.Лазарев «Вредные вещества в промышленности», Т.1, Химия, 1976

Инов. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	Копч.	Лист	Недок	Подп.	Дата

МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ

Лист

7

№ п/п	Наименование параметра	Параметр	Источник информации
1	2	3	4
14	<i>Меры первой помощи пострадавшим от воздействия вещества</i>	При остром отравлении через рот — промывание желудка в течение первых двух часов, внутрь 2-4 л. и внутривенно 1 л. 5% питьевой соды. Под кожу 500 мл 5% раствора глюкозы. Противоядие при отравлении метиловым спиртом — этиловый спирт (вследствие конкурентных отношений между ферментами их окисляющими) 1 л. 5% этилового спирта в 5% растворе глюкозы в воде или физиологическом растворе вводят внутривенно незамедлительно. Затем каждый час вводят этот раствор по 200 мл в течение 72 ч.	Н.В.Лазарев «Вредные вещества в промышленности», Т.1, Химия, 1976

Таблица 4 – Характеристика водорода

№ п/п	Наименование параметра	Параметр	Источник информации
1	2	3	4
1.	<i>Название вещества</i>		
1.1	химическое	водород	Справочник химика. Л., «Химия», 1964 г.
1.2	торговое	водород	
2.	<i>Формула</i>		
2.1	эмпирическая	H <sub>2</sub>	—"
2.2	структурная	H-H	
3.	<i>Состав, (объемная доля, %)</i>		
3.1	основной продукт примеси (с идентификацией)	водорода - не менее 75%	—"
3.2		двуокиси углерода - не более 0.0002% окси углерода - не более 0.0002% кислорода - не более 0.0001% воды - не более 0.0005% углеводородов в пересчете на метан - не более 0,0002%	

Изм.	Коп.	Лист	Недок	Подп.	Дата

МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ

Лист

8

№ п/п	Наименование параметра	Параметр	Источник информации
4. 4.1 4.2 4.3	<i>Общие данные</i> Молекулярный вес Температура кипения (при давлении 101 кПа), °С Плотность при 0°С, кг/м <sup>3</sup> плотность по воздуху	2 -253  0.09 0.0695 кг/м <sup>3</sup>	Химический энциклопедический словарь. М., «Советская энциклопедия». 1983 г. Справочное руководство по химии. А. И. Артеменко. Москва. «Высшая школа». 2002 г.
5 5.1 5.2 5.3	<i>Данные о взрывопожароопасности</i> Температура вспышки, °С Температура самовоспламенения, °С Пределы взрываемости: %об.	Класс взрывопожароопасности IVA-T1 510°С  4.1 – 74.0	Пожаровзрывобезопасность веществ и материалов, и средства их тушения. Справочник. Изд. Второе, переработанное и дополненное. А. Я. Корольченко, Д. А. Корольченко. Москва. 2006 г.
6 6.1 6.2	<i>Класс опасности:</i> ПДК в воздухе рабочей зоны ПДК в атмосферном воздухе	Токсически не опасен	ГН 2.2.5.3532-18. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны
7	<i>Реакционная способность</i>	Чрезвычайно легко воспламеняется, особенно при воздействии тепла и огня. Тушить пожар распыленной водой или порошковым огнетушителем с безопасного расстояния на случай взрыва	Справочник химика. Л., «Химия», 1964 г.
8	<i>Запах</i>	нет	—"
9	<i>Коррозийное воздействие</i>	При нормальных условиях - нет	Воробьева Г.Л. Коррозионная стойкость материалов, М.: Химия, 1975. Сухотин А.М. «Химическое сопротивление материалов», Л. «Химия», 1993г.
10	<i>Меры предосторожности</i>	Герметизация оборудования, эффективная вентиляция, запрещение применения открытого огня и искрообразования. Электрооборудование во взрывобезопасном исполнении, заземление и молниезащита	Справочник вредных веществ в промышленности, под ред. Н. В. Лазарева. В трех томах. Л. «Химия». 1977 г.
11	<i>Информация о воздействии на людей</i>	Физиологический и нервный газ, лишь при очень высоких концен-	—"

Изм.	Колуч.	Лист	№ док	Подп.	Дата
Изм. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №			

МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ

Лист

9

№ п/п	Наименование параметра	Параметр	Источник информации
		трациях вызывает ухудшение самочувствия вследствие уменьшения нормального давления кислорода. Вызывает тошноту, головокружение, боли в желудке, горле, охриплость, затруднение дыхания с кашлем и болью в груди, отек лица и век, чесночный запах изо рта, чувство онемения пальцев ног.	
12	<i>Средства защиты</i>	Шланговые противогазы ПШ-1, ПШ-2.	—"
13	<i>Методы перевода вещества в безвредное состояние</i>	Проведение мероприятий направленных на уменьшение концентрации вещества в воздухе, задействовать аварийную и приточно-вытяжную вентиляцию производственных помещений.	—"
14	<i>Меры первой помощи пострадавшим от воздействия вещества</i>	Свежий воздух, тепло, покой	—"

Изм. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	Копуч.	Лист	№ док	Подп.	Дата

МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ

Лист

10

## 1.2 Данные о технологии и оборудовании

### 1.2.1 Общее описание технологии

Используемая технология непрерывного процесса получения формалина концентрированного малометанольного предусматривает следующие стадии:

- очистка и подача технологического воздуха;
- получение спирто-воздушной смеси;
- получение формальдегида каталитическим окислением метанола кислородом воздуха и дегидрогенизацией метанола с применением катализатора из гранулированного серебра;
- получение формалина абсорбцией формальдегида деминерализованной водой;
- генерация пара;
- дожиг хвостового газа в термоокислителе (инсинераторе поз. Z-995);
- замкнутая водооборотная система.

Реакционные процессы осуществляются в парогазовой фазе при массовой доле метанола в смеси "метанол-воздух" выше верхнего предела его воспламенения.

Давления технологических процессов близки к атмосферному.

Ниже приводится описание технологического процесса по стадиям для установки получения формалина концентрированного малометанольного. Принципиальная технологическая схема установки формалина приведена на рисунке 1. Принципиальная технологическая схема дожига хвостовых газов приведена на рисунке 2.

#### 1.2.1.1 Стадия очистки и подачи технологического воздуха

Для получения качественного продукта на установке концентрированного формалина, а также для исключения износа поршней компрессоров, загрязнения и забивания насадочной секции испарителя поз. V-4931, уменьшения углеродистых отложений на катализаторе и, соответственно, увеличения времени пробега катализатора, технологический воздух требует тщательной очистки от летучих примесей в воздухе (пыль, пыльца растений, пух и т.д.).

Для этого перед поступлением на всас компрессоров воздух проходит воздушный фильтр поз. F-4911. Воздушный фильтр представляет собой двухступенчатый каскадный фильтр. Степень загрязнения ступеней фильтра поз. F-4911 определяется датчиками перепада давления PDI\_101/A,B. Измерение температуры и давления засасываемого воздуха осуществляется приборами TI\_102 и PI\_103 соответственно.

Воздушный фильтр поз. F-4911 предназначен для тщательной очистки воздуха от летучих примесей. При отсутствии фильтра или его повреждении (разрыве), пыль, проходя вместе с воздухом через компрессор, будет налипать на лопасти ротора, что приведет к абразивному износу, то есть к увеличению зазоров между ротором и корпусом компрессора и, как следствие, снижение КПД компрессора.

После фильтра поз. F-4911 воздух всасывается двумя параллельно соединенными ротационными компрессорами технологического воздуха поз. B-4911 и поз. B-4912.

Компрессоры технологического воздуха поз. B-4911/B-4912 – это трехлопастные воздуходувки ротационного действия. Они предназначены для подачи атмосферного воздуха в требуемом объеме в технологический процесс. От количества подаваемого технологического воздуха зависит объем получаемого продукта.

Перепад давления на воздуходувках контролируется датчиками перепада давлений PDI\_154 и PDI\_155.

Инд. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №							МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ	Лист
										11
Изм.	Копуч.	Лист	Недок	Подп.	Дата					

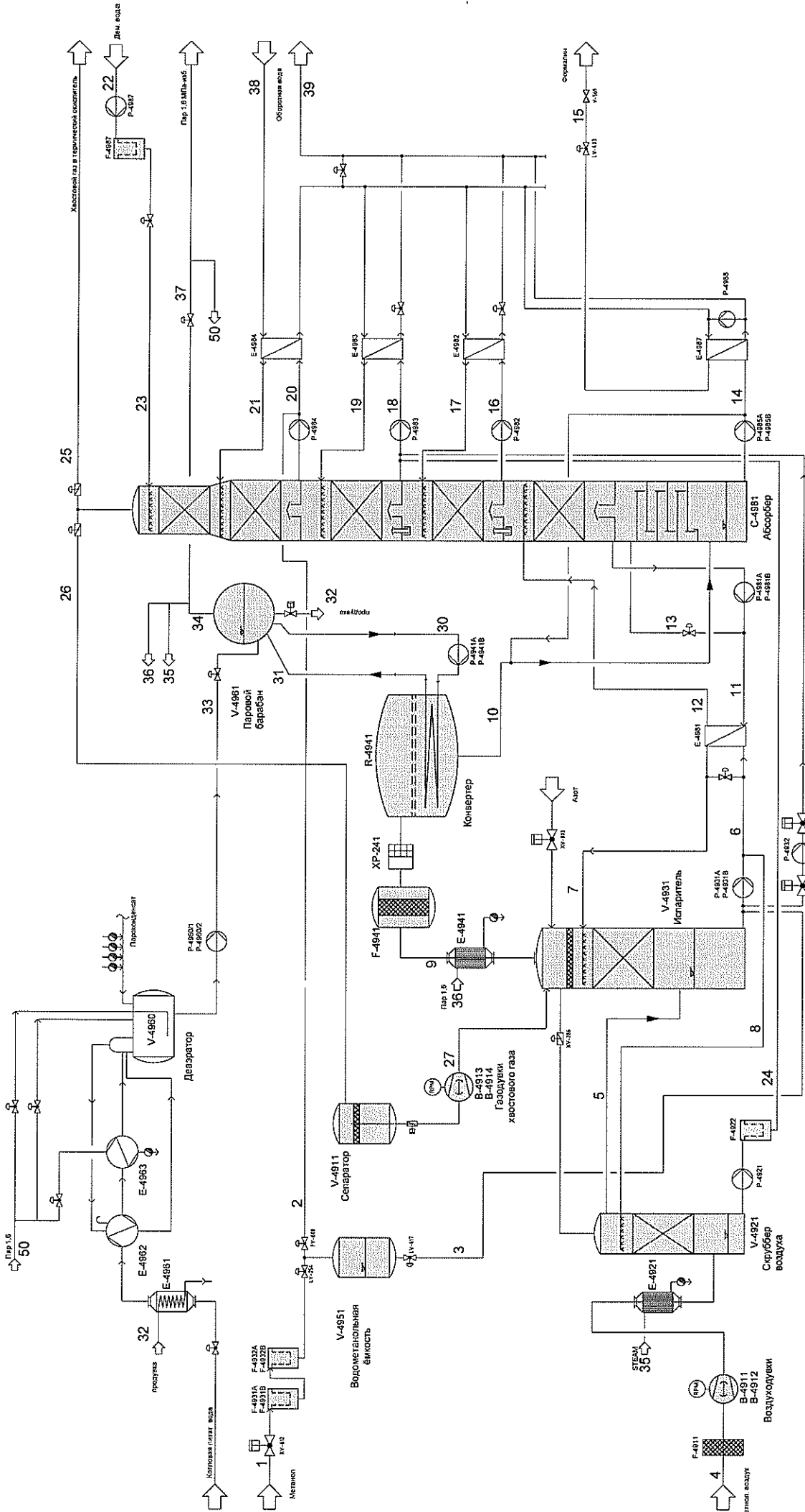


Рисунок 1 – Принципиальная технологическая схема установки формалина



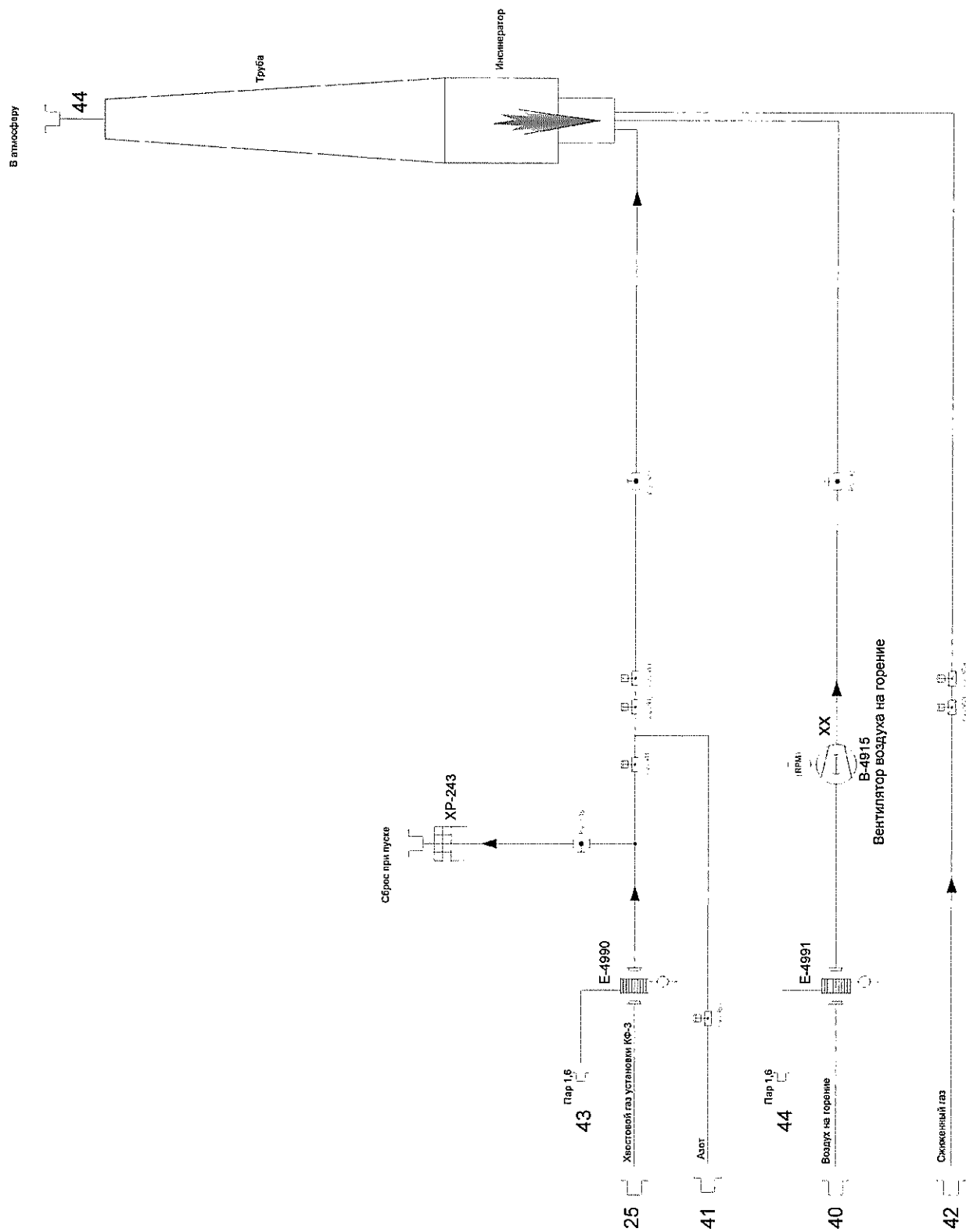


Рисунок 2 – Принципиальная технологическая схема дожига хвостовых газов

Компрессор и электродвигатель установлены на цельной несущей раме и соединены муфтой. К этой же раме прикреплен шумоглушитель нагнетания (поз. ХР-911В, поз. ХР-912В) и шумоглушитель всаса (поз. ХР-911А, поз. ХР-912А).

На нагнетающем трубопроводе каждого компрессора, после шумоглушителя, установлен предохранительный клапан PSV\_101 на компрессоре поз. В-4911 и PSV 102 на компрессоре поз. В-4912 со сбросом в атмосферу.

Технологический воздух после компрессоров, проходя через подогреватель воздуха поз. Е-4921 нагревается паром до температуры  $\sim 100\div 110^\circ\text{C}$  с целью обеспечения достаточной энергии для удаления метанола из водо-метанольной смеси и поступает в нижнюю часть скруббера воздуха поз. V-4921.

Подача пара в теплообменник поз. Е-4921 для подогрева технологического воздуха регулируется прибором TIC\_205, клапан TV\_205 которого установлен на линии подачи пара в теплообменник. Конденсат после змеевика направляется в сборный коллектор.

Скруббер воздуха поз. V-4921 представляет собой аппарат колонного типа с насадкой, где происходит влажная очистка воздуха противоточным орошением. На орошение подаётся водо-метанольная смесь из контура циркуляции испарителя поз. V-4931. Смесь содержит  $\sim 32\text{-}36\%$  метанола,  $\sim 5\text{-}8\%$  формальдегида и  $56\text{-}63\%$  воды.

Водо-метанольная смесь поступает на распределительное устройство в верхней части скруббера воздуха поз. V-4921, где происходит равномерное распределение смеси по всей площади насадочной секции. Расход циркуляции скруббера воздуха поз. V-4921 задаётся в процентном соотношении  $8\div 12\%$  и регулируется контуром FIC\_207 с коррекцией по расходу смеси в испаритель (FI\_617) и управляется клапаном FV\_207 на линии подачи орошения в скруббер воздуха поз. V-4921.

Водо-метанольная смесь, проходя через насадочную секцию, в противоток горячему технологическому воздуху, стекает в куб скруббера. Далее загрязнённая смесь нелетучими компонентами (пыль и т.п.) с содержанием небольшого количества метанола до  $1\%$  и формальдегида  $\sim 8\text{-}10\%$ , откачивается насосом поз. Р-4921 через мешочный фильтр поз. F-4922 в третью секцию циркуляции абсорбера поз. С-4981, обходя испаритель поз. V-4931 и конвертер поз. R-4941. С нагнетания насоса поз. Р-4921 предусмотрена линия минимального расхода с возвратом смеси в скруббер через дроссельную шайбу RO\_221.

Расход водо-метанольной смеси, выходящей из скруббера, контролируется расходомером FI\_213, давление перед фильтром – датчиком давления PI\_212.

Так же в куб скруббера воздуха врезан змеевик с возможностью подачи пара, предназначенного для разогрева водо-метанольной смеси при пуске установки. Конденсат после змеевика направляется в сборный коллектор.

На скруббере воздуха поз. V-4921 установлен предохранительный клапан PSV\_200 со сбросом в атмосферу. Давление в верхней части скруббера контролируется преобразователем давления PI\_206, ниже насадочной секции – PI\_204.

Уровень в скруббере поддерживается клапаном LV\_203 на линии откачки водо-метанольной смеси в третью секцию абсорбера поз.С-4981 по сигналу от регулятора LIC\_203. Также уровень в скруббере контролируется уровнемерами LAM\_202 и LAL\_202 с сигнализацией по максимальному и минимальному значениям.

Технологический воздух, пройдя влажную очистку в скруббере воздуха поз. V-4921, делится на два потока. Основной поток технологического воздуха через регулируемый клапан CV\_217 поступает в низ испарителя поз. V-4931 для насыщения метанолом, а другой поток воздуха, минуя испаритель, через клапан прямого воздуха TV\_266 в трубопровод спирто-воздушной смеси после испарителя поз. V-4931.

Клапан прямого воздуха изменяет концентрацию спирто-воздушной среды (соотношение метанол / воздух), тем самым регулируя температуру в конвертере поз. R-4941.

Инд. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	Коп.ч.	Лист	№ док	Подп.	Дата

МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ

Лист

14

### 1.2.1.2 Стадия получения спиртово-воздушной смеси

Начальной стадией получения спирто-воздушной смеси является приготовление водо-метанольной смеси.

Метанол с температурой окружающей среды (ТТ\_602) и давлением  $5 \pm 5,5 \text{ кгс/см}^2$  (изб.) (PIT\_601) из корпуса 1507 (производство метанола) по трубопроводу Ду 80 подаётся на технологическую установку концентрированного формалина.

Для предотвращения отравления катализатора метанол перед приготовлением водо-метанольной смеси проходит двухступенчатую очистку в мешочных фильтрах поз. F-4931/A,B (грубой очистки) и поз. F-4932/A,B (тонкой очистки). Давление после фильтров контролируется прибором PI\_606.

После очистки метанол смешивается в трубопроводе с водной смесью 4 секции циркуляции абсорбера поз. С-4981, которая поступает с нагнетания насоса поз. Р-4984.

Регулирование концентрации водо-метанольной смеси осуществляется контроллером системы DeltaV. Контроллер считывает показание массового расходомера FI\_607, расположенного на линии подачи метанола, рассчитывает нужное соотношение и выдает сигнал регулятору расхода FIC\_608 на управление клапаном FV\_608, расположенным на линии подачи водной смеси, тем самым, регулируя концентрацию водо-метанольной смеси.

После смешения водо-метанольная смесь с концентрацией метанола 60-69% поступает в ёмкость поз. V-4951. Уровень в емкости регулируется прибором LIC\_616, клапан LV\_254 которого установлен на линии подачи метанола в емкость.

Ёмкость водо-метанольной смеси поз. V-4951 играет роль буферной (промежуточной) ёмкости. Она предназначена для сглаживания концентрации смеси, поступающей в испаритель поз. V-4931, при изменении концентрации. Без ёмкости поз. V-4951 в момент изменения концентрации в меньшую сторону, происходил бы резкий рост температуры в конвертере поз. R-4941 из-за уменьшения концентрации метанола и увеличения воздуха в спирто-воздушной смеси, что привело бы к аварийной остановке компрессоров технологического воздуха поз. В-4911/В-4912 по максимальному пределу температуры в конвертере. Так же ёмкость создаёт запас водо-метанольной смеси, чтобы не произошло аварийной остановки, при кратковременном прекращении подачи метанола. Без подачи метанола установка может работать от 10 до 15 минут в зависимости от нагрузки установки.

Из ёмкости поз. V-4951 водо-метанольная смесь поступает в систему спирто-испарения.

В систему спирто-испарения входит:

- испаритель поз. V-4931;
- два параллельно включенных насоса для циркуляции испарителя, поз. Р-4931/A,B;
- теплообменник поз. E-4981;
- байпас теплообменника поз. E-4981 с регулирующим клапаном TV\_279.

Испаритель поз. V-4931 представляет собой насадочную колонну. В контур циркуляции испарителя входит насос циркуляции поз. Р-4931A/4931B и пластинчатый теплообменник поз. E-4981, в котором происходит передача тепловой энергии от циркуляции первой секции абсорбера поз. С-4981 к циркуляции испарителя.

Водо-метанольная смесь из емкости поз. V-4951 подается на всас насосов циркуляции испарителя поз. Р-4931/A,B. Давление смеси до насосов контролируется датчиками давления PIT\_268/PIT\_269, после – PI\_267/PI\_270.

После насоса поз. Р-4931/A,B водо-метанольная смесь делится на два потока. Один поток проходит через теплообменник поз. E-4981, другой поток проходит через байпас теплообменника. Пройдя через теплообменник и байпас теплообменника, потоки объединяются в один и поступают в распределительное устройство испарителя. Температура смеси, поступающей на орошение, контролируется датчиком температуры TI\_258.

Изм.	Коп.ч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата
Изм.	Коп.ч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата

МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ

Теплообменник поз. E-4981 пластинчатого типа, в котором водо-метанольная смесь нагревается до 80°C. Температура до теплообменника контролируется преобразователем температуры TI\_264, после теплообменника контролируется TI\_260.

Байпас теплообменника поз. E-4981, на котором установлен регулирующий клапан TV\_279, предназначен для поддержания температуры водо-метанольной смеси перед входом в испаритель в нужном технологическом режиме. Клапан TV\_279 управляется контроллером температуры TC\_279. Положение открытия регулирующего клапана TV\_279 зависит от процента открытия клапана прямого воздуха TV\_266 по сигналу от регулятора TC\_266, который в свою очередь изменяет положение открытия от температуры в конвертерах поз. R-4941 (TI\_300).

Открытие клапана прямого воздуха TV\_266 в диапазоне 60% является самым оптимальным для безопасной работы установки. При быстром росте температуры в конвертере поз. R-4941 клапан прямого воздуха TV\_266 прикроется в автоматическом режиме, что понизит температуру в конвертерах и не даст остановиться установке в аварийном режиме. При снижении температуры клапан прямого воздуха TV\_266 начнёт открываться и не даст снизиться температуре в конвертерах ниже технологического режима.

Водо-метанольная смесь через распределительное устройство подается в верхнюю часть испарителя. Технологический воздух из скруббера воздуха поз. V-4921 поступает в нижнюю часть испарителя. Двигаясь противотоком через насадочную секцию водо-метанольная смесь и воздух образуют спирто-воздушную смесь.

Насадочная секция предназначена для увеличения площади взаимодействия водо-метанольной смеси с технологическим воздухом. С увеличением расхода технологического воздуха, происходит увеличение количества спирто-воздушной смеси, и соответственно увеличение выработки конечного продукта.

Контроль температуры и давления спирто-воздушной смеси после насадочной секции измеряется приборами TI\_252 и PI\_255, в верхней части испарителя – TI\_256 и PI\_257. Давление в испарителе измеряется преобразователем давления PI\_257.

Обедненная водо-метанольная смесь стекает в куб испарителя с температурой 62 °C (TI\_250). Уровень в кубе испарителя поз. V-4931 регулируется прибором LIC\_254, клапан LV\_617 которого установлен на линии подпитки орошения. Также уровень в испарителе контролируется уровнемерами LAN\_253 и LAL\_253 с сигнализацией по максимальному и минимальному значениям.

Пуск установки в эксплуатацию требует дополнительной тепловой энергии для нагрева водо-метанольной смеси до заданной температуры (условие безопасного розжига катализатора). Для достижения требуемой температуры водо-метанольной смеси в змеевик, который установлен в кубе испарителя, подается пар. Подача пара регулируется прибором TC\_251, клапан TV\_251 которого расположен на линии подачи пара в змеевик. Конденсат после змеевика направляется в сборный коллектор.

После испарителя спирто-воздушная смесь с температурой 69÷70°C смешивается с технологическим воздухом, который поступает от воздушного скруббера поз. V-4921 через клапан прямого воздуха TV\_266 и с температурой 62÷70°C (TI\_261) поступает перегреватель поз. E-4941.

**1.2.1.3 Стадия получения формальдегида каталитическим окислением метанола кислородом воздуха и дегидрогенизацией метанола с применением катализатора из гранулированного серебра**

Для предотвращения конденсации паров метанола и воды, спирто-воздушная смесь поступает в перегреватель поз. E-4941, где нагревается до температуры 95°C, нагрев осуществляется паром. Подача пара в теплообменник поз. E-4941 управляется контуром регулирования TC\_315, в который входит преобразователь температуры TT\_315 (температура спирто-воздушной смеси на выходе из теплообменника) и регулирующий клапан TV\_315 (подача пара в теплообменник).

Конденсат после змеевика направляется в сборный коллектор.

Взам. инв. №		Подп. и дата		Изм. № подл.		Изм.	Копуч.	Лист	№ док	Подп.	Дата	МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ	Лист
					16								

Спирто-воздушная смесь после перегревателя поз. E-4921, пройдя фильтр поз. F-4941 и огнепреградитель поз. XP-241, поступает в конвертер поз. R-4941. Перепад давления на фильтре контролируется прибором PDI\_314.

Огнепреградитель поз. XP-241 предназначен для защиты от проскока пламени и монтируется в трубопроводах для защиты взрывоопасных установок от проникновения дефлаграционного пламени, которое может образоваться в трубопроводе, распространяясь от источника воспламенения. Корпус в нижней и верхней части содержит патрубки. Эти патрубки служат для слива конденсата (нижнее расположение) и для монтажа температурных датчиков (верхнее расположение).

Любое воспламенение в зоне огнепреградителя будет обнаружено температурными датчиками TI\_329, TI\_330, стоящими перед огнепреградителем и после. При достижении максимального значения (200°C) по сигналу от датчика температуры TI\_330 система дает сигнал на аварийную остановку компрессоров свежего воздуха поз. B-4911/B-4912, а так же сигнал на открытие отсекателя XV\_804, установленного на линии подачи азота для дегазации конвертера поз. R-4941.

На нижней части огнепреградителя установлен клапан XV\_325, который открывается периодически в автоматическом режиме для слива конденсата. Конденсат сливается в куб нижней секции абсорбера поз. C-4981. На трубопроводах слива конденсата между клапаном XV\_325 и абсорбером установлен огнепреградитель поз. XP-242 для предотвращения проскока пламени во время слива конденсата.

Подача газа в конвертер поз. R-4941 осуществляется через раструб, который врезан с боку сосуда, в обечайку. Температура газа в раструбе измеряется приборами TI\_341, TI\_342, TI\_343, TI\_344. В раструбе установлены два запальных устройства для воспламенения спирто-воздушной смеси в момент пуска установки. На раструбе установлена разрывная мембрана поз. PSE-351 на случай возникновения взрывоопасной концентрации в конвертере. Вместе с мембраной устанавливается датчик целостности мембраны, при срабатывании которого происходит остановка в аварийном режиме компрессоров поз. B-4911/B-4912.

Конвертер адиабатического типа поз. R-4941 представляет собой герметичный сосуд диаметром 4400 мм со съёмной крышкой.

В самом сосуде установлена перфорированная доска, на которую укладывается медная сетка и катализатор. Под перфорированной доской находится трубчатый теплообменник.

В днище сосуда врезан фланец с Ду 1000, к которому крепится трубопровод для отвода формальдегида.

При прохождении спиртово-воздушной смеси через слой катализатора метанол окислением и дегидрогенизацией превращается в формальдегид и воду при температуре 600-660°C.

Технологический процесс описывается следующими уравнениями реакции:

Для окисления метанола используется гранулированный серебряный катализатор четырёх фракций (0,15-0,3 мм; 0,3-0,6 мм; 0,6-1 мм; 1-2мм). Катализатор ровными слоями от крупной фракции к мелкой насыпается на медную сетку, которая выстилается на перфорированную доску конвертера. Слой катализатора после загрузки представляет собой металлическую губку с соответствующей пропускной способностью. По мере работы катализатора его пропускная способность снижается, что фиксируется датчиком давления PI\_310.

Под медную сетку укладываются двенадцать температурных датчиков TI\_301÷TI\_312, которые при работе установки отслеживают температурный режим в слое катализатора. При увеличении или уменьшении температуры в слое катализатора система выдаёт сигнал на регулирующий клапан прямого воздуха TV\_266, который изменяет соотношение метанол-воздух, то есть увеличивает или уменьшает содержание кислорода в спирто-воздушной смеси, тем самым, регулируя температуру в конвертере.

Одна из реакций при получении формальдегида в конвертере - окисление метанола кислородом воздуха, чем больше молекул метанола вступит в реакцию с молекулами кислорода, тем выше будет конверсия. Но так как, при реакции окисления проис-

Инд. № подл.	Взам. инв. №
	Подп. и дата

Изм.	Копуч.	Лист	№ док	Подп.	Дата
------	--------	------	-------	-------	------

ходит большое выделение тепла, а в слое катализатора нет принудительного теплосъёма, то увеличение содержания кислорода в спирто-воздушной смеси ведёт к повышению температуры в слое катализатора. При температуре более 720°C серебряный катализатор начинает спекаться и теряет свою каталитическую активность, а при температуре 962°C происходит его расплавление и выход из строя конвертера поз. R-4941

Чтобы увеличить степень конверсии при протекании реакции и при этом уменьшить температуру в слое катализатора, в конвертер подают хвостовой газ.

Хвостовой газ (далее по тексту рециркулирующий газ, так как возвращается в технологический процесс) – это технологический воздух, который, пройдя через стадии технологического процесса (очистание, насыщение метанолом, каталитическое окисление и абсорбция), изменяет свой химический состав и подлежит утилизации (сжиганию) в инсинераторе поз. Z-995. Основную часть газа составляет азот до 74% и водород до 20%, кислород отсутствует, а так же содержит двуокись углерода до 5,5%, воду до 2% и другие незначительные примеси. Состав рециркулирующего газа не бывает постоянным, он зависит от нагрузки установки и от времени пробега катализатора.

Целью подачи рециркулирующего газа в конвертер является увеличение конверсии. Добавляя рециркулирующий газ в спирто-воздушную смесь, увеличивается теплоемкость смеси. Это позволяет увеличить содержание кислорода в спирто-воздушной смеси и уменьшить температуру в слое катализатора, при протекании реакции, что даёт возможность повысить концентрацию выпускаемого формалина до 55% и уменьшить содержание метанола в продукте менее 1%, при умеренных температурах конвертера (~ 590÷635°C).

В результате реакции в слое катализатора полученный газ (формальдегид) и водяной пар с температурой ~ 660-680°C без подачи рециркулирующего газа и с температурой ~ 590-635°C с подачей рециркулирующего газа проходит через трубчатый теплообменник, встроенный в конвертер ниже перфорированной доски. В теплообменнике происходит передача энергии тепла, от парогазовой смеси к жидкости, и охлаждение смеси до температуры ~ 220-260°C, в зависимости от нагрузки, что отображается на экране монитора температурным датчиком TI\_316, установленным в днище конвертера. Перегретая котловая вода в трубный пучок теплообменника подается насосами поз. P-4941/A,B. Расход теплоносителя контролируется датчиком FI\_321, давление нагнетания – PI\_326. После прохождения змеевиков вода поступает на обратном в паровой барабан поз.V-4961.

Формальдегид, пройдя через теплообменник, и отдавший часть энергии тепла котловой питательной воде, орошается раствором формалина через форсунку, снабженную пламегасителем XP-301. В результате этого происходит резкое охлаждение формальдегида, до температуры ~ 90°C. Раствор формалина на охлаждение подается продуктовым насосом поз. P-4985/A,B из куба нижней секции абсорбера поз. C-4981. Расход формалина контролируется датчиком расхода FI\_316.

Полученный и охлажденный формальдегид из конвертера поступает в абсорбционную колонну поз. C-4981.

#### 1.2.1.4 Стадия получения формалина абсорбцией формальдегида деминерализованной водой

Абсорбция формальдегида происходит в абсорбционной колонне, состоящей из шести секций. Для получения формалина используются первые четыре секции, в которых происходит ступенчатая абсорбция формальдегида раствором формалина с образованием раствора крепкого формалина. Верхние две секции предназначены для конденсации воды и не прореагировавшего метанола. В нижней секции установлены сетчатые тарелки, с остальных секциях используется упорядоченная насадка.

##### Нижняя секция

Взам. инв. №	Подп. и дата	Инв. № подл.							МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ	Лист
			Изм.	Копуч.	Лист	№ док	Подп.	Дата		18

Формальдегид из конвертера поз. R-4941 поступает в нижнюю секцию, где проходит через шесть сетчатых тарелок.

В кубе нижней секции вмонтирован змеевик для исключения образования параформальдегида в период остановки. Подача пара в змеевик осуществляется через клапан TV\_425, с помощью которого регулируется температура ( $85 \pm 3^\circ\text{C}$ ) в нижней части секции, контролируемая температурным датчиком TIC\_401.

Конденсат после змеевика направляется в сборный коллектор.

Сетчатые тарелки предназначены для повышения концентрации формалина и для более быстрого выхода на нужную концентрацию при пуске установки.

Уровень формалина в кубе регулируется клапаном LV\_403, установленным на линии откачки продуктового формалина на склад по сигналу регулятора LIC\_403. Предусмотрена предупредительная сигнализация высокого и низкого уровня в кубе абсорбера поз. LICANL-403. При превышении предельного уровня формалина в кубе срабатывает сигнализатор LAN\_402 и закрывается клапан LV\_409 на линии перелива из первой секции циркуляции в нижнюю. При снижении уровня до предельного срабатывает сигнализатор уровня LAL\_402 и блокировка на останов продуктового насоса формалина поз. P-4985/A,B.

В нижней секции абсорбера установлены датчики температуры: перед тарелками (TI\_426), в верхней части секции после тарелок (TI\_405) и в слое жидкой фазы (TT\_401). Также в нижней секции установлены датчики давления PI\_406, PI\_404.

Готовый формалин из куба секции поступает на всас продуктовых насосов поз. P-4985/A,B, установленных параллельно. После насосов продуктовой формалин охлаждается оборотной водой в пластинчатом теплообменнике поз. E-4987. Часть потока формалина с нагнетания насосов поз. P-4985/A,B отводится в нижнюю часть конвертера поз. R-4941 на охлаждение формальдегида. Температура формалина до теплообменника контролируется прибором TI\_559.

Температура формалина на выходе из теплообменника поз. E-4987 в зависимости от концентрации должна составлять:

$$T_{\phi} = C_{\phi} + \Delta,$$

где  $T_{\phi}$  – температура формалина;

$C_{\phi}$  – концентрация формалина;

$\Delta$  – ( $5 \div 15$ ) $^\circ\text{C}$ .

При более низкой температуре будет происходить образование параформальдегида, а при более высокой – образование муравьиной кислоты.

Чтобы не произошло образование параформальдегида на пластинах теплообменника и выхода его из строя, со стороны водооборотного цикла установлена добавочная циркуляция оборотной воды, так как температура оборотной воды находится в пределах от  $15$  до  $25^\circ\text{C}$ , а пластинчатые теплообменники обладают большим коэффициентом теплопередачи. С помощью этой циркуляции температура оборотной воды на входе в теплообменник поз. E-4987 на  $4 \div 5^\circ\text{C}$  ниже температуры формалина на выходе из теплообменника. В линию циркуляции входит насос поз. P-4988, установленный в байпас теплообменника и регулирующий клапан TV\_560, который установлен на линии оборотной воды после теплообменника и насоса.

Температура продуктового формалина регулируется прибором TC\_560 с коррекцией по расходу готового формалина (FI\_561) и управляется клапаном TV\_560 на линии оборотной воды после теплообменника.

После охлаждения в пластинчатом теплообменнике поз. E-4987 формалин с температурой  $65-70^\circ\text{C}$  поступает на склад готовой продукции (корп. 1609). Для отбора проб продуктового формалина служит пробоотборное устройство поз. SP-550.

А непрореагировавший формальдегид, пройдя через тарелки, поступает через семь газовых труб Ду600 в первую секцию циркуляции.

#### *Первая секция циркуляции*

Первая секция циркуляции состоит из упорядоченной абсорбционной насадки, распределительного устройства, двух параллельно установленных циркуляционных насосов поз. P-4981/A,B, теплообменника поз. E-4981.

Инд. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	Копуч.	Лист	№ док	Подп.	Дата

МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ

Лист

19

Формалин выходит из куба первой секции и с помощью насосов поз. P-4981/А,В направляется в пластинчатый теплообменник поз. E-4981, где отдает тепло водометанольной смеси и возвращается через распределительное устройство в верхнюю часть первой секции циркуляции. Расход циркуляции формалина в первой секции (720±50м³/ч) измеряется расходомером FIТ\_262.

Перед насосом поз. P-4981/А,В установлен встроенный фильтр поз. ХР-601/А,В. Давление нагнетания насосов контролируется датчиком давления PI\_273/PI\_274.

Равномерно распределившись в распределительном устройстве по всей площади, формалин, протекая сквозь насадку в противоток газу, который поступает с нижней секции, абсорбирует формальдегид, который не вступил в реакцию в нижней секции. Формалин, пройдя сквозь насадку, стекает в куб первой секции циркуляции, откуда снова поступает на циркуляционный насос, а избыток, через регулирующий клапан LV\_409, перетекает в нижнюю секцию.

Уровень формалина в первой секции измеряется уровнемером LIT\_409 и поддерживается в автоматическом режиме регулирующим клапаном LV\_409, который установлен на линии перелива формалина из 1-ой секции в нижнюю по сигналу по сигналу регулятора LIC\_409. При превышении предельного уровня формалина срабатывает сигнализатор LАH\_408. При снижении уровня до предельного срабатывает сигнализатор уровня LАL\_408 и блокировка на останов насоса циркуляции поз. P-4981/А,В.

Так же в куб 1-ой секции циркуляции подведён пар среднего давления, предназначенный для разогрева первой секции и передачи тепловой энергии от циркуляции первой секции к циркуляции испарителя через теплообменник поз. E-4981 при пуске установки. Контроль за теплосъёмом осуществляется по двум температурным датчикам TI\_276 и TI\_263, которые установлены перед теплообменником поз. E-4981 и после него. Температура в кубе первой секции контролируется прибором TIC\_407, клапан TV\_407 которого установлен на линии подачи пара.

При нормальном режиме работы температура в слое жидкости TT\_407 первой секции от 79 до 82°С. Температура в верхней части секции TT\_410 - 75÷80°С.

Непрореагировавший формальдегид, пройдя через тарелки, поступает через семь газовых труб Ду600 во вторую секцию циркуляции.

*Вторая секция циркуляции*

Вторая секция циркуляции состоит из упорядоченной абсорбционной насадки, распределительного устройства, перелива из 2-ой секции в 1-ую, циркуляционного насоса поз. P-4982, теплообменника поз. E-4982.

Перед насосом поз. P-4982 установлен встроенный фильтр поз. ХР-604.

Формалин выходит из куба второй секции циркуляции и с помощью насоса поз. P-4982 направляется в пластинчатый теплообменник поз. E-4982, где охлаждается до заданной температуры и возвращается через распределительное устройство в верхнюю часть второй секции. Температура до теплообменника поз. E-4982 контролируется температурным датчиком – TI\_455, после – TI\_456. Расход циркуляции формалина во второй секции циркуляции (600±50м³/ч) измеряется расходомером FI\_457.

Равномерно распределившись в распределительном устройстве по всей площади, формалин, протекая сквозь насадку в противоток газу, который поступает из первой секции, абсорбирует с формальдегидом, который не вступил в реакцию в первой секции. Формалин, пройдя сквозь насадку, стекает в куб второй секции, откуда снова поступает на циркуляционный насос.

Температура верха во 2-ой секции (63÷70°С) поддерживается регулятором TIC\_413 с помощью клапана TV-413, установленного на линии охлаждающей воды от теплообменника поз. E-4982.

Неабсорбированный формальдегид во второй секции, через семь газовых труб поступает в третью секцию циркуляции.

Уровень жидкости второй секции определяется высотой переливной трубы.

*Третья секция циркуляции*

Инд. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	Копуч.	Лист	№ док	Подп.	Дата



Третья секция циркуляции состоит из упорядоченной абсорбционной насадки, распределительного устройства, перелива из 4-ой секции во 3-ю, циркуляционного насоса поз. Р-4983, теплообменника поз. Е-4983.

Формалин выходит из куба третьей секции и с помощью насоса поз. Р-4983 направляется в пластинчатый теплообменник поз. Е-4983, где охлаждается водой до заданной температуры и возвращается через распределительное устройство в верхнюю часть 3-ей секции циркуляции. Температура до теплообменника поз. Е-4983 контролируется температурным датчиком – TI\_463, после – TI\_464. Расход циркуляции формалина в третьей секции ( $470 \pm 20 \text{ м}^3/\text{ч}$ ) измеряется расходомером FI\_465.

Равномерно распределившись в распределительном устройстве по всей площади, формалин, протекая сквозь насадку в противоток газу, который поступает с 2-ой секции, абсорбирует формальдегид, который не вступил в реакцию во 2-ой секции. Формалин, пройдя сквозь насадку, стекает в куб 3-ей секции, откуда снова поступает на циркуляционный насос поз. Р-4983.

Температура верха ( $49 \div 54^\circ\text{C}$ ) в 3-ей секции поддерживается регулятором TIC\_416 с помощью клапана TV-416, установленного на линии охлаждающей воды от теплообменника поз. Е-4983.

Неабсорбированный формальдегид и пары метанола в третьей секции, через семь газовых труб поступает в четвертую секцию циркуляции.

Уровень жидкости третьей секции определяется высотой переливной трубы.

#### *Четвёртая секция циркуляции и верхняя секция*

Четвертая секция циркуляции и верхняя секции предназначены для окончательного улавливания метанола и остатков формальдегида из газа. Эти секции не имеют перелива жидкой фазы в 3-ю секцию.

Четвертая секция циркуляции состоит из упорядоченной абсорбционной насадки, распределительного устройства, циркуляционного насоса поз. Р-4984, теплообменника поз. Е-4984. Верхняя секция состоит из упорядоченной абсорбционной насадки и распределительного устройства.

В кубе 4-ой секции циркуляции вмонтирован змеевик для исключения замерзания во время остановки в зимний период. Подача пара в змеевик осуществляется через клапан TV\_427, с помощью которого регулируется температура в нижней части секции, контролируемая температурным датчиком TIC\_427.

Конденсат после змеевика направляется в сборный коллектор.

Смесь формалина и метанола с концентрацией формалина  $10 \pm 0,2\%$  и содержанием метанола  $4,5 \pm 0,2\%$  выходит из куба 4-ой секции и с помощью насоса поз. Р-4984 направляется в пластинчатый теплообменник поз. Е-4984, где охлаждается водой и возвращается через распределительное устройство в верхнюю часть четвертой секции. Температура до теплообменника поз. Е-4984 контролируется температурным датчиком – TI\_507, после – TI\_508. Расход циркуляции формалина в четвертой секции ( $450 \pm 20 \text{ м}^3/\text{ч}$ ) измеряется расходомером FI\_510.

Равномерно распределившись в распределительном устройстве по всей площади, смесь метанола с формалином, протекая сквозь насадку в противоток газу, который поступает с 3-ей секции, абсорбирует непрореагировавший в конвертере метанол. Часть смеси формалина и метанола (в зависимости от нагрузки установки и от заданной концентрации водо-метанольной смеси) после циркуляционного насоса поз. Р-4984 подается в емкость поз. V-4951 для приготовления водно-метанольной смеси.

Температура верха ( $22 \div 26^\circ\text{C}$ ) в 4-ой секции циркуляции поддерживается регулятором TIC\_419 с помощью клапана TV-419, установленного на байпасе охлаждающей воды после теплообменника поз. Е-4984.

Уровень формалина измеряется уровнемером LIT\_418 и поддерживается в автоматическом режиме регулирующим клапаном LV\_418, который установлен на линии подачи деминерализованной воды в абсорбер по сигналу от регулятора уровня LIC\_418 с коррекцией по расходу демводы. При превышении предельного уровня формалина срабатывает сигнализатор LAN\_417. При снижении уровня до предельного

Изм. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	Копуч.	Лист	№ док	Подп.	Дата

МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ

Лист

21

срабатывает сигнализатор уровня LAL\_417 и блокировка на останов насоса циркуляции поз. P-4984

Деминерализованная вода в абсорбер подается насосом поз. P-4987 через распределительное устройство, расположенное в верхней секции абсорбера с водоподготовительной установки корп.250А ПГЦ через фильтр поз. F-4987, который предотвращает внесение загрязнений в продукт.

Газ с остатками метанола и формальдегида, проходя через насадку верхней секции в противоток деминерализованной воде, дополнительно очищается. Часть газа используется в качестве рециркулирующего газа и поступает через сепаратор поз. V-4911 на рециркулирующие компрессора поз. В-4913, В-4914, другая – в инсинератор поз. Z-995 для дальнейшего его сжигания.

Температура в верхней части шестой секции контролируется датчиком температуры TI\_421 и поддерживается частотно-регулируемым приводом компрессоров SC\_4913/SC\_4914.

### 1.2.1.5 Стадия циркуляции отходящего газа

Рециркулирующий газ поступает с последней верхней секции абсорбера поз. С-4981 через сепаратор поз. V-4911 и подается двумя, параллельно установленными рециркулирующими компрессорами поз. В-4913 и В-4914 вверх испарителя поз. V-4931.

Сепаратор поз. V-4911 – это аппарат циклонного типа, предназначенный для удаления из газа жидкости. Рециркулирующий газ поступает по трубопроводу в сепаратор поз. V-4911. Подающий трубопровод в обечайку сепаратора врезан по касательной, в результате чего поступающий поток газа закручивается в сепараторе. Мелкие капли жидкости, присутствующие в газе, под действием центробежной силы осаждаются на стенках сепаратора и стекают вниз. Далее газ проходит через каплеотбойник, установленный в верхней части сепаратора, в котором осаждаются более мелкие капли. Газ, пройдя через каплеотбойник, поступает в отводящую трубу, которая врезана в центр нижней крышки сепаратора и доходит почти до самого верха аппарата. Скапливающаяся жидкость в кубе сепаратора поз. V-4911 стекает в нижнюю секцию абсорбера поз. С-4981, а осушенный газ поступает на всас компрессоров поз. В-4913 и В-4914.

Компрессоры циркуляционного газа поз. В-4913/В-4914 предназначены для подачи отходящего газа в требуемом объеме в технологический процесс. От количества подаваемого отходящего газа зависит концентрация метанола и формальдегида в получаемом продукте.

Электродвигатели компрессоров поз. В-4913/В-4914 оснащены частотно-регулируемыми приводами SC\_4913/SC-4914, которые управляются регулятором расхода рециркулирующего газа поз. FC\_126. Управление частотно-регулируемыми приводами SC\_4913/SC-4914 происходит в ручном, автоматическом или каскадном режиме, в соответствии с заданным оператором значением.

Расход рециркулирующего газа составляет от 45 до 100% от расхода технологического воздуха, это зависит от срока службы катализатора и от содержания метанола в продукте.

Общий расход технологического воздуха рассчитывается и регулируется системой DeltaV.

Компрессор и электродвигатель установлены на цельной несущей раме и соединены муфтой. К этой же раме прикреплен шумоглушитель нагнетания (поз. ХР-913В, поз. ХР-914В) и шумоглушитель всаса (поз. ХР-913А, поз. ХР-914А).

Перепад давления на компрессорах контролируется приборами PDT\_156/PDT\_157.

Рециркулирующий газ после компрессоров поз. В-4913/В-4914 поступает в верхнюю часть испарителя поз. V-4931, где, смешавшись со спирто-воздушной смесью поступает в конвертер поз. R-4941.

Изм.	Копуч.	Лист	№ док	Подп.	Дата	Изм. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ		Лист
											22

**1.2.1.6 Стадия генерации пара**

При производстве формалина для поглощения тепловой энергии газа формальдегида, используется котловая питательная вода (КПВ), поступающая из корпуса 250А, которая впоследствии превращается в побочный продукт - пар. Для производства пара, вода сначала проходит деаэрацию в деаэраторе поз. V-4960, а после этого происходит генерация пара в паровом барабане поз. V-4961.

*Деаэрация котловой питательной воды*

Деаэрация предназначена для удаления из воды, поступающей на питание парового барабана поз. V-4961, агрессивных газов (CO<sub>2</sub> и O<sub>2</sub>), вызывающих коррозию металла.

Растворённые газы, находящиеся в воде, вызывают много коррозионных проблем. В момент нагрева воды под давлением, кислород и другие газы образуются в маленькие пузырьки, которые лопаются, образуя микровзрыв с большим выделением энергии, эта энергия способна разрушать, отрывая кусочки металла от стенок трубопровода, тем самым, образуя раковины.

Сам по себе кислород обладает высокой способностью к коррозии, даже небольшое количество кислорода может стать причиной серьёзных проблем. Кислородная коррозия может привести к быстрому выходу из строя линий подачи питательной воды, паровых барабанов и конденсатных систем, поскольку коррозионные раковины способны глубоко поражать металл.

Деаэратор поз. V-4960 состоит из дегазационной колонки, где вода стекает вниз по тарельчатым устройствам, контактируя с паром низкого давления, деаэраторного бака, куда стекает подогретая и очищенная котловая вода и гидрозатвора поз. Z-4960. В случае превышения давления в деаэраторе столб жидкости выдавливается из гидрозатвора в расширительное устройство, и избыточный пар сбрасывается в атмосферу.

Для процесса деаэрации используется пар среднего давления 1,6 МПа. Давление в деаэраторе 20 кПа поддерживается клапаном PV\_1006 по сигналу от регулятора давления PIRC\_1006. Расход пара на барботаж поддерживается клапаном FV\_1007 по сигналу от регулятора FIRC\_1007 с коррекцией по температуре в деаэраторе поз. TIRCAL-1018. При снижении температуры ниже минимального порога срабатывает сигнализация.

Котловая вода из коллектора МЦК поступает на установку с температурой +18...+22°C, расход воды измеряется поз. FIR-1025. Перед поступлением в деаэратор поз. V-4960 вода предварительно нагревается в змеевиковом теплообменнике поз. E-4961 за счет утилизации тепла продувочной воды барабана поз. V-4961. Продувочная вода после охлаждения до +40°C сливается в канализацию. Температура конденсата контролируется прибором TIAN\_1012. При повышении температуры выше +40°C срабатывает сигнализация. Температура котловой воды до и после теплообменника контролируется датчиками температуры TIR\_1011 и TI\_1010 соответственно.

Подогретая котловая вода с температурой 36°C поступает с трубное пространство теплообменника поз. E-4962, где, утилизирует тепло выпара, отходящего от деаэрационной колонки и нагревается до температуры 57°C. Температура котловой воды после теплообменника поз. E-4962 контролируется датчиком TI\_1009.

Далее котловая вода подается в межтрубное пространство подогревателя поз. E-4963, где за счет пара среднего давления нагревается до температуры 90°C. Температура воды после подогревателя поз. E-4963 регулируется прибором TIC\_1004, клапан TV\_1004 которого установлен на линии подачи пара среднего давления.

Подогретая котловая вода поступает в деаэрационную колонку, контактирует с паром на тарелках и стекает в деаэрационный бак.

Конденсат пара собирается по установке в сборный коллектор и направляется в деаэратор поз. V-4960. Во избежание вскипания и гидроударов в конденсатопроводе поддерживается избыточное давление клапаном PV\_1008 установленным на мини-

Инд. № подл.	Взам. инв. №
	Подп. и дата

Изм.	Коп.уч.	Лист	№ док	Подп.	Дата
------	---------	------	-------	-------	------

МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ

мальном расстоянии от входа в деаэратор. Датчик давления в конденсатопроводе поз. PT\_1008 установлен на общем сборном коллекторе до клапана PV\_1008.

Уровень воды в деаэраторе поз. V-4960 измеряется уровнемером LIC\_1005 и поддерживается регулирующим клапаном LV\_1005 на линии подачи питательной воды перед теплообменником поз. E-4961.

Деаэрированная вода из нижней части деаэратора поз. V-4960 поступает на всас насосов котловой воды поз. P-4960/1,2, которым подается в паровой барабан поз. V-4961. Кроме того, предусмотрена разгрузочная линия с регулирующим клапаном PV\_1003 для циркуляции котловой воды от насосов поз. P-4960/1,2 обратно в деаэратор. Эта линия предназначена для обеспечения минимального расхода насосов поз. P-4960/1,2, когда при повышении уровня в паровом барабане закрывается регулирующий клапан LV\_666 на линии подачи котловой воды в барабан, чтобы насос поз. P-4960/1,2 не работал в тупик, котловая питательная вода через разгрузочную линию сбрасывается назад в деаэратор поз. V-4960.

#### *Генерация пара*

Генерация пара происходит в паровом барабане поз. V-4961.

Паровой барабан представляет собой горизонтальную ёмкость цилиндрической формы.

Котловая питательная вода от насоса поз. P-4960/1,2 с температурой 103÷105°C и давлением 2,6 МПа подаётся в паровой барабан поз. V-4961.

Расход котловой питательной воды в паровой барабан контролируется расходомером FIT\_653. Давление котловой питательной воды контролируется датчиком давления PI\_651, температура- преобразователем температуры TT\_652.

Уровень в паровом барабане регулируется контуром LIC-666 клапан LV\_666, которого установлен на линии подача КПВ в паровой барабан.

Котловая питательная вода с температурой 103÷105°C при попадании в паровые барабаны нагревается до температуры кипения ≈ 200°C.

С помощью насосов поз. P-4941/A,B горячая вода циркулирует между паровым барабаном поз. V-4961 и конвертером поз. R-4941. На выходе из конвертера смесь пар/вода после получения тепла от газопродуктовой смеси, направляется в паровой барабан, где происходит отделение пара от воды.

Получаемый, таким образом, пар среднего давления 1,6 МПа(изб.) применяется нужд установки формалина. Неиспользованный пар выдается в систему пара среднего давления для нужд предприятия. В период пуска установки пар принимается из сети предприятия. Расход пара выдаваемого или потребляемого из сети предприятия измеряется поз. FIR-1026.

Давление пара в общезаводской коллектор контролируется датчиком давления PI\_654 и дублируется манометром PI\_655, температура пара - TI\_660.

Давление пара, используемого на установке контролируется датчиком давления PI\_701 и дублируется по месту манометром PI\_700.

Давление в барабане регулируется контуром PC\_660, который поддерживает давление 1,6 МПа (16 кгс/см<sup>2</sup>(изб.)) с помощью клапана PV-660, установленного на линии выдачи пара среднего давления в заводской коллектор. Датчики давления PI\_658, PI\_659 сигнализируют предмаксимальное и максимальное давление.

Для защиты от барабана от превышения давления предусмотрены предохранительные клапаны PSV\_650/PSV\_651 срабатывающие при P=2,1МПа (21 кгс/см<sup>2</sup>(изб.)).

#### **1.2.1.7 Стадия дожига хвостового газа в термоокислителе (инсинераторе) поз. Z-995**

Водный формальдегид получают в ходе непрерывного процесса Dynea Silver. В каталитическом процессе взаимодействия метанола и воды с образованием формальдегида происходит выделение отходящего газа, в котором кроме водорода (до 20%) содержится небольшое количество загрязняющих примесей, и имеет состав:

Азот 73,98÷77,5% об.

Изм.	Копуч.	Лист	Недок	Подп.	Дата	Взам. инв. №	Подп. и дата	Инв. № подл.	МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ		Лист
											24

Водород	17÷20,3% об.
CO	0,08÷0,19% об.
CO <sub>2</sub>	4,2÷5,4% об.
CH <sub>4</sub>	0,0007÷0,003% об.
Вода	1,9% об. (t=20°C)
CH <sub>3</sub> OH	0,1% об.
CH <sub>2</sub> O	0,01% об.

Количество загрязняющих примесей перед выбросом в атмосферу следует снизить до нормы ПДВ (предельно допустимые выбросы), это происходит в инсинераторе поз. Z-995 путём термического окисления.

Управление работой инсинератора осуществляется программируемым логическим контроллером (ПЛК). Система управления инсинератором предназначена для пуска, обеспечения работы и контроля работы инсинератора, а также обеспечения безопасности (отключение инсинератора) при нарушении технологического режима.

Управление инсинератором, просмотр информации о работе и нарушениях работы инсинератора осуществляется с помощью сенсорного экрана ПЛК.

Отходящий газ из верхней части абсорбера поз. С-4981 и имеющий давление до 60 mbar, разделяется на два потока, один из которых направляется в рецикл для получения формалина, а второй – в инсинератор поз. Z-995. Расход газа, подаваемого в инсинератор, контролируется расходомером FI\_902.

Количество отходящего газа, требующего дожига может изменяться от 30 до 100%, в зависимости от скорости образования формальдегида, то есть от нагрузки установки. Инсинератор сконструирован таким образом, чтобы обеспечить очистку отходящего газа без какого-либо воздействия на технологический процесс.

Отходящий газ, перед тем как попасть в инсинератор для термического окисления, подогревается паром в трубчатом теплообменнике поз. Е-4990. Температура газа после теплообменника регулируется прибором TIC\_900, клапан TV\_900 которого установлен на линии подачи пара в теплообменник.

Конденсат пара после теплообменника поз. Е-4990 поступает в сборный коллектор.

Подогрев газа в теплообменнике поз. Е-4990 исключает образование водяных капель в отходящем газе (конденсации), в результате этого не возникает помех при сгорании газа в инсинераторе.

Инсинератор сконструирован специально для сжигания хвостового газа, поступающего с установки получения формалина. Сжигание газа происходит без подачи дополнительного топлива (природного или сжиженного газа), даже при величине теплоты сгорания составляющей всего 0,61 кВтч/Нм<sup>3</sup>. Сжиженный газ пропан, подаётся для зажигания растопочной горелки только при пуске инсинератора, далее после подачи отходящего газа в инсинератор, подача сжиженного газа прекращается.

Для создания условия горения отходящий газ смешивают со свежим воздухом. Подача свежего воздуха осуществляется воздуходувкой поз. В-4915 и контролируется расходомером FE\_923, температура – TI\_924, давление – PA\_925.

Свежий воздух, перед тем как попасть в горелку инсинератора, подогревается паром в трубчатом теплообменнике поз. Е-4991. Температура воздуха после теплообменника контролируется датчиком температуры TIC\_920 и регулируется клапаном TV\_920 на линии подачи пара в теплообменник.

Конденсат пара после теплообменника поз. Е-4991 поступает в сборный коллектор.

Соотношение отходящего газа и воздуха, а также давление отходящего газа управляется контуром регулирования QIC\_917, в который входит регулятор давления PC\_917 (давление отходящего газа перед регулирующим клапаном PV\_917), регулирующий клапан PV\_917 (подача отходящего газа в инсинератор) и регулирующего клапана PV\_927 (подача свежего воздуха в инсинератор). Соотношение регулируется таким образом, чтобы обеспечить сжигание как можно большего количества отходящего газа, а положение клапанов управления подачей отходящего газа и воздуха регулируется так, чтобы давление отходящего газа поддерживалось на заданном уровне.

Изн. № подл.	Взам. инв. №
	Подп. и дата

Изм.	Копуч.	Лист	Недок	Подп.	Дата

На трубопроводе отходящего газа, перед клапаном PV\_917 (подача отходящего газа в инсинератор), установлен сбросной клапан PV\_916, он выполняет несколько функций:

- быстрый сброс отходящего газа в атмосферу при неисправности или нарушении технологических режимов инсинератора.
- при пуске инсинератора клапан, управляемый контроллером, постепенно прикрывается в автоматическом режиме, обеспечивая тем самым постепенное увеличение подачи отходящего газа в горелку инсинератора, что позволяет избежать моментального воспламенения (хлопка, взрыва) из-за быстрой подачи большого объёма горючего газа и соответственно разрушение камеры сгорания и дымовой трубы.
- при увеличении давления в трубопроводе отходящего газа выше (нарушении работы клапана PV\_917, осыпание огнеупорного кирпича в горелку), сбросной клапан PV\_916 будет приоткрываться, сбрасывая избыточное давление в атмосферу.

Сбросной клапан PV\_916 отходящего газа управляется контуром регулирования PIC\_916, в который входит преобразователь давления PIT\_916 (давление отходящего газа) и сбросной клапан PV\_916 (сброс отходящего газа в атмосферу). Перед выпуском в атмосферу установлен огнепреградитель поз. XP-243 и датчик контроля температуры газа TАН\_928.

Так же на трубопроводе отходящего газа между клапанами PV\_916 (сброс отходящего газа в атмосферу) и PV\_917 (подача отходящего газа в печь) установлены три автоматических отсекающих клапана XV\_911, XV\_912 и XV\_913.

Эти клапаны входят в систему безопасности управления инсинератора и должны быть герметичны в закрытом состоянии при пуске инсинератора. Негерметичность в отсечных клапанах XV\_911, XV\_912 и XV\_913 приведёт к попаданию отходящего газа в камеру сгорания в момент розжига растопочной горелки, что может спровоцировать взрыв.

Автоматические отсекающие клапаны XV\_911, XV\_912 и XV\_913 перед каждым включением инсинератора проходят испытание на герметичность. Испытание проводится с использованием азота.

Азот из сети завода подается через отсечной клапан XV\_967. Контроль давления азота осуществляется двумя датчиками давления PI\_966 и PI\_968, установленные до и после отсекателя.

Термическое окисление отходящего газа происходит в камере сгорания при температуре 900-950°C, однако если теплота сгорания газа падает ниже 0,61 кВтч/Нм<sup>3</sup>, температура может опускаться до 850°C. Адиабатическая температура сгорания отходящего газа составляет около 1020°C при λ=1.

Камера сгорания рассчитана на время пребывания в ней отходящего газа более 1 секунды, этого времени достаточно для окисления углеродистых компонентов, без избыточного образования угарного газа.

Над камерой сгорания находится труба, для отведения топочного газа в атмосферу, она выполняет роль дымовой трубы. Камера сгорания и дымовая труба изнутри облицованы огнеупорным кирпичом. В верхней части дымовой трубы установлен вытяжной колпак, диаметр которого превышает наружный диаметр трубы, благодаря чему холодный воздух всасывается внутрь вытяжного колпака и снижает температуру газа перед его выходом из дымовой трубы в атмосферу.

Для контроля и управления температурой газа, выходящего из горячей части инсинератора, в верхней части дымовой трубы установлены 3-и термопары TI\_996, TI\_997 и TI\_998.

Контроллер управления инсинератором сравнивает результаты измерения трёх термопар, если одно из них слишком сильно отличается от двух других, то оно не учитывается. При работающей горелке температура должна быть выше 900°C, чтобы обеспечить выжигание загрязняющих примесей из отходящего газа. Если из-за пониженной теплоты сгорания отходящего газа температура падает ниже 850°C, контроллер управления инсинератором уменьшает количество воздуха для горения путём ре-

Изм.	Копуч.	Лист	Недок	Подп.	Дата	Инд. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ		Лист
											26

гулирования второго клапана управления подачи воздуха PV\_927, тем самым, увеличивая температуру горения.

Пуск и остановка инсинератора производится как с программируемого логического контроллера, так и со станции оператора.

Пуск инсинератора может быть произведён, если в отходящем газе содержание кислорода составляет меньше 2%. Для определения кислорода в отходящем газе используется анализатор кислорода AI\_907. Точка отбора и сам анализатор установлены в обогреваемом укрытии, для исключения замерзания трубки отбора в зимнее время года, данные с анализатора поступают в ПЛК и на станцию оператора.

### 1.2.2 План размещения основного технологического оборудования, в котором обращаются опасные вещества

Ситуационный план проектируемого объекта представлен на рисунке 3.

План расположения основного технологического оборудования, в котором обращаются опасные вещества, представлен на рисунке 4.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №					МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ	Лист
								27
Изм.	Копуч.	Лист	Недок	Подп.	Дата			

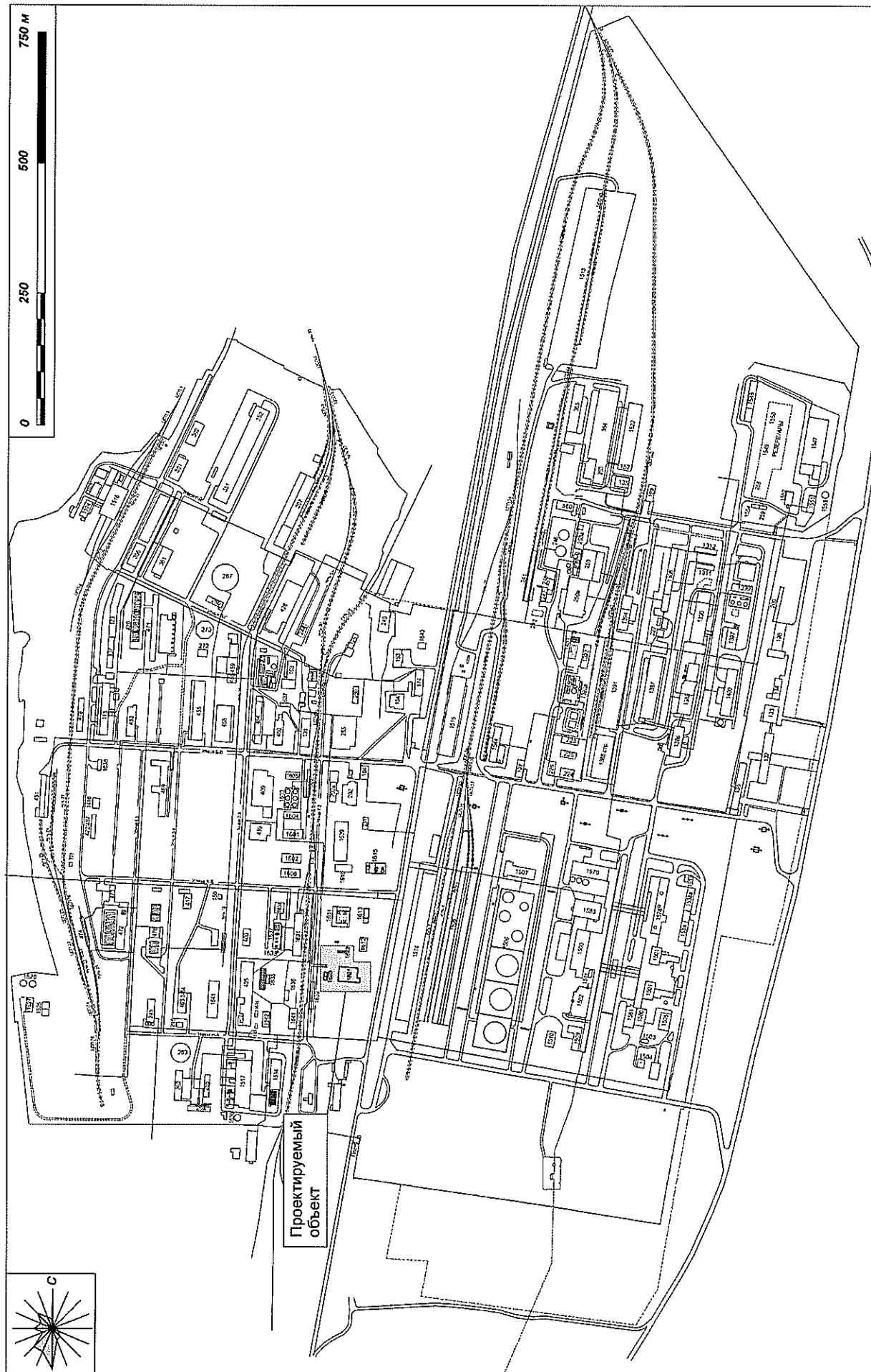


Рисунок 3 – Ситуационный план расположения установки формалина КФ-3 на плане ПАО «Метафракс»



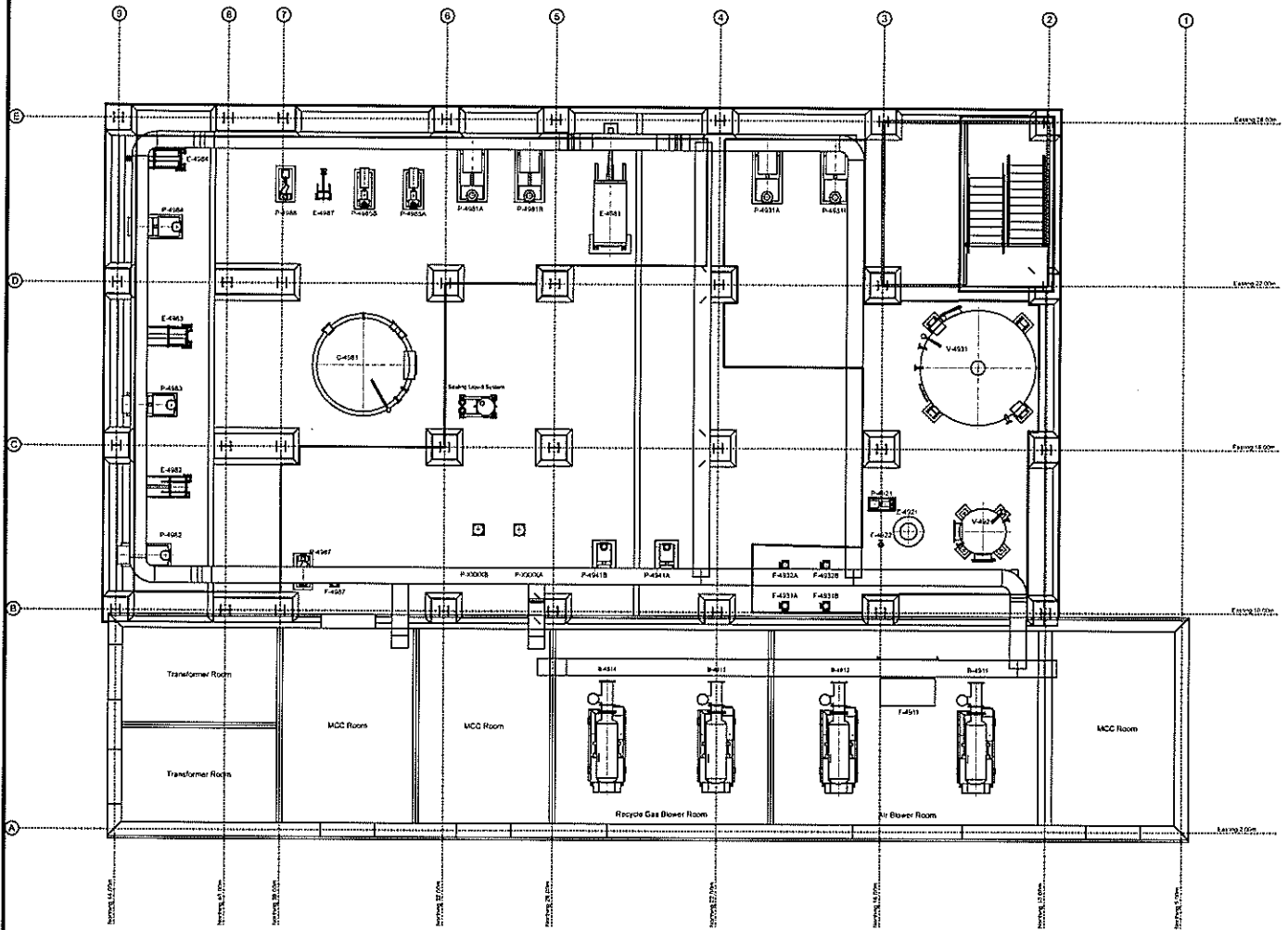


Рисунок 4 (лист 1) – План расположения основного технологического оборудования установки формалина (отм. 0.000)

Инд. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	Колуч.	Лист	№ док	Подп.	Дата

МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ

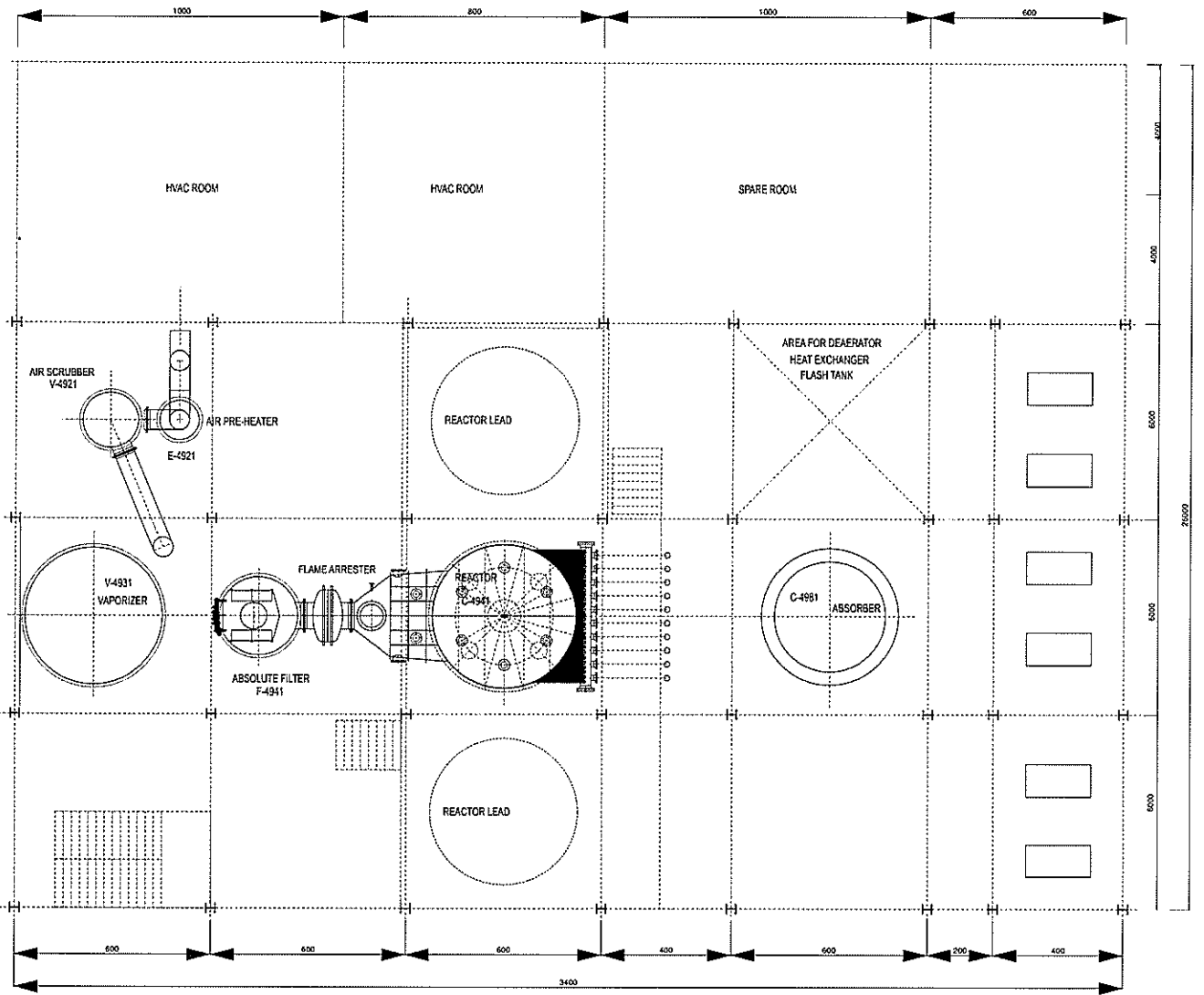


Рисунок 4 (лист 2) – План расположения основного технологического оборудования установки формалина (отм. 5.500)

Инов. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	Коп.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата

МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ

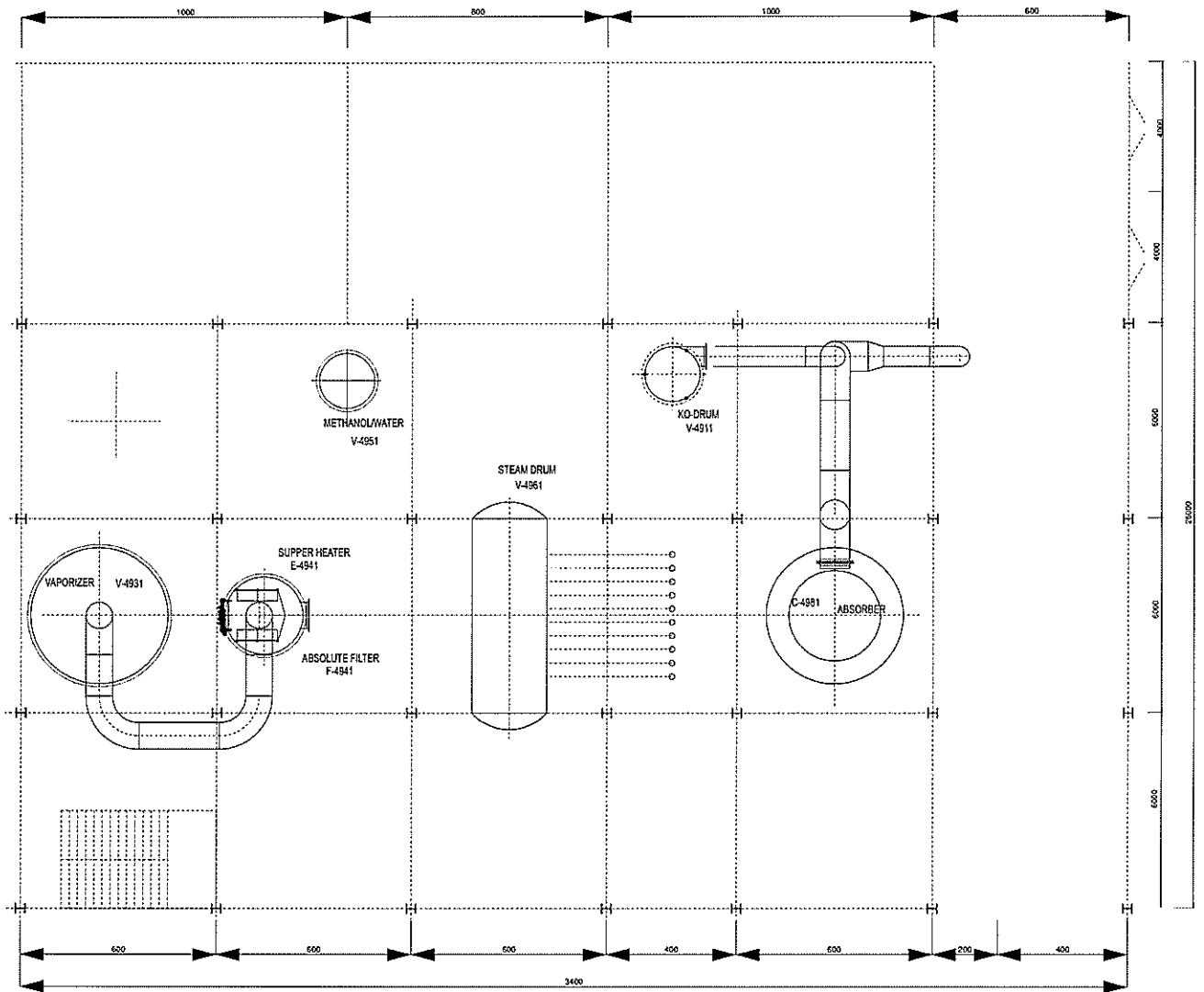


Рисунок 4 (лист 3) – План расположения основного технологического оборудования установки формалина (отм. 11.000)

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	Копуч.	Лист	№ док	Подп.	Дата

МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ



Позиция по схеме	Наименование, краткая техническая характеристика, расчетные параметры (P, T)	Кол-во	Материал
1	2	3	4
	<p><math>D_{\text{внутр.}} - 3400 / 4200 / 2800 \text{ мм}; L_{\text{ц.части}} - 7000 / 34070 / 4000 \text{ мм}</math>  <math>V - 600 \text{ м}^3</math>            Для аппарата: <math>T_{\text{расч.}} = 120^\circ\text{C}</math> (<math>250^\circ\text{C}</math> для нижней части); <math>P_{\text{расч.}} = 0,1 \text{ МПа}</math> (изб.)            Для змеевика: <math>T_{\text{расч.}} = 225^\circ\text{C}</math>; <math>P_{\text{расч.}} = 2,3 \text{ МПа}</math> (изб.)</p>		
E-4941	<p>Перегреватель спирто-воздушной смеси            Кожухотрубчатый теплообменник            Для межтрубного пространства (пар): <math>T_{\text{расч.}} = 225^\circ\text{C}</math>; <math>P_{\text{расч.}} = 2,3 \text{ МПа}</math> (изб.)            Для трубного пространства (спирто-воздушная смесь: 10% - кислород, 50,6% - азот, 1,7% - <math>\text{CO}_2</math> - 0,01% - <math>\text{CO}</math>, 0,34% - водород, 25,4% - метанол, 10,9% - вода): <math>T_{\text{расч.}} = 225^\circ\text{C}</math>; <math>P_{\text{расч.}} = 0,15 \text{ МПа}</math> (изб.)            Тепловая нагрузка - 655 кВт  <math>G = 73,6 \text{ т/ч}</math>            Перепад давления в трубном пучке - 1кПа</p>	1	1.4404 или аналог
E-4981	<p>Теплообменник первой секции циркуляции абсорбера            Однопроходной пластинчатый теплообменник            - Горячая сторона (1 секция циркуляции абсорбера: 62% - вода, 37% - формальдегид, 1% - метанол): <math>T_{\text{расч.}} = 120^\circ\text{C}</math>; <math>P_{\text{расч.}} = 1 \text{ МПа}</math> (изб.), перепад давления - 64,8 кПа            - Холодная сторона (орошение испарителя: 57% - вода, 8% - формальдегид, 35% - метанол): <math>T_{\text{расч.}} = 120^\circ\text{C}</math>; <math>P_{\text{расч.}} = 1 \text{ МПа}</math> (изб.), перепад давления - 36,8 кПа            Поверхность теплообмена - 723,6 <math>\text{м}^2</math>            Тепловая нагрузка - 9103 кВт            Габариты (Д x Ш x В) - 3410 x 1154 x 3210 мм</p>	1	1.4401 или аналог
E-4982	<p>Теплообменник второй секции циркуляции абсорбера            Однопроходной пластинчатый теплообменник            - Горячая сторона (2 секция циркуляции абсорбера: 63% - вода, 35% - формальдегид, 2% - метанол): <math>T_{\text{расч.}} = 120^\circ\text{C}</math>; <math>P_{\text{расч.}} = 1 \text{ МПа}</math> (изб.), перепад давления - 55,4 кПа            - Холодная сторона (охлаждающая вода): <math>T_{\text{расч.}} = 120^\circ\text{C}</math>; <math>P_{\text{расч.}} = 1 \text{ МПа}</math> (изб.), перепад давления - 59,5 кПа            Поверхность теплообмена - 69,9 <math>\text{м}^2</math>            Тепловая нагрузка - 6306 кВт            Габариты (Д x Ш x В) - 2685 x 800 x 1405 мм</p>	1	1.4401 или аналог
E-4983	<p>Теплообменник третьей секции циркуляции абсорбера            Однопроходной пластинчатый теплообменник            - Горячая сторона (3 секция циркуляции абсорбера: 68% - вода, 29% - формальдегид, 3% - метанол): <math>T_{\text{расч.}} = 120^\circ\text{C}</math>; <math>P_{\text{расч.}} = 1 \text{ МПа}</math> (изб.), перепад</p>	1	1.4401 или аналог

Изм.	Колуч.	Лист	Недок	Подп.	Дата
Индв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №			

МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ

Лист

33

Позиция по схеме	Наименование, краткая техническая характеристика, расчетные параметры (P, T)	Кол-во	Материал
1	2	3	4
	давления – 58,4 кПа - Холодная сторона (охлаждающая вода): $T_{расч.} = 120^{\circ}C$ ; $P_{расч.} = 1$ МПа (изб.), перепад давления – 12,1 кПа Поверхность теплообмена - 99,5 м <sup>2</sup> Тепловая нагрузка – 2089 кВт Габариты (Д x Ш x В) – 2135 x 780 x 2146 мм		
E-4984	Теплообменник четвертой секции циркуляции абсорбера Однопроходной пластинчатый теплообменник - Горячая сторона (4 секция циркуляции абсорбера: 86% - вода, 10% - формальдегид, 4% - метанол): $T_{расч.} = 120^{\circ}C$ ; $P_{расч.} = 1$ МПа (изб.), перепад давления – 13,7 кПа - Холодная сторона (охлаждающая вода): $T_{расч.} = 120^{\circ}C$ ; $P_{расч.} = 1$ МПа (изб.), перепад давления – 59,4 кПа Поверхность теплообмена - 480,6 м <sup>2</sup> Тепловая нагрузка – 2502 кВт Габариты (Д x Ш x В) – 2746 x 1174 x 2875 мм	1	1.4401 или аналог
E-4987	Охладитель продуктового формалина Однопроходной пластинчатый теплообменник - Горячая сторона (продуктовый формалин: 44% - вода, 55% - формальдегид, 1% - метанол): $T_{расч.} = 120^{\circ}C$ ; $P_{расч.} = 1$ МПа (изб.), перепад давления – 11 кПа - Холодная сторона (охлаждающая вода): $T_{расч.} = 120^{\circ}C$ ; $P_{расч.} = 1$ МПа (изб.), перепад давления – 46,5 кПа Поверхность теплообмена - 17 м <sup>2</sup> Тепловая нагрузка – 436 кВт Габариты (Д x Ш x В) – 1495 x 470 x 1084 мм	1	1.4401 или аналог
E-4990	Подогреватель отходящего газа Кожухотрубчатый теплообменник Для межтрубного пространства (пар): $T_{расч.} = 225^{\circ}C$ ; $P_{расч.} = 2,3$ МПа (изб.) Для трубного пространства (отходящие газы абсорбера): $T_{расч.} = 120^{\circ}C$ ; $P_{расч.} = 0,1$ МПа (изб.) Тепловая нагрузка – XXX кВт $G = 22,7$ т/ч Перепад давления в трубном пучке – XXXкПа	1	Нет данных
R-4941	Конвертер $D_{внутр.} = 4400$ мм; $L_{ц.части} = 1650$ мм $V =$ (нет информации) м <sup>3</sup> Для аппарата (спирто-воздушная смесь): $T_{расч.} = 300^{\circ}C$ ; $P_{расч.} = -0,05/+0,2$ МПа (изб.) Для змеевика (перегретая котловая вода): $T_{расч.} = 230^{\circ}C$ ; $P_{расч.} = 2,5$ МПа (изб.)	1	1.4571 или аналог
Z-995	Инсинератор	1	
XP-241	Пламегаситель конвертера Среда: спирто-воздушная смесь	1	1.4571 или аналог

Изм. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	Колуч.	Лист	№ док	Подп.	Дата

МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ

Лист

34

Позиция по схеме	Наименование, краткая техническая характеристика, расчетные параметры (P, T)	Кол-во	Материал
1	2	3	4
	$T_{расч.} = 250^{\circ}C$ ; $P_{расч.} = -0,1/+0,15$ МПа (изб.) $G=65$ т/ч		
ХР-242	Пламегаситель дренажа конвертера Среда: конденсат спирто-воздушной смеси $T_{расч.} = 200^{\circ}C$ ; $P_{расч.} = -0,1/+0,15$ МПа (изб.) $G=100$ кг/ч	1	1.4408 или аналог
ХР-243	Пламегаситель отходящих газов Среда: отходящие газы верхней секции абсорбера $T_{расч.} = 100^{\circ}C$ ; $P_{расч.} = -0,1/+0,15$ МПа (изб.) $G=25$ т/ч	1	1.4571 или аналог
В-4913/ В-4914	Компрессор циркуляционного газа Трехлопастной компрессор ротационного действия Среда: отходящие газы верхней секции циркуляции Производительность – 16000 м <sup>3</sup> /ч Мощность двигателя – 400 кВт $T_{расч.} = 150^{\circ}C$ ; $P_{расч.} = -0,1/+0,15$ МПа (изб.) Перепад давления (min/max) – 0,11 / 0,17 МПа	2	Никелированная углеродистая сталь
Р-4921	Насос откачки скруббера воздуха Горизонтальный, центробежный Транспортируемая среда – водо-метанольная смесь (88% - вода, 11% - формальдегид, 1% - метанол) Производительность – 4 м <sup>3</sup> /ч Напор – 54 м Скорость вращения вала – 2919 об/мин Мощность двигателя – 5,5 кВт	1	1.4408 или аналог
Р-4931/А,В	Насос циркуляции испарителя Горизонтальный, центробежный Транспортируемая среда – водо-метанольная смесь (57% - вода, 8% - формальдегид, 35% - метанол) Производительность – 598 м <sup>3</sup> /ч Напор – 25 м Скорость вращения вала – 1482 об/мин Мощность двигателя – 55 кВт	2 (раб., рез.)	1.4408 или аналог
Р-4932	Насос аварийного освобождения испарителя Горизонтальный, центробежный Транспортируемая среда – водо-метанольная смесь (70% - вода, 6% - формальдегид, 24% - метанол) Производительность – 35 м <sup>3</sup> /ч Напор – 50 м Мощность двигателя – 8 кВт	1	12Х18Н10Т или аналог
Р-4981/А,В	Насос первой секции циркуляции абсорбера Горизонтальный, центробежный Транспортируемая среда – водо-метанольная смесь (62% - вода, 37% - формальдегид, 1% - ме-	2 (раб., рез.)	1.4408 или аналог

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Изм.	Копуч.	Лист	№ док	Подп.	Дата

МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ

Лист

35

Позиция по схеме	Наименование, краткая техническая характеристика, расчетные параметры (P, T)	Кол-во	Материал
1	2	3	4
	танол) Производительность – 751 м³/ч Напор – 24 м Скорость вращения вала – 1485 об/мин Мощность двигателя – 75 кВт		
P-4982	Насос второй секции циркуляции абсорбера Горизонтальный, центробежный Транспортируемая среда – водо-метанольная смесь (63% - вода, 35% - формальдегид, 2% - метанол) Производительность – 620 м³/ч Напор – 23 м Скорость вращения вала – 1485 об/мин Мощность двигателя – 75 кВт	1	1.4408 или аналог
P-4983	Насос третьей секции циркуляции абсорбера Горизонтальный, центробежный Транспортируемая среда – водо-метанольная смесь (68% - вода, 29% - формальдегид, 3% - метанол) Производительность – 479 м³/ч Напор – 24 м Скорость вращения вала – 1482 об/мин Мощность двигателя – 55 кВт	1	1.4408 или аналог
P-4984	Насос четвертый секции циркуляции абсорбера Горизонтальный, центробежный Транспортируемая среда – водо-метанольная смесь (86% - вода, 10% - формальдегид, 4% - метанол) Производительность – 460 м³/ч Напор – 20 м Скорость вращения вала – 1482 об/мин Мощность двигателя – 45 кВт	1	1.4408 или аналог
P-4985/A,B	Продуктовый насос формалина Горизонтальный, центробежный Транспортируемая среда – формалин концентрированный малометанольный (44% - вода, 55% - формальдегид, 1% - метанол) Производительность – 120 м³/ч Напор – 51 м Скорость вращения вала – 1486 об/мин Мощность двигателя – 37 кВт	2 (раб., рез.)	1.4408 или аналог

Интв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	Копуч.	Лист	Недок	Подп.	Дата

МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ



### 1.2.4 Данные о распределении опасных веществ по оборудованию

Данные о распределении опасных веществ по оборудованию установки КФ-3 приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Данные о распределении опасных веществ по оборудованию установки КФ-3

№ п/п	Технологическое оборудование	Масса формальдегида, кг	Масса формалина, кг	Масса паров метанола, кг	Масса жидкого метанола, кг	Масса водорода, кг
1	2	3	4	5	6	7
1.	F-4941	0,504	–	5,055	–	0,076
2.	V-4921	–	–	0,366	–	–
3.	V-4951	–	–	0,8	2724,9	–
4.	V-4931	–	–	24,333	21054,0	–
5.	V-4911	–	–	–	–	0,016
6.	E-4941	0,094	–	0,941	–	0,014
7.	R-4941	3,519	–	0,102	–	0,136
8.	C-4981	12,902	11390,0	0,374	–	0,497
9.	C-4981/Section 1	8,443	12829,6	0,245	–	0,325
10.	C-4981/Section 2	5,832	15081,5	0,207	–	0,324
11.	C-4981/Section 3	3,38	14678,4	0,206	–	0,354
12.	C-4981/Section 4	0,606	8299,6	0,259	–	0,647
13.	C-4981/Section 5	0,139	–	0,059	–	0,161
<i>Итого</i>		<i>35,419</i>	<i>62279,1</i>	<i>32,117</i>	<i>23778,9</i>	<i>2,55</i>
Масса формалина в трубопроводах, кг			34684,2			
Масса метанола в трубопроводах, кг					6384,0	
<b>Всего на установке</b>		<b>35,419</b>	<b>96963,3</b>	<b>32,117</b>	<b>30162,9</b>	<b>2,55</b>

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №							Лист
			МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ						
Изм.	Коп.уч.	Лист	№ док	Подп.	Дата				

## 2 АНАЛИЗ РИСКА

### 2.1 Анализ известных аварий

#### 2.1.1 Перечень аварий и обобщенные данные об инцидентах, имевших место на рассматриваемом объекте

На предприятии ПАО «Метафракс» с 1982 по 1995 г.г. зафиксировано 19 случаев производственных неполадок, из них 17 – с аварийной остановкой отделений. Основными причинами неполадок являлось: ошибочные действия персонала (11 случаев), отключение электроэнергии (4 случая), неисправность оборудования и приборов (4 случая).

30 июня 2008 г. в цехе формалина (корп. 1609) произошел взрыв внутри емкости товарного формалина, выведенной в ремонт (поз.Т-7 объем – 500 м<sup>3</sup>). Взрыв привел к частичному разрушению емкости и групповому несчастному случаю со смертельным исходом. Причиной аварийной ситуации явились неудовлетворительная подготовка оборудования к проведению ремонта с использованием огневых работ, а также недостаточный контроль за проведением этих работ. Экономический ущерб от аварии составил 1856661 руб, затраты на ликвидацию последствий аварии – 568379 руб.

#### 2.1.2 Перечень наиболее опасных по последствиям аварий, имевших место на других аналогичных объектах, или аварий, связанных с обращающимися опасными веществами

Анализ крупномасштабных аварий, связанных с производством, хранением или транспортировкой метанола и формалина и других горючих жидкостей показывает, что все они произошли из-за различного рода разгерметизаций оборудования, его элементов или трубопроводов.

В этой связи ниже приведено описание известных аварий на объектах, схожих по возможным опасностям с проектируемым объектом (таблица 7). Это позволяет выявить общие закономерности возникновения и развития аварий.

Таблица 7 – Перечень аварий, имевших место на других аналогичных объектах

Дата, объект	Краткая характеристика аварии	Причина аварии
1	2	3
17.02.1978 г., г. Кемерово, НПО «Карболит»	Взрыв воздушно-метанольной смеси в спиртоиспарителе.	Источником взрыва послужил разряд статического электричества, образовавшийся во время заполнения спиртоиспарителя метанолом, падающей струей с высоты три метра.
12.03.1978 г. Мозырский НПЗ Установка ЛК-6У	Разрушение во время работы переднего подшипника насоса типа НК-500/300. Загорание в насосной секции первичной переработки нефти от насоса, перекачивающего фракцию бензина 620С-1800С (В течение послед-	В результате заклинивания подшипника произошло оплавление обойм и шаров, выходной конец вала срезался в месте посадки переднего подшипника из-за перегрева металла вала до пластического состояния. Корпус подшипников ока-

Изн. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	Колуч.	Лист	Недок.	Подп.	Дата

МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ

Лист

38

Дата, объект	Краткая характеристика аварии	Причина аварии
1	2	3
	них 5 дней перед аварией насос трижды подвергался ремонту в связи с выходом из строя подшипников). В результате аварии повреждена кабельная трасса, проходящая в районе насоса Н-11а на высоте 6 м. Выход из строя около 80 различных кабелей	зался оторванным от улитки насоса, графитовое кольцо торцевого уплотнения лопнуло. Это все привело к пропуску бензина и его возгоранию
20.04.1978 г., г. Могилевск, ПО «Химволокно»	Утечка паров метанола из испарителя во фланцевые соединения.	Применение в качестве прокладки материала не по проекту.
13.12.80. Данковский химзавод.	Взрыв емкости с бензолом с последующим пожаром. Один человек погиб. Материальный ущерб составил ~ 7000 руб. Потеря продукции — на 220 тыс. руб. Простой отделения составил 12 суток.	При разогреве емкости с бензолом превысили допустимую температуру. Вместо 50 °С достигли 110 °С.
1983. г. Дудинка.	Взрыв в районе насосной резервуарного парка установки переработки газового конденсата. Ударной волной был разрушен резервуар с 5000 т конденсата, находившийся в 47 м от насосной. Горящая жидкость перехлестнула обваловку и разлилась по территории парка. Площадь пожара составила 18000 м <sup>2</sup> . Пожар длился 28 часов. Погибло 2 человека.	Разгерметизация конденсатопровода.
1983 г., г. Губаха, Пермской обл., (в настоящее время ПАО «Метафракс»)	Из-за резкого падения давления отходящих газов произошел подсос воздуха и прорыв пламени в линию подачи формалина с производства на склад с последующим загоранием продукта. Пострадавших нет.	Аварийно были остановлены агрегаты №1-4 в результате отключения подачи электропитания с подстанции при коротком замыкании в обмотке электродвигателя воздухоудовки.
1983 г., г. Губаха, Пермской обл., (в настоящее время ПАО «Метафракс»)	Пролив формалина на землю, что привело к загрязненности в районе склада. Пострадавших нет.	Несоблюдение персоналом технологической дисциплины при проведении работ с емкостью формалина.
1983 г.,	При разрыве предохранитель-	Разрыв предохранительной

Изм.	Копуч.	Лист	Недок	Подп.	Дата
Изм. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №			

МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ

Лист

39

Дата, объект	Краткая характеристика аварии	Причина аварии
1	2	3
г. Губаха, Пермской обл., (в настоящее время ПАО «Метафракс»)	тельной мембраны и выбросе взрывоопасной смеси формальдегида из контактного аппарата был остановлен агрегат №1. Пострадавших нет.	мембраны произошел в результате ошибочных действий персонала (аппаратчика, начальника и мастера смены) по поддержанию нормального технологического процесса в аппарате.
27.02.1984 г. НГДУ «Холмогорнефть» г. Ноябрьск	Пожар в резервуаре с нефтью	Вследствие некачественного производства строительно-монтажных работ и сильной ветровой нагрузки произошел отрыв кровли от стенки резервуара. В результате этого образовалась искра.
04.09.1984 г. ЗАО «Сибур-Химпром»	Пожар в промпарке производства синтетических жирных спиртов и кислот (цех 34) корп. 351 в результате перелива 2-этилгексенала из резервуара Е-46 а, попадания его на изоляцию и дальнейшего самовозгорания	Неисправность уровнемера, непринятие своевременных мер технологическим персоналом по устранению неполадки и предотвращению перелива емкости
13.02.1986 г. ЛПДС «Платина» Свердловская область	Хлопок и вспышка с появлением пламени и дыма у надкранной стенки резервуара с нефтью	Применение открытого источника огня для отогрева сифонного водоспускного крана подтоварной воды
06.08.86. Череповецкий АТЗ.	Воспламенение паров бензола на участке кислотных мешалок. В результате аварии два человека получили тяжелые травмы. Материальный ущерб составил 1500 рублей, отделение было остановлено на 2 суток.	Из-за пропуска бензола и этилбензола через сальниковое уплотнение перемешивающего устройства мешалки, расположенной в помещении участка кислотных мешалок, произошло истечение паро-жидкостной смеси. От разряда статического электричества произошел хлопок паро-воздушной смеси с последующим загоранием в объеме помещения.
31.05.86. ПО «Орск-Нефтеоргсинтез».	Хлопок паров бензина в холодной насосной.	Разгерметизация неподготовленного участка бензинового трубопровода и проведение газоопасных работ (проведение сварочных работ на расстоянии 14 м от насосной).
18.03.86. ПО «Кириши-	Взрыв паров бензина в районе резервуарного	Перелив бензина из резервуара при его заполнении,

Ив. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	Копуч.	Лист	Недок	Подп.	Дата

МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ

Лист

40

Дата, объект	Краткая характеристика аварии	Причина аварии
1	2	3
Нефтеоргсинтез».	парка с последующим пожаром.	загазованность территории парка до взрывоопасной концентрации.
21.05.1987 г. НГДУ «Иркеннефть» Татарская АССР	Взрыв паро-воздушной смеси внутри резервуара с товарной нефтью с разрушением стенки	Механическое разрушение верхних опорных конструкций центральной стойки
25.02.1988 г. НПЗ г. Чимкент	Взрыв паро-воздушной смеси в резервуаре с ловушечной нефтью. Семь сотрудников пожарной охраны получили ожоги (один из них скончался в больнице)	Механическое разрушение крыши
22.08.1988 г. Ишимбайский НПЗ	При освобождении трубопровода от бензина произошло загазование колодца, где находилась задвижка. Вспышка паров бензина. Пострадавших - 3 человека, из них один - со смертельным исходом	Нарушение правил проведения работ
06.01.1989 г. ЗАО «Сибур-Химпром»	Пожар на установке 2-этилгексанола производства масляных альдегидов и бутиловых спиртов (цех № 33) в результате выброса 2-этилгексанола из емкости Е-6 через воздушку с последующим его самовозгоранием.	Замерзание участка системы азотного «дыхания», неправильные действия технологического персонала.
09.06.1989 г. Рязанский НПЗ	Взрыв паро-воздушной смеси с последующим факельным горением в местах подрыва крыши и трещинах в верхнем поясе резервуара с нефтью	Грозовой разряд
07.07.1989 г., г. Нижний-Тагил, ПО «Уралхимпласт»	В контактном аппарате произошел хлопок паров метанола	Отключение электроэнергии во время попытки запустить аппарат.
30.08.1989 г. ЗАО «Сибур-Химпром»	Пожар в промпарке производства синтетических жирных спиртов и кислот (цех 34) корп. 351 в результате разлива дренажного продукта из-за перелива подземной емкости Р-1 с последующим его самовозгоранием	Негерметичность емкости Р-1, неисправность арматуры на трубопроводе приема в емкость Р-1, неисправность насосов для откачки дренажного продукта из подземной емкости Р-1
03.12.1989 г. Сырьевая база «Кара-	Загорание проливов и замазученной почвы в обва-	Занос открытого пламени

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Изм.	Копуч.	Лист	№ док	Подп.	Дата

МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ

Лист

41

Дата, объект	Краткая характеристика аварии	Причина аварии
1	2	3
Дере» Батумского НПЗ	ловании	
1990 г. Бостон (США)	Взрыв бензиновой емкости объемом 6 м <sup>3</sup> . Погибло 2 человека	Проведение огневых работ на плохо пропаренной емкости. Установлено, что неправильно пользовались переносным анализатором паров горючего
16.01.1990 г. ЗАО «Сибур-Химпром»	Пожар на установке 2-этилгексанола производства синтетических жирных спиртов и кислот (цех 34) в результате пропуска задвижки на воздушке емкости Е-122/2, попадания продукта на технологические трубопроводы с последующим его самовозгоранием	Коррозия задвижки на воздушке емкости Е-122
21.06.90. г. Нефтеюганск, ЛПДС «Каркатеевы»	Локальный взрыв паровоздушной смеси в резервуаре.	Попадание разряда атмосферного электричества в резервуар.
17.04.91. НПЗ ПО «Ангарскнефтеоргсинтез»	Пожар разлива бензина в холодной насосной с распространением на аппараты АВЗ. Развитию пожара способствовало несвоевременное его обнаружение и включение в действие системы пенотушения в холодной насосной. Материальный ущерб — 4000 руб.	Рзгерметизация торцевого уплотнения насоса по перекачке бензина. Воспламенение паров бензина от разогретого вала.
30.05.91 г., г. Краснокамск, Пермская обл. ЦБК	При производстве сварочных работ в цехе по производству метанола произошел взрыв газа в метаноловой колонне. 7 человек получили ожоги.	Нарушение правил техники безопасности.
21.06.1991 г. ЛПДС «Каркатеевы» г. Нефтеюганск	Локальный взрыв паровоздушной смеси в резервуаре с товарной нефтью	Попадание разряда атмосферного электричества
1992 г., г. Дзержинск, Нижегородской обл., Фирма «Карбохим»	В процессе ремонтно-профилактических работ при проведении сварки произошел взрыв газа в емкости из-под формалина объемом 100м <sup>3</sup> . В результате взрыва смертельно травмированы 2 человека.	Нарушение правил техники безопасности.
1993 г.,	Произошло возгорание	Попадание разряда атмо-

Инд. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	Копч.	Лист	Недок	Подп.	Дата

МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ

Лист

42

Дата, объект	Краткая характеристика аварии	Причина аварии
1	2	3
г. Новомосковск, Тульской обл.	емкости с метанолом объемом 200 м <sup>3</sup> . Пострадавших нет.	сферного электричества в резервуар.
03.12.1993 г. НГДУ «Тарасовскнефть» пос. Губкинский	Взрыв с последующим горением внутри резервуара с нефтью	Несоблюдение правил пожарной безопасности при проведении сварочных работ
17.01.1996 г. ОАО «Ангарская нефтяная компания»	Взрыв паров бензола с последующим пожаром в резервуаре, предназначенном для приема и выдачи бензола	Воспламенение паровоздушной смеси бензола в надпонтонной части в результате трения понтона о направляющие стойки; несоблюдение графика ППР на ремонт резервуара
30.10.1996 г. АО «Уфанефтехим» установка АТ-2	В результате переполнения емкости, объемом 3 м <sup>3</sup> дизельным топливом, произошло его загорание при попадании на горячую линию мазута	Переполнение емкости
17.02.2000 г., ОАО "Ангарская НХК", установка ЭЛОУ	При ведении технологического процесса произошла разгерметизация насоса, перекачивающего бензин, приведшая к истечению продукта и его загоранию в помещении насосной	Разгерметизация насоса
04.01.2002 г. Установка риформинга ЛЧ 3511/1000 ОАО «Московский НПЗ»	Из-за загазованности колодца промышленной канализации произошла вспышка паров нефтепродуктов с последующим пожаром.	Утечка нефтепродукта
21.06.2002 г. Станция Красноярск-Вост.	Пролив изооктилового спирта. Жертв нет.	Образование трещины в котле цистерны
22.08.2003 г. ОАО "Саратовнефтепродукт" ОАО НК "Сиданко"	На нефтескладе при подготовке резервуара РВС-700 к зачистке через открытый люк произошло загазование территории парами бензина и его воспламенение	Нарушение правил проведения работ
31.05.2005 ОАО «НК «Роснефть», Кабардино-Балкарская компания	В резервуарном парке при производстве подготовительных работ по откачке «мертвого остатка» из резервуара с последующей его зачистки произошло воспламенение паров нефтепродуктов. Ожоги	Ошибки персонала при проведении ремонтных работ.

Инд. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	Копуч.	Лист	Недок	Подп.	Дата

МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ

Лист

43

Дата, объект	Краткая характеристика аварии	Причина аварии
1	2	3
	получили двое рабочих.	
02.08.2006 г. ООО «ИНВЕСТ»	На складе горюче-смазочных материалов во время зачистки резервуара от остатков бензина АИ-80 произошел взрыв паров с последующим пожаром. Пострадали 3 человека, один из них получил смертельную травму	Нарушение правил проведения работ и правил пожарной безопасности
11.12.2006 г. ОАО «ЛУКОЙЛ-Ухтанефтепродукт»	На участке отгрузки нефтепродуктов при наливке дизельного топлива в автоцистерну произошел взрыв с последующим пожаром. Пострадали 2 человека, один из них получил смертельную травму	Нарушение правил проведения работ и правил пожарной безопасности
16.02.2011 г. ООО «Томсктерминал»	В здании слива-налива нефтепродуктов Томской перевалочной нефтебазы во время завершения операции по зачистке железнодорожной цистерны при отключении вакуумного насоса произошел взрыв, в результате которого частично разрушена кровля и наружная стена здания. Пострадавших нет.	Нарушение правил проведения работ и правил пожарной безопасности
28.03.2011 г. ОАО «Ново-Уфимский НПЗ»	Взрыв на резервуаре, предназначенном для приема, хранения, учета и отпуска нефтепродукта, с отрывом крыши резервуара и последующим пожаром на площадке товарного производства участка по обслуживанию установок газокаталитического и топливного производств.	Самовозгорание пиррофорных соединений при повышении температуры окружающего воздуха, образовавшихся (накопившихся) в процессе эксплуатации резервуара и повлекшее за собой взрыв паровоздушной смеси в пространстве между кровлей резервуара и «зеркалом» нефтепродукта.
20.05.2011 Склад автомобильных масел г. Уфа	Пожар масла на складе. Пожар в ангаре начался в 18.40 по местному времени (16.40 мск) воскресенья. Огонь охватил порядка 300 квадратных метров, на которых хранилось 200 тонн масла.	Нарушение правил проведения работ и правил пожарной безопасности
20.05.2011 Завод моторных масел в Австралии г.	Пожар масла. Пожар начался в офисе одного из	Нарушение правил пожарной безопасности

Инов. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	Копуч.	Лист	Недок	Подп.	Дата

МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ

Лист

44



Дата, объект	Краткая характеристика аварии	Причина аварии
1	2	3
Мельбурн	должностных лиц завода и затем перекинулся на весь завод. Во время пожара, сгорело 500 тысяч литров моторного масла	
25.05.2011 г. ООО «СибПром»	При наливке мазута в автоцистерну произошел взрыв с выбросом мазута из автоцистерны с последующим пожаром. Повреждено устройство налива АСН-100. Пострадали 2 человека, один из них получил смертельную травму	Нарушение правил проведения работ и правил пожарной безопасности
11.02.2012 Склад бытовой техники в г. Верхняя Пышма Свердловской области	Пожар масла на складе. По данным ГУ МЧС Свердловской области, в ходе пожара на складе загорелось масло из радиаторов. Для его тушения была произведена пенная атака. В тушении огня, помимо пожарных, принимают участие курсанты Уральского института ГПС МЧС России. К моменту прибытия пожарных огонь распространился на площади в 1000 кв.м, однако он быстро распространялся и вскоре его площадь возросла до 5000 кв. Погибших и пострадавших нет	Нарушение правил проведения работ и правил пожарной безопасности
ФГУ Комбинат «Минерал»	Сход с рельсов двух вагонов-цистерн, груженых дизельным топливом, на путях необщего пользования. Пролива продукта не произошло, последствия инцидента своевременно ликвидированы	Образование уширения путей до 1554 мм на кривом участке, что привело к "провалу" колесной пары

### 2.1.3 Анализ основных причин произошедших аварий

Проанализированы 47 аварийных ситуаций, произошедшие на других аналогичных объектах в период с 02.78 г. по 02.2012 г.

Инд. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	Колуч.	Лист	Недок	Подп.	Дата

МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ

Лист

45

Анализ основных причин произошедших аварий позволил выделить следующие взаимосвязанные группы причин, характеризующиеся:

- отказами (неполадками оборудования) – 34.04 % от всех причин;
- ошибочными действиями персонала – 57.45 %;
- внешними воздействиями природного и техногенного характера – 8.51 %.

## 2.2 Анализ условий возникновения и развития аварий

### 2.2.1 Определение возможных причин возникновения аварий и факторов, способствующих возникновению и развитию аварий

Основным фактором, определяющим взрывопожароопасность установки формалина, является обращение в технологическом процессе следующих опасных веществ: формальдегид (ГГ), метанол (ЛВЖ), формалин (ГЖ). Кроме того, формальдегид (в т.ч. в составе формалина) является токсичным веществом, что обуславливает химическую опасность рассматриваемого объекта.

Анализ свойств веществ, обращающихся на установке, условий ведения технологического процесса и изучение опыта крупных аварий позволяют утверждать, что в процессе эксплуатации оборудования не исключена возможность при его разгерметизации в случае нарушения параметров процесса различных по массе выбросов горючих и химически опасных веществ.

Наибольшее количество метанола в выбросе может реализоваться при авариях/разрушениях на испарителе метанола, в то время как разрушение или разгерметизация системы абсорбции формалина может привести к выбросу наибольшего количества газообразного формальдегида и формалина, нагретого выше температуры вспышки.

Воспламенение выброса во многих случаях происходит от какого-либо источника зажигания, находящегося на некотором расстоянии от места выброса.

Сгорание облака паров ЛВЖ и ГЖ может происходить в различных режимах распространения пламени (дефлаграция, детонация).

В ряде случаев наблюдавшимся авариям присущ цепной механизм их развития (принцип «домино»), когда поражающие факторы первичной аварии приводят к дополнительным разрушениям другого оборудования и реализации заключенных в нем опасностей. Последние, в свою очередь, снова создают поражающие факторы, и вся описанная цепочка повторяется.

В зависимости от характера разгерметизации, погодных условий, а также особенностей размещения оборудования на производственной площадке объекта аварии могут реализоваться в следующих видах:

- **дефлаграционный взрыв** – сгорание предварительно перемешанных паровоздушных смесей в открытом пространстве с дозвуковыми скоростями;
- **горение** (пожар) пролива – диффузионное горение паров ЛВЖ и ГЖ в атмосфере на открытой площадке;
- **токсическая волна** – распространение облаков паров опасных химических веществ;
- **создание взрывоопасной зоны**, внутри которой существуют горючие газы или пары при концентрациях, превышающих концентрацию на нижнем пределе распространения пламени.

Следует подчеркнуть, что взрывы и пожары могут происходить как на открытых площадках, так и в помещении и внутри оборудования.

Если горение проливов, струй реализуется чаще всего на открытых площадках, то хлопки, взрывы могут происходить как на открытых площадках, так и в помещениях и внутри оборудования. Взрыв взрывоопасной среды внутри оборудования и коммуникаций возможен при выводе оборудования в ремонт и при пуске в эксплуатацию.

Ив. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	Копуч.	Лист	Недок	Подп.	Дата

МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ

Не исключена возможность разрушения трубопроводов вследствие гидроударов при быстром открытии или закрытии запорной арматуры.

Возможны также загорания паров горючих жидкостей при вскрытии оборудования или отдельных участков трубопроводов при подготовке к ремонту или при проведении ремонтных работ.

Во время операций по подготовке оборудования к ремонту и к пуску возможны взрывы парогазовых смесей внутри оборудования при недостаточном вытеснении воздуха из системы.

Используемые на объекте насосы также представляют опасность для обслуживающего персонала в случае их разрушения.

События, способные привести к возникновению и развитию аварийных ситуаций на рассматриваемом объекте могут быть разделены на три группы:

**к первой группе** будем относить перебои в подаче сырья, электроэнергии, воды и пара;

**ко второй группе** – внешние опасности, связанные с соседними производствами или объектами, движением транспорта, природные опасности и акты саботажа (диверсии);

**третья группа** включает в себя отказы оборудования (насосов, вентиляторов), средств контроля и управления параметрами технологического процесса, ошибочные действия или бездействие персонала, разгерметизация оборудования и трубопроводов.

Для третьей группы причин проводится количественная оценка вероятности реализации опасных событий и достаточности технических и организационных решений, направленных на предупреждение, обнаружение и снижение последствий опасных событий; для первой и второй групп – качественная оценка.

**Первая группа опасностей**

*При отсутствии или перебомах в подаче на объект сырья, электроэнергии, сжатого воздуха для средств КИПиА, воды и пара технологические процессы прекращаются в соответствии с инструкциями по безопасной эксплуатации. Анализ ситуаций показывает, что при исправных системах управления и регулирования, правильных и своевременных действиях обслуживающего персонала остановка может быть проведена без возникновения каких-либо опасных ситуаций.*

При прекращении подачи пожарохозяйственной воды возрастает риск увеличения ущерба от пожара в случае крупномасштабной аварии.

**Вторая группа опасностей**

*Опасности, связанные с соседними производствами или объектами.*

Территория проектируемой установки формалина может быть вовлечена в зону действия поражающих факторов потенциальных аварий на соседних производствах, например, в зону действия токсической аммиака в результате аварий в цехе подготовки производств или в зону действия взрывных нагрузок при авариях в производстве метанола.

*Опасности, связанные с движением транспорта* заключаются не только в возможности появления источника зажигания взрывоопасного облака, но и в возможности разрушения трубопроводов, например, в результате наезда. Этот вид опасностей представляется маловероятным, так как въезд машин на территорию площадки ограничен, монтаж оборудования на площадке предусматривает наличие транспортных развязок. Кроме того, основные коммуникации смонтированы на эстакадах высотой, предусматривающей высоту транспортных средств. Маловероятной является также опасность, связанная с падением летательных аппаратов. Однако последствия этих опасностей могут быть катастрофическими.

*Природные опасности.* При высокой температуре окружающей среды в летнее время, особенно при нарушении окраски емкостного оборудования увеличивается

Инд. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	Копуч.	Лист	Недок	Подп.	Дата	МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ	Лист
							47

температура стенки аппарата и соответственно давление насыщенных паров ГЖ внутри. Опасность разгерметизации и ее последствий возрастает.

В случае низкой температуры окружающей среды при наличии влаги или конденсата в оборудовании и трубопроводах и при нарушении их обогрева возможно образование гидратных или ледяных пробок и разрушение трубопровода и арматуры под их механическим воздействием.

Определенную опасность представляют молнии как потенциальный источник зажигания при неисправности системы молниезащиты.

Одним из природных факторов риска, который следует отметить, является морозная пучинистость грунтов.

*Опасности, связанные с актами саботажа и диверсиями.*

Последствия этих опасностей могут быть весьма серьезными, вплоть до полного разрушения объекта. Вероятность крупных аварий, связанных с указанным видом опасностей, определяется, в основном, мероприятиями организационного и социального характера, оценить которые с приемлемой точностью в настоящее время не представляется возможным.

### **Третья группа опасностей**

Возможные последствия ошибок персонала и/или отказов средств контроля и автоматизации технологического процесса, в результате которых происходит разгерметизация отдельных единиц оборудования или трубопроводов, содержащих опасные вещества, варьируются в широкой степени: от последствий, сравнимых с утечками, до полного разрушения оборудования и выброса всего их содержимого.

Третья группа аварий характерна не только для производств с большим количеством ручных операций, но и для производств, в которых вмешательство человека требуется,

как правило, только в аварийных ситуациях.

Причинами этих аварий являются:

- ошибки оператора;
- отключение систем сигнализации из-за ложных срабатываний;
- ошибки при передаче информации между персоналом;
- несанкционированное проведение огневых и газоопасных работ и т.д.

Предпосылками третьей группы аварий являются:

- отсутствие у персонала знаний о возможных опасностях;
- отсутствие у персонала достаточных навыков;
- переоценка персоналом своих возможностей.

*Остановка или поломка насосов* может произойти при нарушениях правил пуска, при отказе приборов КИПиА, из-за невнимательности персонала при контроле работы механизмов. Это может привести к разгерметизации насоса или его элементов и выбросу опасного вещества с последующим загоранием пролива и/или взрывом его паров.

*Поломка или остановка вентиляторов* не приводит к разгерметизации технологического оборудования, но создает опасность загазованности производственных помещений, что при неблагоприятных условиях может привести к взрыву в помещении. Утечки горючих газов в помещении могут представлять опасность в случае неработоспособности системы контроля загазованности воздуха в помещении и при неэффективной вентиляции.

*Разгерметизация оборудования, трубопроводов.* Возможными причинами разгерметизации является ослабление фланцевых соединений или их неправильная затяжка, использование неподходящих материалов в качестве прокладок или в качестве сальниковых набивок, выход из строя отдельных движущихся частей, запорной или предохранительной арматуры, из-за вибрации, дефектов материала оборудования, трубопроводов, прокладок.

Инд. № подл.	Взам. инв. №
	Подп. и дата

Изм.	Копуч.	Лист	№ док	Подп.	Дата	МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ	Лист
							48

Последствия этих событий могут привести как к незначительным по продолжительности утечкам продуктов, так и к полному разрушению оборудования с залповым выбросом достаточно большого количества горючих и токсичных продуктов.

Образование факелов при воспламенении горючих струй, воздействие их на оборудование и строительные конструкции могут приводить к разгерметизации оборудования, попадающего в зону их воздействия, и приводить к разрушению оборудования с выбросом той массы, которая непосредственно находится в оборудовании и ее воспламенению. В результате конечные последствия будут определяться характером взрыва массы продукта, вышедшего из оборудования. Поэтому последствия действия горящих струй отдельно от разгерметизации оборудования рассматриваться не будут, а струя будет оцениваться как действующий источник зажигания.

Небольшие утечки ГЖ не создают угрозу формирования ударной волны при воспламенении, но не исключают возможности инициирования развития крупной аварии на площадке самой установки, насыщенной в высокой степени металлоконструкциями и оборудованием.

*Здания с помещениями операторной и венткамер.* При подходе взрывоопасного облака к зданию оно может попасть по линии воздухозабора к вентилятору и воспламениться. Поджигание взрывоопасной смеси возможно и от электроустановки и приборов КИПиА, расположенных в помещении операторной, куда подается воздух приточной вентиляцией. Таким образом, здание является, по сути, постоянно действующим источником зажигания и при определенных обстоятельствах может способствовать реализации сверхзвукового режима сгорания образовавшихся облаков (детонации).

## 2.2.2 Определение сценариев аварий с участием опасных веществ

Определение сценариев возникновения и развития аварийных ситуаций на проектируемом объекте по рассмотренным выше причинам осуществлялось с использованием блок-схемы (рисунок 4). Блок-схема предусматривает поэтапное развитие аварий на трех уровнях в зависимости от их масштабов и тяжести последствий.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №					МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ	Лист
			Изм.	Копуч.	Лист	№ док		Подп.

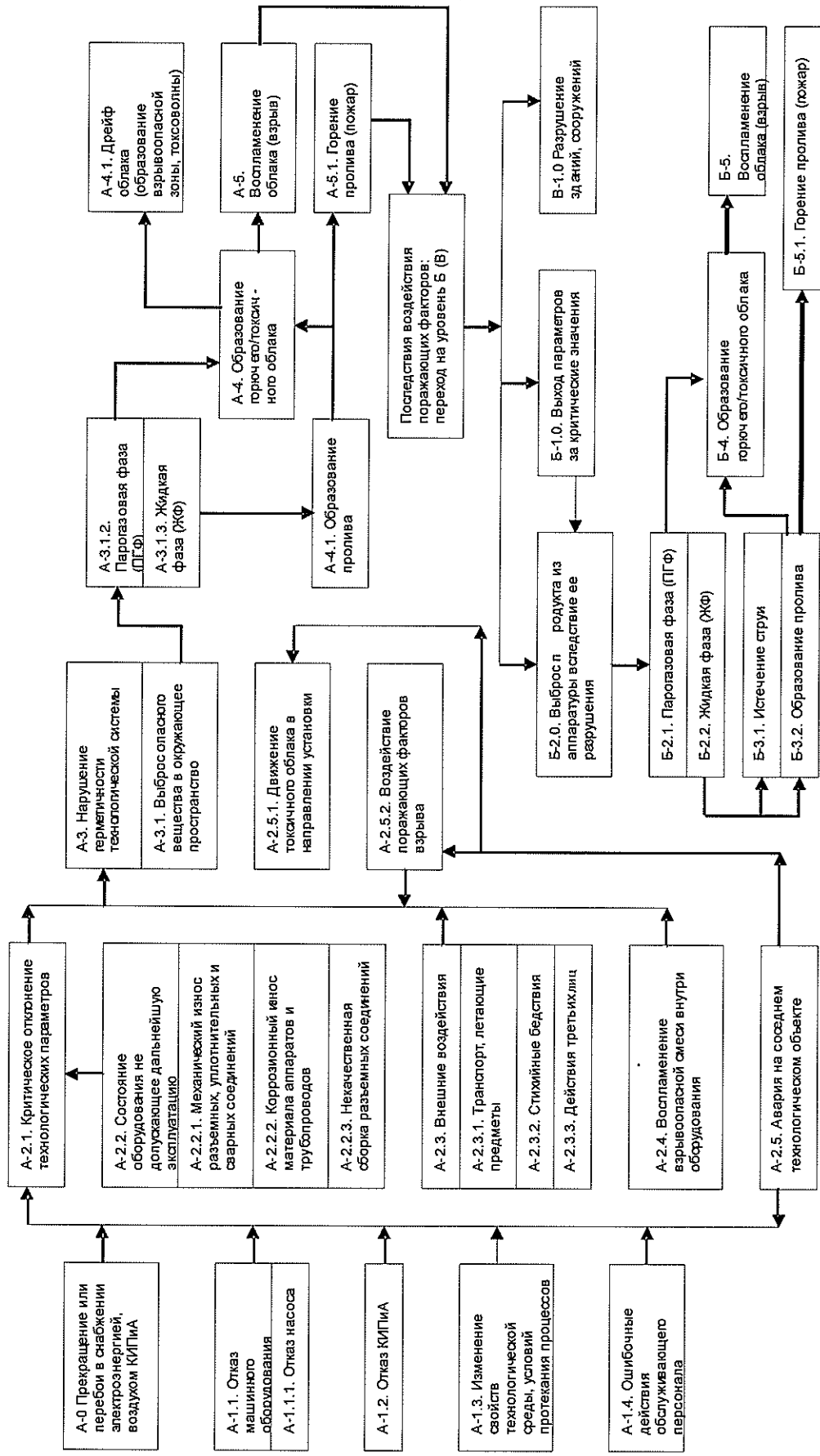


Рисунок 4 – Блок-схема сценариев развития аварий

Основные аварийные ситуации на объекте, как показано выше, связаны с разрушением (полным или частичным) оборудования и коммуникаций. Поэтому именно эти варианты аварий положены в основу следующих типовых сценариев.

**Сценарий С1.** Полное разрушение испарителя метанола поз. V-4931 → выброс опасного вещества → образование первичного горючего/токсичного облака → пролив жидкой фазы в поддон → испарение опасного вещества с поверхности пролива с образованием вторичного горючего облака → дрейф облаков с образованием взрывоопасной зоны/токсиковазны → воспламенение облака (дефлаграционный взрыв), пожар пролива при наличии источника зажигания → воздействие барических, токсических и термических нагрузок на людей, технологическое оборудование, здания и сооружения.

**Сценарий С2.** Частичная разгерметизация испарителя метанола поз. V-4931 (образование отверстия Ø 25, 100 мм) → истечение опасного вещества → образование пролива жидкой фазы в поддоне → пожар пролива при наличии источника зажигания<sup>1</sup> → воздействие термических нагрузок на людей, технологическое оборудование, здания и сооружения.

**Сценарий С3.** Полное разрушение абсорбера формалина поз. С-4981 → выброс опасного вещества → образование первичного горючего/токсичного облака → пролив жидкой фазы на подстилающую поверхность → испарение опасного вещества с поверхности пролива с образованием вторичного горючего/токсичного облака → дрейф облаков с образованием взрывоопасной зоны/токсиковазны → воспламенение облака (дефлаграционный взрыв), пожар пролива при наличии источника зажигания → воздействие барических, токсических и термических нагрузок на людей, технологическое оборудование, здания и сооружения.

**Сценарий С4.** Частичная разгерметизация абсорбера формалина поз. С-4981 (образование отверстия Ø 25, 100 мм) → истечение опасного вещества → образование пролива жидкой фазы в поддоне → испарение пролива с образованием токсиковазны → пожар пролива при наличии источника зажигания<sup>1</sup> → воздействие термических нагрузок на людей, технологическое оборудование, здания и сооружения.

**Сценарий С5.** Полное разрушение реактора поз. R-4941 → выброс опасного вещества → образование первичного горючего/токсичного облака → дрейф облака с образованием взрывоопасной зоны/токсиковазны → воспламенение облака (дефлаграционный взрыв) при наличии источника зажигания → воздействие барических и токсических нагрузок на людей, технологическое оборудование, здания и сооружения.

**Сценарий С6.** Частичная разгерметизация реактора поз. R-4941 (образование отверстия Ø 25, 100 мм) → истечение опасного вещества → образование вторичного горючего/токсичного облака → дрейф облака с образованием взрывоопасной зоны/токсиковазны → воспламенение облака (дефлаграционный взрыв) при наличии источника зажигания → воздействие барических и токсических нагрузок на людей, технологическое оборудование, здания и сооружения.

**Сценарий С7.** Полное разрушение сепаратора поз. V-4911 → выброс опасного вещества → образование первичного горючего/токсичного облака → дрейф облака с образованием взрывоопасной зоны/токсиковазны → воспламенение облака (дефлагра-

<sup>1</sup> Предварительные расчеты показали, что в данном случае при воспламенении возможен только пожар пролива жидкой фазы, т.к. при испарении пролива интенсивности поступления опасного вещества в атмосферу не достаточно для образования взрывоопасного облака (не набирается масса во взрывоопасных пределах).

Инд. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	Колуч.	Лист	Недок	Подп.	Дата

ционный взрыв) при наличии источника зажигания → воздействие барических и токсических нагрузок на людей, технологическое оборудование, здания и сооружения.

**Сценарий С8.** Частичная разгерметизация сепаратора поз. V-4911 (образование отверстия Ø 25, 100 мм) → истечение опасного вещества → образование вторичного горючего/токсичного облака → дрейф облака с образованием взрывоопасной зоны/токсической волны → воспламенение облака (дефлаграционный взрыв) при наличии источника зажигания → воздействие барических и токсических нагрузок на людей, технологическое оборудование, здания и сооружения.

**Сценарий С9.** Полное разрушение фильтра поз. F-4941 → выброс опасного вещества → образование первичного горючего/токсичного облака → дрейф облака с образованием взрывоопасной зоны/токсической волны → воспламенение облака (дефлаграционный взрыв) при наличии источника зажигания → воздействие барических и токсических нагрузок на людей, технологическое оборудование, здания и сооружения.

**Сценарий С10.** Частичная разгерметизация фильтра поз. F-4941 (образование отверстия Ø 25, 100 мм) → истечение опасного вещества → образование вторичного горючего/токсичного облака → дрейф облака с образованием взрывоопасной зоны/токсической волны → воспламенение облака (дефлаграционный взрыв) при наличии источника зажигания → воздействие барических и токсических нагрузок на людей, технологическое оборудование, здания и сооружения.

**Сценарий С11.** Полное разрушение емкости метанола поз. V-4951 → выброс опасного вещества → образование пролива жидкой фазы в поддоне → пожар пролива при наличии источника зажигания<sup>2</sup> → воздействие термических нагрузок на людей, технологическое оборудование, здания и сооружения.

**Сценарий С12.** Частичная разгерметизация емкости метанола поз. V-4951 (образование отверстия Ø 25, 100 мм) → истечение опасного вещества → образование пролива жидкой фазы в поддоне → пожар пролива при наличии источника зажигания<sup>2</sup> → воздействие термических нагрузок на людей, технологическое оборудование, здания и сооружения.

**Сценарий С13.** Полное разрушение теплообменника поз. E-4941 → выброс опасного вещества → образование первичного горючего/токсичного облака → дрейф облака с образованием взрывоопасной зоны/токсической волны → воспламенение облака (дефлаграционный взрыв) при наличии источника зажигания → воздействие барических и токсических нагрузок на людей, технологическое оборудование, здания и сооружения.

**Сценарий С14.** Частичная разгерметизация теплообменника поз. E-4941 (образование отверстия Ø 25, 100 мм) → истечение опасного вещества → образование вторичного горючего/токсичного облака → дрейф облака с образованием взрывоопасной зоны/токсической волны → воспламенение облака (дефлаграционный взрыв) при наличии источника зажигания → воздействие барических и токсических нагрузок на людей, технологическое оборудование, здания и сооружения.

**Сценарий С15.** Разрушение насосного оборудования, перекачивающего ЛВЖ или ГЖ → истечение опасного вещества → образование пролива жидкой фазы в под-

<sup>2</sup> Предварительные расчеты показали, что в данном случае при воспламенении возможен только пожар пролива жидкой фазы, т.к. массы ПГФ в аппарате (0,8 кг) не достаточно для образования взрывоопасного облака. Кроме того, при испарении пролива также не набирается масса во взрывоопасных пределах.

Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Копуч.	Лист	Недок	Подп.	Дата	МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ	Лист
							52



доне → образование вторичного горючего/токсичного облака → пожар пролива при наличии источника зажигания<sup>3</sup> → воздействие термических и токсических нагрузок на людей, технологическое оборудование, здания и сооружения.

**Сценарий С16.** Частичная разгерметизация насосного оборудования, перекачивающего ЛВЖ или ГЖ (образование отверстия Ø 5, 12,5, 25, 50 мм) → истечение опасного вещества → образование пролива жидкой фазы в поддоне → образование вторичного горючего/токсичного облака → пожар пролива при наличии источника зажигания → воздействие термических и токсических нагрузок на людей, технологическое оборудование, здания и сооружения.

**Сценарий С17.** Разрушение (на полное сечение) трубопровода хвостового газа между установкой КФ-3 и инсинератором → струйное истечение газовой фазы из трубопровода → образование факельного горения при наличии источника зажигания (горизонтальный факел, ориентированный вдоль оси трубопровода) → воздействие термических нагрузок на людей, технологическое оборудование, здания и сооружения.

**Сценарий С18.** Разгерметизация трубопровода хвостового газа между установкой КФ-3 и инсинератором (образование отверстия Ø 12,5, 25, 50, 100 мм) → струйное истечение газовой фазы из трубопровода → образование факельного горения при наличии источника зажигания → воздействие термических нагрузок на людей, технологическое оборудование, здания и сооружения.

## 2.2.3 Обоснование применяемых физико-математических моделей и методов расчета

### 2.2.3.1 Определение вероятности возникновения и развития аварии

Любой сценарий возникновения аварии начинается с инициирующего события (утечки различной интенсивности), которое может возникнуть с некоторой частотой.

Вероятности разгерметизации технологического оборудования, а также возникновения источников зажигания определялись на основании статистических данных, приведенных в [9]. Частичная выборка из используемой работы приведена в таблицах 8÷10.

Таблица 8 – Частоты реализации различных вариантов разгерметизации технологического оборудования

Наименование оборудования	Иницирующее событие	Диаметр отверстия истечения, мм	Частота разгерметизации, год <sup>-1</sup>
1	2	3	4
Резервуары, емкости, сосуды и аппараты под давлением	Разгерметизация с последующим истечением жидкости, газа или двухфазной среды	5	4,0E-05
		12,5	1,0E-05
		25	6,2E-06
		50	3,8E-06
		100	1,7E-06
	Полное разрушение		3,0E-07
Насосы центро-	Разгерметизация с	5	4,3E-03

<sup>3</sup> Предварительные расчеты показали, что во всех случаях, связанных с насосным оборудованием, при воспламенении возможен только пожар пролива жидкой фазы, т.к. при испарении пролива интенсивности поступления горючего вещества в атмосферу не достаточно для образования взрывоопасного облака.

Изм.	Копуч.	Лист	№ док	Подп.	Дата
Инд. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №			

Наименование оборудования	Иницирующее аварию событие	Диаметр отверстия истечения, мм	Частота разгерметизации, год <sup>-1</sup>
1	2	3	4
бежные	последующим истечением жидкости или двухфазной среды	12,5	6,1E-04
		25	5,1E-04
		50	2,0E-04
		Диаметр подводящего/отводящего трубопровода	1,0E-04
Компрессоры (центробежные)	Разгерметизация с последующим истечением газа	5	1,1E-2
		12,5	1,3E-3
		25	3,9E-4
		50	1,3E-4
		Полное разрушение	1,0E-4
Резервуары для хранения ЛВЖ и ГЖ при давлении, близком к атмосферному	Разгерметизация с последующим истечением жидкости	25	8,8E-05
		50	1,2E-05
		Полное разрушение	5,0E-06
Соединительные рукава при сливе/наливе вагонцистерн	Разрыв с последующим истечением жидкости	Полное разрушение	1E-02 на 1 рукав в год

Таблица 9 – Частоты утечек из технологических трубопроводов

Диаметр трубопровода, мм	Частота утечек, (м <sup>-1</sup> × год <sup>-1</sup> )				
	Малая (диаметр отверстия 12.5 мм)	Средняя (диаметр отверстия 25 мм)	Большая (диаметр отверстия 50 мм)	Большая (диаметр отверстия 100 мм)	Разрыв
50	5,7E-06	2,4E-06	-	-	1,4E-06
100	2,8E-06	1,2E-06	4,7E-07	-	2,4E-07
150	1,9E-06	7,9E-07	3,1E-07	1,3E-07	2,5E-08
250	1,1E-06	4,7E-07	1,9E-07	7,8E-08	1,5E-08
600	4,7E-07	2,0E-07	7,9E-08	3,4E-08	6,4E-09
900	3,1E-07	1,3E-07	5,2E-08	2,2E-08	4,2E-09
1200	2,4E-07	9,8E-08	3,9E-08	1,7E-08	3,2E-09

Изм. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	Копуч.	Лист	Недок	Подп.	Дата

МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ

Лист

54

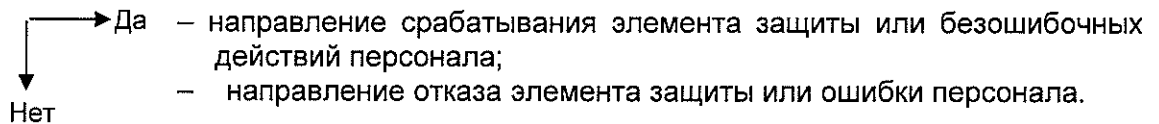
Таблица 10 – Условная вероятность мгновенного воспламенения и воспламенения с задержкой

Массовый расход истечения, кг/с		Условная вероятность мгновенного воспламенения			Условная вероятность последующего воспламенения при отсутствии мгновенного воспламенения		
Диапазон	Номинальное среднее значение	газ	двух-фазная смесь	жидкость	газ	двух-фазная смесь	жидкость
Малый (<1)	0,5	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
Средний (1 - 50)	10	0,035	0,035	0,015	0,036	0,036	0,015
Большой (>50)	100	0,150	0,150	0,040	0,176	0,176	0,042
Полный разрыв	Не определено	0,200	0,200	0,050	0,240	0,240	0,061

Вероятность множества возможных исходов каждого инициирующего (начального) события, приводящих к воздействию поражающих факторов аварий на людей, имущество и другие объекты, определялась с использованием методов «деревьев событий» в соответствии с [7, 9, 11, 16, 27]. При построении «дерева событий» анализировались промежуточные события (наличие мгновенного или появление отложенного источника воспламенения, срабатывание пожарной сигнализации, системы противопожарного водоснабжения и т.д.) с использованием двоичной системы, в которой событие происходит, либо – нет. Как выполнение защитными элементами и персоналом своих функций, так и отказы и ошибки приводят к исходам – конечным аварийным событиям с разными последствиями. Графическое представление «деревьев событий» выполнялось в соответствии с [38].

Условные обозначения, применяемые при построении:

- НС – начальное событие;
- ПС – промежуточное событие;
- КС – конечное событие;



Для определения вероятности промежуточных событий, участвующих в построении «деревьев событий», использовался метод «деревьев отказов» [7, 11, 16, 27]. При этом отказы отдельных видов оборудования, приборов и устройств и/или их надежность определялись в соответствии с [16, 31, 35], а также при помощи научно-технической и справочной литературы [34, 22].

«Дерево отказов» состоит из сочетаний негативных исходных событий, ведущих к возникновению конечного события – опасных ситуаций или аварий в системе, устанавливаемых с помощью причинно-следственных взаимосвязей. События, составляющие «дерево отказов» и отдельные его ветви, соединяются между собой логическими знаками **"и"**, **"или"**, **"запрет"**, **"исключающее или"**.

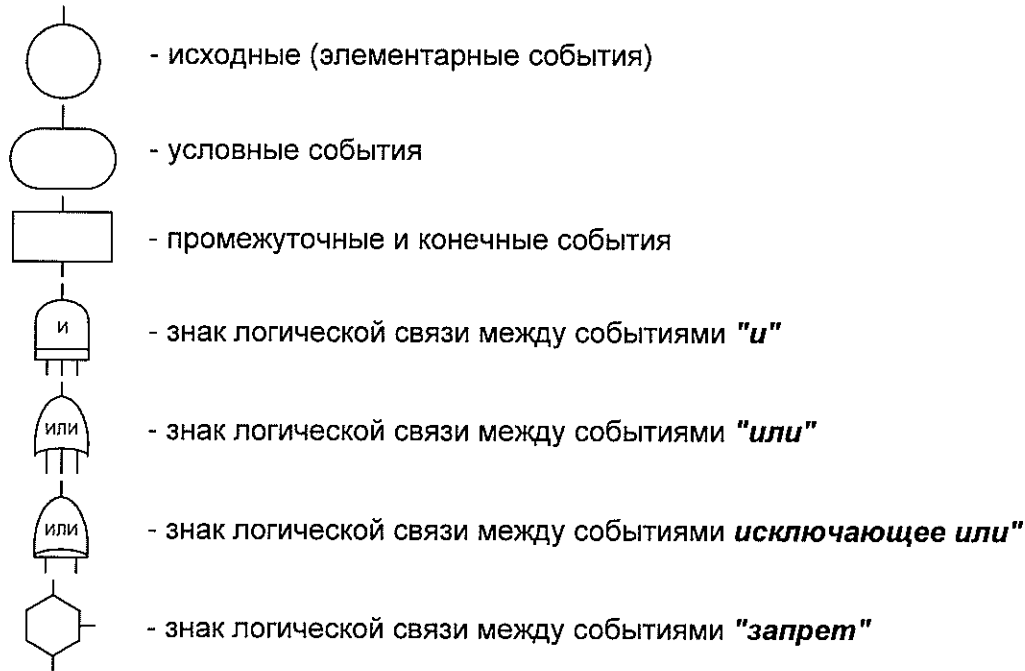
Знак **"и"** используется, когда выходное событие происходит, если все входные события возникают одновременно. Знак **"или"** используется, когда выходное событие происходит, если случается любое из входных событий. Знак **"запрет"** используется, в том случае, если наличие входного события вызывает появление выходного тогда, когда происходит условное событие. Знак **"исключающее или"** используется, если выходное событие происходит, если случается только одно из входных событий.

В «деревьях отказов» присутствуют следующие события:

Изм.	Колуч.	Лист	Недок	Подп.	Дата
Изм. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №			

- **исходные события** – отказы отдельных элементов технологического объекта (оборудования, систем автоматического регулирования, и т. д.);
- **условные события** – события, представляющие собой обязательное условие для реализации верхнего промежуточного или конечного события;
- **промежуточные события** – события, связанные с реализацией исходных при выполнении определенных условий (например, отказе систем контроля, сигнализации и блокировок и др.);
- **конечные события** – события, являющиеся результатом реализации промежуточных при выполнении всех условий.

«Дерево отказов» в декларации представляется в графическом виде. Ниже представлены графические символы, используемые в «деревьях отказов».



Расчет вероятности возникновения аварии выполняется поэтапно – снизу вверх, по каждой группе вышеназванных событий.

Оценка вероятности отказов (безотказной работы) для отдельных видов оборудования, узлов и приборов проводилась в предположении экспоненциального закона распределения промежутков времени между отказами. При этом использовался статистический материал об отказах, собранный ранее для аналогичных видов оборудования и приборов на других предприятиях при выполнении аналогичных работ.

Использовались также данные о наработке на отказ, приводимые в паспортах, данные справочной и другой литературы.

При анализе ошибок персонала учитывалась функциональная связь в системе «человек-машина» и использовались статистические данные об ошибках персонала на аналогичных объектах, полученные ранее.

### 2.2.3.2 Анализ и оценка последствий рассматриваемых аварий

Для событий, завершающихся аварией с известной вероятностью ее возникновения, анализировались и оценивались возможные последствия.

Рассматривались следующие аварии:

- взрывы облаков топливно-воздушных смесей (ТВС) в открытом пространстве;
- пожары проливов;
- дрейф облаков токсичных веществ;

Изм. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	Копуч.	Лист	№ док	Подп.	Дата	МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ	Лист
							56

- дрейф облаков ТВС с формированием возможных взрывоопасных зон;
- факельное горение газа.

При расчетах использовались следующие модели.

**Взрывы облаков ТВС**

Количественная оценка параметров воздушных ударных волн, определение вероятных степеней поражения людей и повреждения зданий при авариях со взрывами ТВС осуществлялись по методике [6, 8, 9]. Методика учитывает 6 режимов взрывного превращения облаков ТВС – от дефлаграции до детонации (алгоритм расчета по данной методике приведен на рисунке 5).

Оценка поражающего воздействия ударной волны осуществлялась с использованием данных [6, 7] по устойчивости объектов различного назначения и людей к создаваемым нагрузкам (таблицы 11, 12).

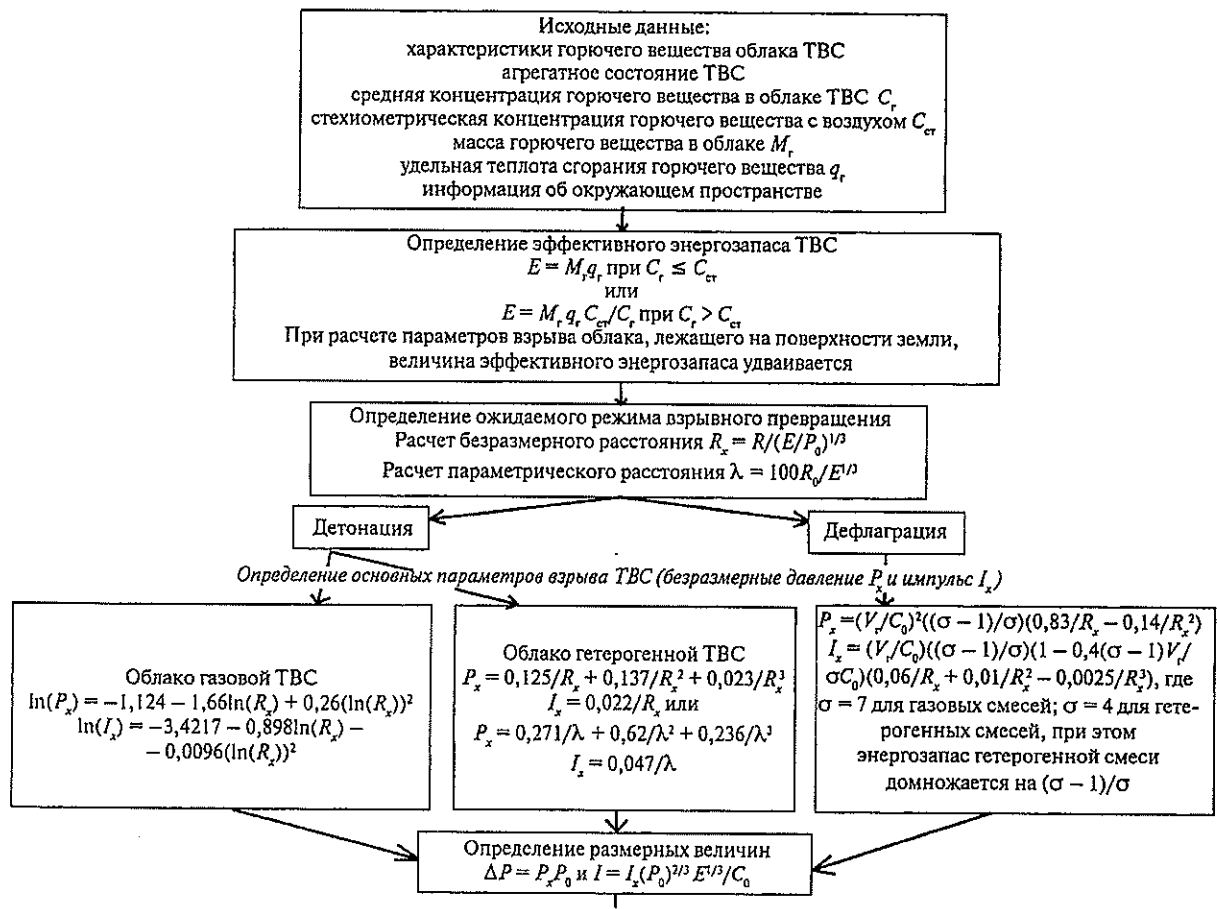


Рисунок 5 (лист 1) – Алгоритм расчета последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей

Изм.	Копуч.	Лист	№ док	Подп.	Дата
Изм. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №			

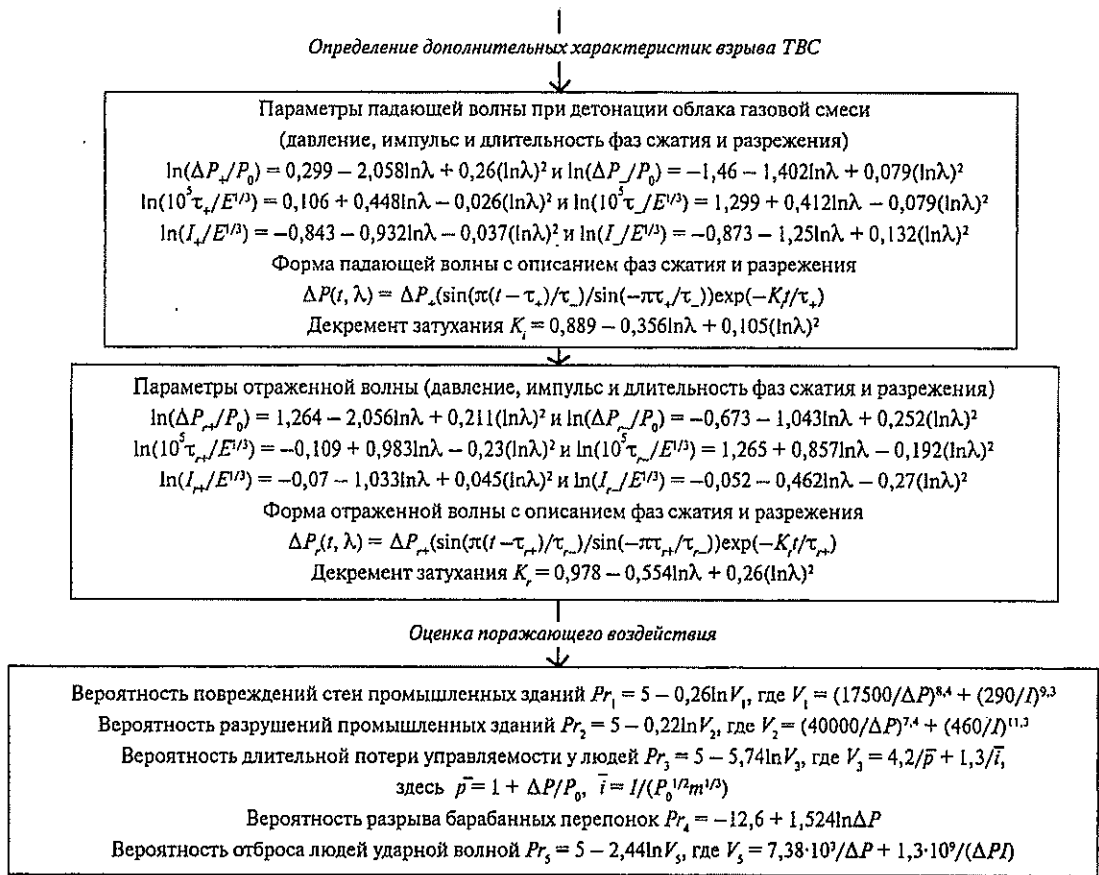


Рисунок 5 (лист 2) – Алгоритм расчета последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей

Таблица 11 – 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
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

Изм. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	Копуч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата

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

Таблица 12 – Типичные предельно допустимые значения избыточного давления взрыва при воздействии на здания и людей

Степень поражения	Избыточное давление, кПа
1	2
Полное разрушение зданий	100
Тяжелые повреждения, здание подлежит сносу	70
Средние повреждения зданий, возможно восстановление здания	28
Разрушение оконных проемов, легкобрасываемых конструкций	14
Нижний порог повреждения человека волной давления	5
Частичное разрушение остекления	2

В случае нахождения людей в момент внешнего взрыва в зданиях их поражение может наступить от механического воздействия за счет разрушения зданий (обрушение перекрытий и т.п.). Условная вероятность травмирования и гибели людей в разрушенных зданиях представлена в таблице 13 [6, 7].

Таблица 13 – Условная вероятность травмирования и гибели людей в разрушенных взрывом зданиях

Тяжесть поражения	Степень разрушения			
	Полное	Сильное	Среднее	Слабое
1	2	3	4	5
Смертельное	0,6	0,49	0,09	0,0
Тяжелые травмы	0,37	0,34	0,1	0,0
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

Изм. № подл.	Подп. и дата	Взаим. инв. №

Изм.	Копуч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ	Лист
							59

избыточным давлением на фронте  $\Delta P > 120$  кПа принимается в качестве смертельного поражения. Для определения числа пострадавших принимается значение избыточного давления, превышающее 70 кПа [7].

### Пожары проливов

При горении пролива жидкостей основным поражающим фактором является температурное воздействие пламени на людей, объекты и материалы в течении эффективного времени экспозиции.

Оценка воздействия теплового излучения проводилась в соответствии с [7, 9, 20].

При воздействии теплового излучения эффективное время экспозиции определялось следующим образом:

$$t = t_0 + x/u$$

где  $t_0$  – характерное время обнаружения пожара (5 с);

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

$u$  – скорость движения человека (5 м/с);

Интенсивность теплового излучения:

$$q = E_f \cdot F_q \cdot \tau, \text{ кВт/м}^2$$

где  $E_f$  – среднеповерхностная плотность теплового излучения пламени, кВт/м<sup>2</sup>;

$F_q$  – угловой коэффициент облученности;

$\tau$  – коэффициент пропускания атмосферы.

### Факельное горение газа (струевое пламя)

Для оценки дальности ( $L_{\phi}$ , м) прямого огневого воздействия вертикальных или ориентированных под иным углом к горизонту одиночных газовых струй в неподвижной атмосфере принимаем единое эмпирическое соотношение [35]:

$$L_{\phi} = 0.23 \cdot Q_{\phi}^{0.4} - 1.02 \cdot D,$$

где  $Q_{\phi}$  – общее тепловыделение факела (МВт), пропорциональное интенсивности истечения (кг/с) и теплоте сгорания газа (МДж/кг);  $D$  – диаметр очага пожара, м.

Расчет радиационного теплового воздействия факела на прилегающие объекты на уровне поверхности земли  $q(x, y)$  проводится по формуле:

$$q(x, y) = E_f \cdot \varphi(x, y) \cdot \nu,$$

где  $E_f$  – интенсивность излучения с единицы «поверхности» (внешней оболочки) пламени;  $\varphi(x, y)$  – геометрический фактор, или так называемый угловой коэффициент облучения единичной площадки;  $\nu$  – коэффициент поглощения теплового излучения атмосферой, выражаемый, как правило, в виде  $\nu = a \cdot 0.12 \cdot \lg(r)$  ( $r$  – расстояние от «источника», м;  $0.92 \leq a \leq 1$  – коэффициент, зависящий от относительной влажности воздуха).

Угловые коэффициенты излучения от наклонного цилиндра для вертикальной ( $\varphi_v$ ) и горизонтальной ( $\varphi_r$ ) единичных площадок на поверхности грунта рассчитываются следующим образом:

$$\begin{aligned} \pi \varphi_v = & -\frac{\xi \cdot \cos \Theta}{\eta - \xi \cdot \sin \Theta} \cdot \operatorname{arctg} \chi + \frac{\xi \cdot \cos \Theta}{\eta - \xi \cdot \sin \Theta} \cdot \frac{\xi^2 + (\eta + 1)^2 - 2 \cdot \eta \cdot (1 + \xi \cdot \sin \Theta)}{\lambda \cdot \sigma} \cdot \operatorname{arctg} \left( \chi \cdot \frac{\lambda}{\sigma} \right) + \\ & + \frac{\cos \Theta}{\sqrt{1 + (\eta^2 - 1) \cdot \cos^2 \Theta}} \cdot \left\{ \operatorname{arctg} \left( \frac{\xi \cdot \eta - (\eta^2 - 1) \cdot \sin \Theta}{\mu} \right) + \operatorname{arctg} \left( \frac{(\eta^2 - 1) \cdot \sin \Theta}{\mu} \right) \right\} \end{aligned}$$

Изм.	Колуч.	Лист	Недок	Подп.	Дата	Изм. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №		МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ	Лист
											60



$$\pi\varphi_r = \arctg\left(\frac{1}{X}\right) + \frac{\sin\Theta}{\sqrt{1+(\eta^2-1)\cos^2\Theta}} * \left\{ \arctg\left(\frac{\xi * \eta - (\eta^2-1)\sin\Theta}{\mu}\right) + \arctg\left(\frac{(\eta^2-1)\sin\Theta}{\mu}\right) \right\} -$$

$$\frac{\xi^2 + (\eta+1)^2 - 2 * (\eta+1 + \xi * \eta * \sin\Theta)}{\lambda * \sigma} * \arctg\left(\chi * \frac{\lambda}{\sigma}\right)$$

$$X = \sqrt{\frac{\eta-1}{\eta+1}}; \lambda = \sqrt{\xi^2 + (\eta+1)^2 - 2 * \xi * (\eta+1) * \sin\Theta}; \sigma = \sqrt{\xi^2 + (\eta-1)^2 - 2 * \xi * (\eta-1) * \sin\Theta};$$

$$\mu = \sqrt{\eta^2 - 1} * \sqrt{1 + (\eta^2 - 1) * \cos^2\Theta}; \eta = \frac{2 * X}{D_{эф}}; \xi = \frac{2 * L_{эф}}{D_{эф}}$$

Для оценки зон поражения от теплового излучения принимались значения [7, 9, 20], приведенные в таблицах 14, 15.

Таблица 15 – Поражение человека тепловым излучением

Характер воздействия на человека	Интенсивность излучения, кВт/м <sup>2</sup>
1	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. Ожог 2 степени через 30÷40 сек.	7,0
Непереносимая боль через 3÷5 сек. Ожог 1 степени через 6÷8 сек. Ожог 2 степени через 12÷16 сек.	10,5
Воспламенение древесины с шероховатой поверхностью (влажность 12 %) при длительности облучения 15 мин	12,9
Воспламенение древесины, окрашенной масляной краской по строганой поверхности; воспламенение фанеры	17,0

#### Формирование возможных взрывоопасных зон (ВЗ)

ВЗ – это гипотетическая максимально возможная пространственная зона, внутри которой во время возникновения или развития крупной аварии возможно существование горючих газов или паров при концентрациях, превышающих концентрацию на нижнем пределе распространения пламени.

На практике время формирования ВЗ ограничено временем встречи облака газов или паров с источником зажигания. Если источник зажигания появляется на ранней стадии формирования взрывоопасного облака, то опасность его характеризуется детонационным сгоранием, для которого возможна количественная оценка последствий.

На более поздних этапах развития облака, когда снижается первоначальная турбулентность облака и происходит его размытие за счет атмосферных процессов, более вероятными становятся режимы сгорания без формирования сильных ударных волн. При этом возможно поражение людей, находящихся непосредственно в ВЗ, за счет термического воздействия пламени и разрушение зданий и помещений за счет внутренних взрывов.

Возникновение ударных волн различной интенсивности на поздних этапах развития облака возможно только при попадании в ВЗ сооружений, на которых возможна сильная турбулизация пламени. Однако, как правило, можно считать, что сгорание горючего вещества не дает высоких давлений взрыва и не приводит к разрушению зданий и установок, находящихся вне облака. Существование ВЗ чревато опасностью воспламенения парогазовых выбросов на больших расстояниях от первоначального места выброса.

Изм.	Копуч.	Лист	№ док	Подп.	Дата	Изм.	Копуч.	Лист	№ док	Подп.	Дата	МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ	Лист
													61

Для оценки характеристик ВЗ использовалась модель турбулентной диффузии, приведенная в [20]. Указанная модель дает наиболее консервативные результаты в части глубины дрейфа взрывоопасного облака и содержания в нем взрывоопасной массы.

Масса вещества, способного участвовать во взрыве, определялась согласно [6] путем интегрирования концентрации выброшенного при аварии горючего вещества по пространству, ограниченному изоповерхностями нижнего (НКПВ) и верхнего (ВКПВ) концентрационных пределов взрываемости следующим образом:

$$m' = \iiint_{\sum_{НКПВ} < V < \sum_{ВКПВ}} c(x, y, z, t_0) dx dy dz$$

где  $x, y, z$  – пространственные переменные;  $\sum_{ВКПВ}$  и  $\sum_{НКПВ}$  – поверхности в пространстве достижения соответственно верхнего и нижнего концентрационных пределов взрываемости;  $c(x, y, z, t_0)$  – распределение концентрации в момент времени  $t_0$ , кг/м<sup>3</sup>;  $t_0$  – момент времени, когда во взрывоопасных пределах находится максимальное количество топлива, с.

#### **Дрейф облаков токсичных веществ**

Оценка масштабов поражения при авариях с выбросом опасных химических веществ (ОХВ) осуществлялась в соответствии с методикой [40, 41].

Методика позволяет определить:

- количество поступивших в атмосферу ОХВ при различных сценариях аварии;
- пространственно-временное поле концентраций ОХВ в атмосфере;
- размеры зон химического заражения, соответствующие различной степени поражения людей, определяемой по ингаляционной токсодозе.

Размеры зон токсического поражения при выбросах опасных химических веществ зависят как от мощности выброса, так и от характеристик атмосферного переноса, прежде всего от скорости ветра и от класса устойчивости атмосферы.

В настоящей работе классы устойчивости атмосферы приняты по Паскуиллу [46] и определялись интервалами значений метеорологических факторов, влияющих на тепловую конвекцию атмосферы и турбулентность (таблица 16, [16, 17, 49]).

Таблица 16 – Классы устойчивости атмосферы по Паскуиллу\*

Скорость ветра, м/с	День				Сумерки	Ночь		
	Интенсивность солнечного излучения (Вт/м <sup>2</sup> )					Уровень облачности (восьмые доли)		
	сильная (> 600)	умеренная (300-600)	слабая (< 300)	сплошная облачность		0-3	4-7	8
≤ 2	A	A-B	B	C	D	F	F	D
2-3	A-B	B	C	C	D	F	E	D
3-5	B	B-C	C	C	D	E	D	D
5-6	C	C-D	D	D	D	D	D	D
≥ 6	C	D	D	D	D	D	D	D

\*Здесь: А – сильная конвекция, В – конвекция, С – умеренная конвекция, D – нейтральная, E – инверсия, F – сильная инверсия.

Классы (категории) различаются в основном интенсивностью вертикального перемешивания воздуха [49]. Наиболее неустойчивая категория «А» отмечается при слабом ветре и сильной солнечной радиации, когда воздух, нагретый теплом от земной поверхности, всплывает. Обычно это состояние возникает после полудня или не-

Изм. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	Копуч.	Лист	№ док	Подп.	Дата	МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ	Лист
							62

сколько раньше. Категория «С» наблюдается при усилении ветра от умеренного до сильного и чаще всего вечером при ясном небе или днем при низких кучевых облаках, а также летними ясными днями при высоте солнца  $15 \div 30^\circ$ . Нейтральная категория «D» соответствует условиям сплошной облачности как днем, так и ночью, когда влияние прямых солнечных лучей незначительно. Устойчивые категории «E» и «F» фиксируют обычно ночью при чистом небе или слабой облачности, когда земная поверхность выхолаживается, и над ней устанавливается инверсионный слой. Естественная конвекция при этом подавляется. Стабильность повышается с ростом скорости ветра и снижением интенсивности солнечного облучения. Облачность проявляется по-разному. Ночью ее снижение усиливает охлаждение Земли, образование температурной инверсии. Днем, наоборот, конвективные потоки и неустойчивость усиливаются.

### 2.2.3.3 Количественная оценка риска

Оценка риска поражения людей заключалась в определении пространственного распределения вероятности смертельного воздействия поражающих факторов аварий на человека в течении года (потенциальный территориальный риск).

Промышленный объект может иметь различные источники опасности, каждый из которых формирует свои зоны превышения предельного допустимого риска. Расчет полей территориального риска производился в каждой точке пространства (с учетом шага разбиения) путем суммирования воздействий рассматриваемых источников опасностей.

**Потенциальный риск** ( $R_{пот}$ ) может быть определен следующим образом [7]:

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

где:  $I$  - число сценариев развития аварий;

$Q_i$  - частота реализации в течение года  $i$ -го сценария развития аварии, год<sup>-1</sup>;

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

$v_{юз}^{ij}(x;y)$  - 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.

Потенциальный риск отражает максимально возможный уровень риска от рассматриваемого объекта.

Значения вероятностей возникновения аварии  $Q_i$ , возможные варианты развития аварии (пожар пролива, взрыв газовой воздушного облака), масса вещества, способная принять участие в аварии, и распределение вероятностей всех возможных вариантов выброса вещества определяются в процессе анализа опасности объекта.

Условная вероятность гибели человека от различных поражающих факторов (теплового воздействия пламени и ударной волны) рассчитывалась по соответствующим Probit-функциям  $Pr$ , полученным путем регрессионной обработки экспериментальных данных при допущении, что график зависимости отклика смертности от логарифма поражающего фактора (теплового потока и времени экспозиции для пожаров, импульса и избыточного давления во фронте ударной волны для взрывов) имеет нормальную форму распределения и выражается следующими уравнениями [6÷9]:

Изн. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №					МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ	Лист
			Изм.	Копуч.	Лист	№ док		Подп.

$$Pr = b_0 + b_1 \cdot \ln(\Pi\Phi); \quad Q_c = \frac{1}{2\pi} \cdot \int_{-\infty}^{Pr-5} \exp\left(-\frac{1}{2}u^2\right) du,$$

где  $Pr$  – пробит;  $b_0, b_1$  – коэффициенты регрессии;  $\Pi\Phi$  – поражающий фактор;  $Q_c$  – условная вероятность поражения (отклик смертности).

Для расчета условной вероятности разрушения объектов и поражения людей ударными волнами используются следующие пробит-функции [6÷9]:

а) вероятность повреждений стен промышленных зданий, при которых возможно восстановление зданий без их сноса (тяжелые разрушения зданий в соответствии с [9]):

$$Pr_1 = 5 - 0,26 \cdot \ln V_1,$$

$$\text{где } V_1 = \left(\frac{17500}{\Delta P}\right)^{8,4} + \left(\frac{290}{I}\right)^{9,3},$$

где  $\Delta P$  – избыточное давление, Па;  $I$  – импульс, кг·м/с;

б) вероятность разрушений промышленных зданий, при которых здания подлежат сносу (полное разрушение зданий в соответствии с [9]):

$$Pr_2 = 5 - 0,22 \cdot \ln V_2,$$

$$\text{где } V_2 = \left(\frac{40000}{\Delta P}\right)^{7,4} + \left(\frac{460}{I}\right)^{11,3}.$$

в) вероятность длительной потери управляемости у людей (состояние нокдауна), попавших в зону действия ударной волны при взрыве облака ТВС (гибель человека в соответствии с [9]):

$$Pr_3 = 5 - 5,74 \cdot \ln V_3,$$

где

$$V_3 = \frac{4,2}{p} + \frac{1,3}{\bar{i}};$$

$$\bar{p} = 1 + \frac{\Delta P}{P_0};$$

$$\bar{i} = \frac{I}{P_0^{1/2} \cdot m^{1/3}};$$

$m$  – масса тела живого организма, кг;  $P_0$  – атмосферное давление, Па;

г) вероятности разрыва барабанных перепонок у людей от уровня перепада давления в воздушной волне:

$$Pr_4 = -12,6 + 1,524 \cdot \ln \Delta P.$$

д) вероятность отброса человека волной давления:

$$Pr_5 = 5 - 2,44 \cdot \ln V_5,$$

$$\text{где } V_5 = \frac{7,38 \cdot 10^{-3}}{\Delta P} + \frac{1,3 \cdot 10^9}{\Delta P \cdot I}.$$

Для поражения человека тепловым излучением величина пробит-функции описываются следующими выражениями:

$$Pr = -12,8 + 2,56 \ln(D),$$

$$D = t \cdot q^{4/3}.$$

Величина эффективного времени экспозиции  $t$  вычисляется по формуле:

$$t = t_0 + \frac{x_0}{u_{cp}},$$

Изм. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №					МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ	Лист
			Изм.	Копуч.	Лист	Недок		Подп.

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 (зона, где интенсивность теплового излучения меньше  $4 \text{ кВт/м}^2$ ), м;

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

Кроме того, с учетом специфики распределения персонала во времени и на территории рассматриваемого объекта, а также частот гибели различных групп людей определялся индивидуальный риск.

**Индивидуальный риск ( $R_{инд}$ )** – ожидаемая частота (частота) поражения отдельного человека в результате воздействия исследуемых поражающих факторов аварии [7]:

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

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.

Допускается проводить расчет индивидуального риска для работника объекта, относя его к одной категории наиболее опасной профессии. В качестве наиболее опасной профессии принята профессия аппаратчика, поскольку только в его обязанности входит обслуживание оборудования проектируемой установки непосредственно по месту.

Для оценки индивидуального риска следует определить долю времени пребывания потенциальных реципиентов в опасных зонах.

В общем случае вероятность нахождения аппаратчика в опасных зонах (зонах действия возможных поражающих факторов) определялась, исходя из следующих допущений:

- на работе аппаратчик находится в течение годового фонда рабочего времени, который составляет порядка 2000 часов; вероятность нахождения его на работе определяется как отношение годового фонда рабочего времени к годовому ресурсу времени (8760 часов) и составляет порядка 0,23;
- аппаратчик проводит часть своего рабочего времени, обслуживая технологическое оборудование по месту; согласно выданным исходным данным он совершает обход каждые 2 часа, продолжительность обхода составляет 30 минут; таким образом, доля времени пребывания аппаратчика в опасных зонах составляет 0,25 от общего рабочего времени.

#### **Риск взрыва топливно-воздушных смесей (ТВС)**

При определении риска взрыва ТВС учитывались основные механизмы развития взрывных явлений, таких как дрейф облака ТВС, режим взрывного превращения (дефлаграция/детонация), воздействие взрыва на людей, здания и сооружения в соответствии с [6, 47].

Для моделирования дрейфа облаков ТВС использовалась модель турбулентной диффузии [20]. Указанная модель дает наиболее консервативные результаты в части глубины дрейфа взрывоопасного облака и содержания в нем взрывоопасной массы.

Условные вероятности  $P_a(C_n|A)$  реализации сценариев  $C_n$  аварии с дрейфом облаков ТВС в зависимости от метеопараметров с последующим их воспламенением рассчитывались следующим образом [47]:

$$P_a(C_n|A) = P(U_{\psi\phi}) \cdot P(KY|U_{\psi\phi}) \cdot P_{деф} \cdot P(I|A),$$

Изм.	Копуч.	Лист	№ док	Подп.	Дата	Взам. инв. №	Подп. и дата	Инд. № подл.	МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ		Лист
											65

где  $P(U_{\psi\phi})$  – условная вероятность в разрезе года скорости ветра  $U_{\psi\phi}$  в  $\psi$ -м диапазоне скоростей и  $\phi$ -м географическом направлении;

$P(KU|U_{\psi\phi})$  – условная вероятность реализуемости данного класса устойчивости (КУ) атмосферы по Паскуиллу [40] при заданной скорости ветра;

$P_{\text{деф}}$  – условная вероятность сгорания с образованием избыточного давления при последующем воспламенении,  $P_{\text{деф}} = f_{\text{п.в}} \cdot f_{\text{дефл}}$ ;  $f_{\text{п.в}}$  – условная вероятность отложенного воспламенения;  $f_{\text{дефл}}$  – условная вероятность возникновения режима энерговыделения с образованием волн избыточного давления (взрыва);

$P(I|A)$  – условная вероятность зажигания облака (I) от источников зажигания, находящихся в пределах облака ТВС (в тех или иных ячейках расчетной области), ограниченного изолинией концентрации паров  $C = C_{\text{вкпв}}$  и  $C = C_{\text{нкпв}}$ , достигшего максимально возможного размера при заданных массе аварийного выброса и метеопараметрах.

Условную вероятность  $P(U_{\psi\phi})$  определяли на основе статистических данных по повторяемости характерных скоростей ветра с учетом их географических направлений в течение года в районе расположения объекта как относительную частоту реализации ветров, попадающих в заданные диапазоны скоростей и направлений (таблица 17). Скорость ветра  $U_{\psi\phi}$  ( $\psi = 1, \dots, \square\Psi$ ;  $\Psi$  – общее число рассматриваемых скоростей ветра) реализуется по румбу  $\phi$  ( $\phi = 1, \dots, \Phi$ ;  $\Phi$  – общее число румбов розы ветров, географических направлений) в течение года с  $P(U_{\psi\phi}) < 1$  (рисунок 6).

Условную вероятность  $P(KU|U_{\psi\phi})$  определяли на основе статистических данных по повторяемости характерных состояний атмосферы (классы устойчивости атмосферы А, В, С, D, E, F по Паскуиллу [13, 14, 17, 41]) в зависимости от скорости ветра в районе расположения рассматриваемого объекта (таблица 18).

Таблица 17 – Вероятность направлений и скоростей ветров в разрезе года для г. Губахи<sup>4</sup>

		Вероятность направлений ветра, %								
		С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	
		10,14	4,89	2,66	13,26	18,13	22,88	12,97	15,08	<b>100</b>
Скорость ветра, м/с	Вероятности скоростей ветра по направлениям, %									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	4,48	2,16	1,17	5,85	8,00	10,10	5,72	6,65	44,13	
2	3,65	1,76	0,96	4,77	6,52	8,23	4,67	5,43	35,98	
3	1,40	0,67	0,37	1,83	2,50	3,15	1,79	2,08	13,79	
4	0,45	0,22	0,12	0,59	0,81	1,02	0,58	0,67	4,45	
5	0,14	0,07	0,04	0,18	0,24	0,31	0,17	0,20	1,33	
6	0,03	0,02	0,01	0,04	0,06	0,07	0,04	0,05	0,32	
										<b>100</b>

<sup>4</sup> В таблице 15 приведены статистически значимые скорости ветра, вероятность которых превышает 0.01% (проанализированы данные станции наблюдений «Губаха (58°54'N 57°30'E)» (индекс WMO: 28134) с 01.01.2008 по 20.11.2019. Источник – <https://rp5.ru>

Изм. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	Копуч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ	Лист
							66

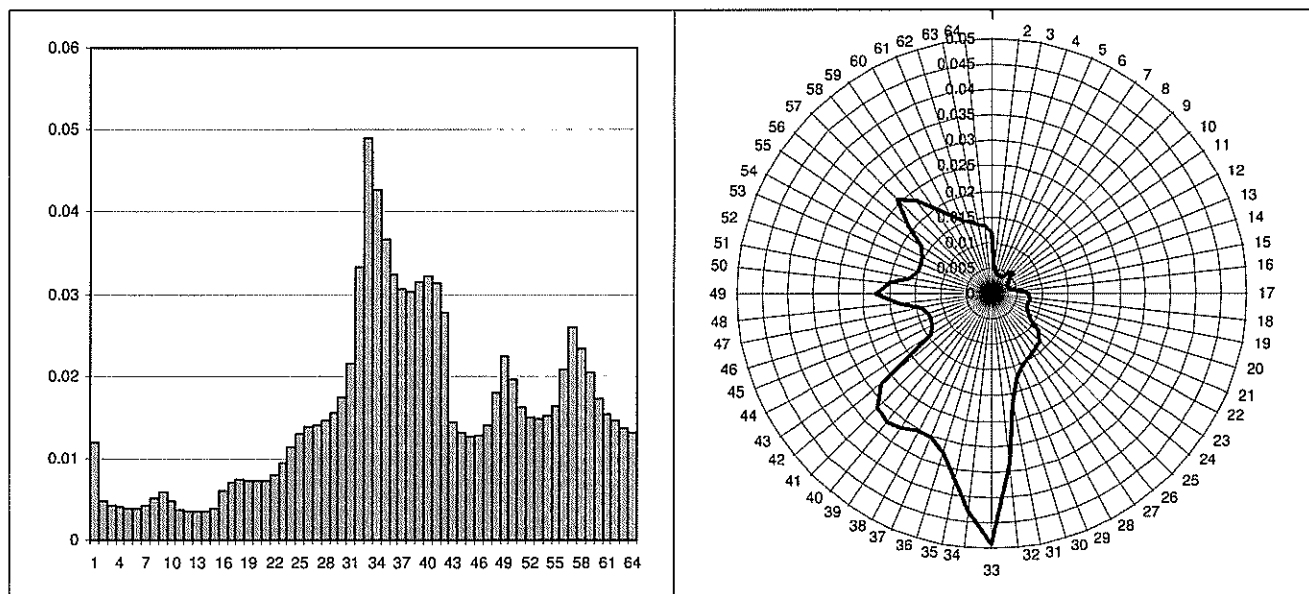


Рисунок 6 – Многолетняя среднегодовая роза ветров для г. Губахи (метеостатистика обработана для 64-х румбов)

Таблица 18 – Вероятность реализуемости классов устойчивости атмосферы в разрезе года (Губаха)

Скорость ветра, м/с	Вероятность, %					
	A	B	C	D	E	F
1	12,8	28,8	-	25,0	-	33,3
2	12,8	28,8	-	25,0	-	33,3
3	4,9	8,0	28,8	25,0	16,7	16,7
4	-	12,8	28,8	41,7	16,7	-
5	-	-	12,8	87,2	-	-
6	-	-	4,9	95,1	-	-

При определении риска разрушения зданий для каждой точки территории определялась частота реализации сценариев со взрывом  $R_{\Delta P_0}(x, y)$  при превышении заданного давления во фронте ударной волны  $\Delta P_{\Phi}(x, y) = \Delta P_{\Phi}$  по формуле

$$R_{\Delta P_0}(x, y) = \sum_n \lambda_{C_n} \cdot P[\Delta P_0(x, y) \geq \Delta P_{\Phi} | C_n],$$

где  $P[\Delta P_{\Phi}(x, y) \geq \Delta P_{\Phi} | C_n]$  – вероятность превышения в точке с координатами  $(x, y)$  давления  $\Delta P_{\Phi}$  во фронте ударной волны при реализации сценария  $C_n$ .

Суммирование осуществлялось по всем сценариям  $C_n$ .

Далее для точек  $(x_j, y_j)$  территории, в которых расположены здания и сооружения, испытывающие взрывные нагрузки, строились зависимости частоты реализации избыточного давления  $\Delta P_{\Phi}$  взрыва от  $\Delta P_{\Phi}$ :

Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Коп.уч.	Лист	Недок	Подп.	Дата

$$F_{x_j, y_j}(\Delta P_0) = R_{\delta \Delta P_0}(x_j, y_j).$$

Риск разрушения  $k$ -го здания, расположенного в точке территории с координатами  $(x_k, y_k)$ , при условии, что его конструкции устойчивы ко взрыву с давлением во фронте ударной волны  $P_{пр k}$  определяется следующим образом:

$$R_{\delta k} = F_{x_k, y_k}(P_{пр k}).$$

Определение взрывоустойчивости анализируемых зданий проводится путем сравнения рассчитанных показателей риска с критерием допустимого риска.

В соответствии с [47] рекомендуемая допустимая частота воздействия взрыва на здания не должна превышать  $1E-04 \text{ год}^{-1}$ .

#### 2.2.4 Оценка количества опасных веществ, участвующих в аварии

Результаты анализа возможных последствий разгерметизации оборудования, содержащего ОВ, приведены в таблице 19 в виде указания возможного вида аварий, их последствий и количества вещества, способного участвовать в аварии.

В процессе анализа аварийных ситуаций рассматривалась полная, а также частичная разгерметизация оборудования.

Следует отметить, что оборудование установки получения формалина представляет собой единый технологический блок (отсутствует отсечная арматура между аппаратами блока). Поэтому, в результате разрушения любого из аппаратов в окружающее пространство будет выброшена вся парогазовая фаза, содержащаяся в блоке.

В таблице 19 использованы следующие сокращения и обозначения: ПГФ<sub>1</sub> – парогазовая фаза, образующая первичное облако (парогазовая фаза, содержащаяся в оборудовании); ПГФ<sub>2</sub> – парогазовая фаза, образующая вторичное облако за счет испарения с поверхности пролива; ЖФ – жидкая фаза; В – взрыв; ТВ – токоволна; ПП – пожар пролива; ВЗ – взрывоопасная зона; Ф – факельное горение газа.

Таблица 19 – Количество опасного вещества, участвующего в аварии

Оборудование	Характер разгерметизации		Количество вещества в выбросе, кг	Возможные последствия
	1	2		
Испаритель метанола поз. V-4931	Полное разрушение (сценарий С1)		ПГФ <sub>1</sub> = 70,09 (формальдегид, метанол, водород) ПГФ <sub>2</sub> = 192,65 ЖФ= 23778,9 (метанол)	В, ВЗ ПП
	Частичная разгерметизация (сценарий С2)	Ø отверстия 25 мм	ПГФ <sub>2</sub> = 192,65 ЖФ= 6159,3 (метанол)	
		Ø отверстия 100 мм	ПГФ <sub>2</sub> = 192,65 ЖФ= 23400,0 (метанол)	ПП

<sup>5</sup> Расчеты показали, что при частичной разгерметизации испарителя метанола возможен только пожар пролива жидкой фазы, т.к. интенсивности испарения метанола с поверхности пролива ( $0,546 \text{ г}/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$ ) не достаточно для образования взрывоопасного облака.

Изм.	Копуч.	Лист	Недок	Подп.	Дата
Инд. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №			



Оборудование	Характер разгерметизации		Количество вещества в выбросе, кг	Возможные последствия
1	2	3	4	5
Абсорбер формалина поз. С-4981	Полное разрушение (сценарий С3)		ПГФ <sub>1</sub> = 70,09 (формальдегид, метанол, водород) ПГФ <sub>2</sub> = 16,9 (формальдегид) ЖФ= 62279,0 (формалин)	В, ТВ, ВЗ  ПП
	Частичная разгерметизация (сценарий С4)	Ø отверстия 25 мм	ПГФ <sub>2</sub> = 16,9 (формальдегид) ЖФ= 4630,9 (формалин)	ПП <sup>6</sup>
		Ø отверстия 100 мм	ПГФ <sub>2</sub> = 16,9 (формальдегид) ЖФ= 15190,0 (формалин)	ПП
Реактор поз. R-4941	Полное разрушение (сценарий С5)		ПГФ <sub>1</sub> = 70,09 (формальдегид, метанол, водород)	В, ТВ, ВЗ
	Частичная разгерметизация (сценарий С6)	Ø отверстия 25 мм	ПГФ <sub>2</sub> = 28,5 (формальдегид, метанол, водород)	В, ТВ, ВЗ
		Ø отверстия 100 мм	ПГФ <sub>2</sub> = 70,09 (формальдегид, метанол, водород)	В, ТВ, ВЗ
Сепаратор поз. V-4911	Полное разрушение (сценарий С7)		ПГФ <sub>1</sub> = 70,09 (формальдегид, метанол, водород)	В, ТВ, ВЗ
	Частичная разгерметизация (сценарий С8)	Ø отверстия 25 мм	ПГФ <sub>2</sub> = 28,5 (формальдегид, метанол, водород)	В, ТВ, ВЗ
		Ø отверстия 100 мм	ПГФ <sub>2</sub> = 70,09 (формальдегид, метанол, водород)	В, ТВ, ВЗ
Фильтр поз. F-4941	Полное разрушение (сценарий С9)		ПГФ <sub>1</sub> = 70,09 (формальдегид, метанол, водород)	В, ТВ, ВЗ

<sup>6</sup> Расчеты показали, что при частичной разгерметизации абсорбера формалина возможен только пожар пролива жидкой фазы, т.к. интенсивности испарении формальдегида с поверхности пролива формалина (0,027 г/(см<sup>2</sup>)) не достаточно для образования взрывоопасного облака.

Изм. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	Коп.уч.	Лист	Недок	Подп.	Дата

МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ

Лист

69

Оборудование	Характер разгерметизации		Количество вещества в выбросе, кг	Возможные последствия
1	2	3	4	5
	Частичная разгерметизация (сценарий С10)	Ø отверстия 25 мм	ПГФ <sub>2</sub> = 28,5 (формальдегид, метанол, водород)	В, ТВ, ВЗ
		Ø отверстия 100 мм	ПГФ <sub>2</sub> = 70,09 (формальдегид, метанол, водород)	В, ТВ, ВЗ
Емкость метанола поз. V-4951	Полное разрушение (сценарий С11)		ПГФ <sub>1</sub> = 0,8 ПГФ <sub>2</sub> = 192,65 ЖФ= 2724,9 (метанол)	ПП <sup>7</sup>
	Частичная разгерметизация (сценарий С12)	Ø отверстия 25 мм	ПГФ <sub>2</sub> = 192,65 ЖФ= 2270,9 (метанол)	ПП <sup>7</sup>
		Ø отверстия 100 мм	ПГФ <sub>2</sub> = 192,65 ЖФ= 2724,9 (метанол)	ПП <sup>7</sup>
Теплообменник поз. E-4941	Полное разрушение (сценарий С13)		ПГФ <sub>1</sub> = 70,09 (формальдегид, метанол, водород)	В, ТВ, ВЗ
	Частичная разгерметизация (сценарий С14)	Ø отверстия 25 мм	ПГФ <sub>2</sub> = 28,5 (формальдегид, метанол, водород)	В, ТВ, ВЗ
		Ø отверстия 100 мм	ПГФ <sub>2</sub> = 70,09 (формальдегид, метанол, водород)	В, ТВ, ВЗ
Насос поз. P-4931	Полное разрушение (сценарий С15)		ЖФ= 29432,1 (метанол)	ПП <sup>8</sup>
	Частичная разгерметизация (сценарий С16)	Ø отверстия 5 мм	ЖФ= 73,6 (метанол)	ПП
		Ø отверстия 12,5 мм	ЖФ= 459,9 (метанол)	ПП
		Ø отверстия 25 мм	ЖФ= 1839,5 (метанол)	ПП

<sup>7</sup> Расчеты показали, что в данном случае при воспламенении возможен только пожар пролива жидкой фазы, т.к. массы ПГФ в аппарате не достаточно для образования взрывоопасного облака. Кроме того, при испарении пролива также не набирается масса во взрывоопасных пределах.

<sup>8</sup> Расчеты показали, что во всех случаях, связанных с насосным оборудованием, при воспламенении возможен только пожар пролива жидкой фазы, т.к. при испарении пролива интенсивности поступления горючего вещества в атмосферу не достаточно для образования взрывоопасного облака.

Инд. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	Копуч.	Лист	Недок	Подп.	Дата

МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ

Лист

70

Оборудование	Характер разгерметизации		Количество вещества в выбросе, кг	Возможные последствия
1	2	3	4	5
		Ø отверстия 50 мм	ЖФ= 7358,0 (метанол)	ПП
Насос поз. Р-4981	Полное разрушение (сценарий С15)		ПГФ <sub>2</sub> = 16,9 (формальдегид) ЖФ= 33268,0 (формалин)	ТВ, ПП
	Частичная разгерметизация (сценарий С16)	Ø отверстия 5 мм	ПГФ <sub>2</sub> = 4,04 (формальдегид) ЖФ= 83,2 (формалин)	ТВ, ПП
		Ø отверстия 12,5 мм	ПГФ <sub>2</sub> = 16,9 (формальдегид) ЖФ= 519,8 (формалин)	ТВ, ПП
		Ø отверстия 25 мм	ПГФ <sub>2</sub> = 16,9 (формальдегид) ЖФ= 2079,3 (формалин)	ТВ, ПП
		Ø отверстия 50 мм	ПГФ <sub>2</sub> = 16,9 (формальдегид) ЖФ= 8317,0 (формалин)	ТВ, ПП
Насос поз. Р-4982	Полное разрушение (сценарий С15)		ПГФ <sub>2</sub> = 16,9 (формальдегид) ЖФ= 32567,6 (формалин)	ТВ, ПП
	Частичная разгерметизация (сценарий С16)	Ø отверстия 5 мм	ПГФ <sub>2</sub> = 3,95 (формальдегид) ЖФ= 81,4 (формалин)	ТВ, ПП
		Ø отверстия 12,5 мм	ПГФ <sub>2</sub> = 16,9 (формальдегид) ЖФ= 508,9 (формалин)	ТВ, ПП
		Ø отверстия 25 мм	ПГФ <sub>2</sub> = 16,9 (формальдегид) ЖФ= 2035,5 (формалин)	ТВ, ПП
		Ø отверстия 50 мм	ПГФ <sub>2</sub> = 16,9 (формальдегид) ЖФ= 8141,9 (формалин)	ТВ, ПП
Насос поз. Р-4983	Полное разрушение (сценарий С15)		ПГФ <sub>2</sub> = 16,9 (формальдегид) ЖФ= 33268,0 (формалин)	ТВ, ПП

Изм. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	Копуч.	Лист	№ док	Подп.	Дата

МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ

Лист

71

Оборудование	Характер разгерметизации		Количество вещества в выбросе, кг	Возможные последствия
1	2	3	4	5
	Частичная разгерметизация (сценарий С16)	Ø отверстия 5 мм	ПГФ <sub>2</sub> = 4,04 (формальдегид) ЖФ= 83,2 (формалин)	ТВ, ПП
		Ø отверстия 12,5 мм	ПГФ <sub>2</sub> = 16,9 (формальдегид) ЖФ= 519,8 (формалин)	ТВ, ПП
		Ø отверстия 25 мм	ПГФ <sub>2</sub> = 16,9 (формальдегид) ЖФ= 2079,3 (формалин)	ТВ, ПП
		Ø отверстия 50 мм	ПГФ <sub>2</sub> = 16,9 (формальдегид) ЖФ= 8317,0 (формалин)	ТВ, ПП
Насос поз. Р-4984	Полное разрушение (сценарий С15)		ПГФ <sub>2</sub> = 16,9 (формальдегид) ЖФ= 30369,4 (формалин)	ТВ, ПП
	Частичная разгерметизация (сценарий С16)	Ø отверстия 5 мм	ПГФ <sub>2</sub> = 3,69 (формальдегид) ЖФ= 75,9 (формалин)	ТВ, ПП
		Ø отверстия 12,5 мм	ПГФ <sub>2</sub> = 16,9 (формальдегид) ЖФ= 474,5 (формалин)	ТВ, ПП
		Ø отверстия 25 мм	ПГФ <sub>2</sub> = 16,9 (формальдегид) ЖФ= 1898,0 (формалин)	ТВ, ПП
	Ø отверстия 50 мм	ПГФ <sub>2</sub> = 16,9 (формальдегид) ЖФ= 7592,4 (формалин)	ТВ, ПП	
Насос поз. Р-4985	Полное разрушение (сценарий С15)		ПГФ <sub>2</sub> = 16,9 (формальдегид) ЖФ= 48496,1 (формалин)	ТВ, ПП
	Частичная разгерметизация (сценарий С16)	Ø отверстия 5 мм	ПГФ <sub>2</sub> = 5,89 (формальдегид) ЖФ= 121,2 (формалин)	ТВ, ПП
		Ø отверстия 12,5 мм	ПГФ <sub>2</sub> = 16,9 (формальдегид) ЖФ= 757,8 (формалин)	ТВ, ПП

Изм. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	Копуч.	Лист	Недок	Подп.	Дата

МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ

Лист

72

Оборудование	Характер разгерметизации		Количество вещества в выбросе, кг	Возможные последствия
	1	2		
		Ø отверстия 25 мм	ПГФ <sub>2</sub> = 16,9 (формальдегид) ЖФ= 3031,0 (формалин)	ТВ, ПП
		Ø отверстия 50 мм	ПГФ <sub>2</sub> = 16,9 (формальдегид) ЖФ= 12124,0 (формалин)	ТВ, ПП
Трубопровод хвостового газа (Ду 500)	Разрыв на полное сечение (сценарий С5)		Средний расход=7,18 кг/с (азот, водород)	Ф
	Частичная разгерметизация (сценарий С6)	Ø отверстия 12,5 мм	Средний расход=0,009 кг/с (азот, водород)	Ф
		Ø отверстия 25 мм	Средний расход=0,036 кг/с (азот, водород)	Ф
		Ø отверстия 50 мм	Средний расход=0,144 кг/с (азот, водород)	Ф
		Ø отверстия 100 мм	Средний расход=0,574 кг/с (азот, водород)	Ф

### 2.2.5 Расчет вероятных зон действия поражающих факторов

Результаты расчетов вероятных зон действия поражающих факторов представлены в таблицах 20÷33.

В таблицах использованы следующие обозначения: КСА – класс стабильности атмосферы; U – скорость ветра; L<sub>НКВП</sub> – длина взрывоопасной зоны по НКВП; M<sub>взр</sub> – максимальная масса во взрывоопасных пределах; L<sub>м</sub> – расстояние, на котором набирается максимальная взрывоопасная масса.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №							Лист
Изм.	Копуч.	Лист	Недок	Подп.	Дата	МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ			73

Таблица 20 – Характеристика взрывов облаков ТВС с учетом их дрейфа (сценарии С1, С3, С5, С7, С9, С13)

КСА	U, м/с	L <sub>НКПВ</sub> , м	M <sub>взр.</sub> , кг	L <sub>м</sub> , м	Радиус зоны разрушения при взрыве максимальной массы, м					
					100 кПа	70 кПа	28 кПа	14 кПа	5 кПа	2 кПа
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
А	1	20,0	19,7	12,0	–	–	13,9	33,4	91,9	258,1
	2	20,0	19,6	12,0	–	–	13,9	33,3	91,7	257,5
	3	20,0	19,6	12,0	–	–	13,9	33,3	91,6	257,3
В	1	26,8	20,5	16,0	–	–	14,1	33,9	93,1	261,4
	2	26,6	20,4	16,0	–	–	14,1	33,8	92,9	260,8
	3	26,6	18,5	18,0	–	–	13,7	32,7	90,0	252,8
	4	26,6	20,3	16,0	–	–	14,1	33,7	92,8	260,5
С	3	37,8	20,2	24,0	–	–	14,1	33,7	92,6	260,1
	4	37,8	20,2	24,0	–	–	14,0	33,7	92,6	260,0
	5	37,8	20,8	20,0	–	–	14,2	34,0	93,6	262,7
	6	37,8	20,1	24,0	–	–	14,0	33,7	92,5	259,8
D	1	52,0	21,5	30,0	–	–	14,4	34,4	94,6	265,6
	2	52,0	21,3	28,0	–	–	14,3	34,3	94,2	264,6
	3	52,0	21,3	30,0	–	–	14,3	34,3	94,2	264,6
	4	52,0	20,7	32,0	–	–	14,2	34,0	93,5	262,4
	5	52,0	21,2	30,0	–	–	14,3	34,2	94,2	264,4
	6	52,0	19,4	24,0	–	–	13,9	33,2	91,4	256,6
E	3	75,2	21,5	42,0	–	–	14,4	34,4	94,6	265,6
	4	75,2	21,3	40,0	–	–	14,3	34,3	94,3	264,8
F	1	119,4	22,0	66,0	–	–	14,5	34,6	95,3	267,6
	2	119,0	21,7	64,0	–	–	14,4	34,5	94,9	266,4
	3	119,0	21,7	66,0	–	–	14,4	34,5	94,8	266,2

Таблица 21 – Характеристика взрывов облаков ТВС с учетом их дрейфа (сценарии С6, С8, С10, С14, Ø 25 мм)

КСА	U, м/с	L <sub>НКПВ</sub> , м	M <sub>взр.</sub> , кг	L <sub>м</sub> , м	Радиус зоны разрушения при взрыве максимальной массы, м					
					100 кПа	70 кПа	28 кПа	14 кПа	5 кПа	2 кПа
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
А	1	2,4	0,3	2,4	–	–	3,4	8,1	22,4	62,9
	2	1,6	0,2	1,6	–	–	2,9	7,1	19,4	54,5
	3	1,4	0,1	1,4	–	–	2,6	6,3	17,2	48,3
В	1	2,8	0,4	2,8	–	–	3,7	9,0	24,6	69,2
	2	1,8	0,2	1,8	–	–	3,0	7,2	19,9	56,0

Инд. № подл.	
Подп. и дата	
Взам. инв. №	

Изм.	Копуч.	Лист	Недок	Подп.	Дата
------	--------	------	-------	-------	------

МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ

Лист

74

КСА	U, м/с	L <sub>НКПВ</sub> , м	M <sub>взр.</sub> , кг	L <sub>м</sub> , м	Радиус зоны разрушения при взрыве максимальной массы, м					
					100 кПа	70 кПа	28 кПа	14 кПа	5 кПа	2 кПа
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	3	1,6	0,2	1,6	–	–	2,8	6,7	18,6	52,1
	4	1,2	0,1	1,2	–	–	2,5	6,1	16,7	46,9
С	3	2,0	0,2	2,0	–	–	3,2	7,6	21,0	59,1
	4	1,8	0,2	1,8	–	–	2,9	7,0	19,4	54,3
	5	1,6	0,2	1,6	–	–	2,8	6,8	18,6	52,2
	6	1,4	0,1	1,4	–	–	2,6	6,2	17,0	47,8
D	1	5,0	0,8	5,0	–	–	4,8	11,4	31,4	88,1
	2	3,4	0,4	3,4	–	–	3,8	9,2	25,3	70,9
	3	2,6	0,3	2,6	–	–	3,5	8,5	23,2	65,3
	4	2,2	0,3	2,2	–	–	3,3	7,9	21,6	60,7
	5	2,0	0,2	2,0	–	–	3,2	7,6	20,8	58,5
	6	1,8	0,2	1,8	–	–	3,0	7,1	19,5	54,7
E	3	4,0	0,5	4,0	–	–	4,2	10,0	27,5	77,2
	4	3,4	0,4	3,4	–	–	3,9	9,4	26,0	72,9
F	1	10,6	1,7	10,6	–	–	6,1	14,7	40,3	113,3
	2	7,0	0,9	7,0	–	–	5,0	12,0	33,1	92,9
	3	5,6	0,7	5,6	–	–	4,6	11,0	30,4	85,3

Таблица 22 – Характеристика взрывов облаков ТВС с учетом их дрейфа (сценарии С6, С8, С10, С14, Ø 100 мм)

КСА	U, м/с	L <sub>НКПВ</sub> , м	M <sub>взр.</sub> , кг	L <sub>м</sub> , м	Радиус зоны разрушения при взрыве максимальной массы, м					
					100 кПа	70 кПа	28 кПа	14 кПа	5 кПа	2 кПа
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
A	1	3,8	0,7	3,8	–	–	4,6	11,1	30,6	85,9
	2	2,6	0,3	2,6	–	–	3,6	8,6	23,7	66,5
	3	2,2	0,3	2,2	–	–	3,3	7,9	21,7	61,0
B	1	4,4	0,9	4,4	–	–	4,9	11,8	32,5	91,1
	2	3,0	0,5	3,0	–	–	4,0	9,6	26,4	74,0
	3	2,4	0,3	2,4	–	–	3,5	8,3	22,9	64,3
	4	2,2	0,2	2,2	–	–	3,2	7,8	21,3	59,9
C	3	3,4	0,4	3,4	–	–	3,9	9,4	25,8	72,5
	4	2,8	0,3	2,8	–	–	3,6	8,7	23,8	66,8
	5	2,6	0,3	2,6	–	–	3,5	8,4	23,0	64,5
	6	2,2	0,3	2,2	–	–	3,3	7,9	21,8	61,1

Инд. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	Колуч.	Лист	Недок	Подп.	Дата

МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ

Лист

75

КСА	U, м/с	L <sub>нкпв</sub> , м	M <sub>взр.</sub> , кг	L <sub>м</sub> , м	Радиус зоны разрушения при взрыве максимальной массы, м					
					100 кПа	70 кПа	28 кПа	14 кПа	5 кПа	2 кПа
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
D	1	8,2	1,6	8,2	–	–	6,0	14,4	39,5	110,9
	2	5,6	0,9	5,6	–	–	5,0	12,0	33,0	92,6
	3	4,4	0,7	4,4	–	–	4,5	10,7	29,5	82,9
	4	3,8	0,5	3,8	–	–	4,0	9,6	26,5	74,4
	5	3,4	0,4	3,4	–	–	3,8	9,2	25,2	70,7
	6	3,0	0,4	3,0	–	–	3,7	8,9	24,5	68,8
E	3	6,8	0,9	6,8	–	–	5,0	12,0	32,9	92,3
	4	5,8	0,8	5,8	–	–	4,7	11,3	31,0	87,1
F	1	17,8	3,5	17,8	–	–	7,8	18,8	51,6	145,0
	2	12,0	2,0	12,0	–	–	6,5	15,6	43,0	120,6
	3	9,4	1,4	9,4	–	–	5,8	13,8	38,0	106,8

Таблица 24 – Характеристика пожаров проливов (V-4931)

Параметр	Значение		
Сценарий	C1	C2	
		Ø 25 мм	Ø 100 мм
Масса вещества, участвующего в образовании пожара пролива, кг	23778,9	6159,3	23400,0
Максимальная площадь пожара, м <sup>2</sup>	98,0	98,0	98,0
Эффективный диаметр пролива, м	11,2	11,2	11,2
Длина пламени, м	8,5	8,5	8,5
Уровни поражения тепловым излучением на расстоянии от фронта пламени, м:			
• 10,5 кВт/м <sup>2</sup>	5,1	5,1	5,1
• 7,0 кВт/м <sup>2</sup>	8,0	8,0	8,0
• 4,2 кВт/м <sup>2</sup>	12,7	12,7	12,7
• 1,4 кВт/м <sup>2</sup>	25,1	25,1	25,1

Таблица 25 – Характеристика пожаров проливов (C-4981)

Параметр	Значение		
Сценарий	C3	C4	
		Ø 25 мм	Ø 100 мм
Масса вещества, участвующего в образовании пожара пролива, кг	62279,0	4630,9	15190,0
Максимальная площадь пожара, м <sup>2</sup>	174,0	174,0	174,0

Изм. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	Копуч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата

МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ

Лист

76



Параметр	Значение		
	Эффективный диаметр пролива, м	14,9	14,9
Длина пламени, м	15,0	15,0	15,0
Уровни поражения тепловым излучением на расстоянии от фронта пламени, м:			
• 10,5 кВт/м <sup>2</sup>	8,8	8,8	8,8
• 7,0 кВт/м <sup>2</sup>	13,5	13,5	13,5
• 4,2 кВт/м <sup>2</sup>	21,2	21,2	21,2
• 1,4 кВт/м <sup>2</sup>	41,3	41,3	41,3

Таблица 26 – Характеристика пожаров проливов (V-4951)

Параметр	Значение		
	Сценарий	C11	C12
Ø 25 мм			Ø 100 мм
Масса вещества, участвующего в образовании пожара пролива, кг	2724,9	2270,9	2724,9
Максимальная площадь пожара, м <sup>2</sup>	98,0	98,0	98,0
Эффективный диаметр пролива, м	11,2	11,2	11,2
Длина пламени, м	8,5	8,5	8,5
Уровни поражения тепловым излучением на расстоянии от фронта пламени, м:			
• 10,5 кВт/м <sup>2</sup>	5,1	5,1	5,1
• 7,0 кВт/м <sup>2</sup>	8,0	8,0	8,0
• 4,2 кВт/м <sup>2</sup>	12,7	12,7	12,7
• 1,4 кВт/м <sup>2</sup>	25,1	25,1	25,1

Таблица 27 – Характеристика пожаров проливов (P-4931)

Параметр	Значение				
	Сценарий	C15	C16		
Ø 5 мм			Ø 12.5 мм	Ø 25 мм	Ø 50 мм
Масса вещества, участвующего в образовании пожара пролива, кг	29432,1	73,6	459,9	1839,5	7358,0
Максимальная площадь пожара, м <sup>2</sup>	98,0	36,8	98,0	98,0	98,0
Эффективный диаметр пролива, м	11,2	6,8	11,2	11,2	11,2
Длина пламени, м	8,5	6,1	8,5	8,5	8,5

Изм. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	Колуч.	Лист	Недок.	Подп.	Дата

МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ

Лист

77

Параметр	Значение				
Уровни поражения тепловым излучением на расстоянии от фронта пламени, м:					
• 10,5 кВт/м <sup>2</sup>	5,1	2,8	5,1	5,1	5,1
• 7,0 кВт/м <sup>2</sup>	8,0	4,7	8,0	8,0	8,0
• 4,2 кВт/м <sup>2</sup>	12,7	7,7	12,7	12,7	12,7
• 1,4 кВт/м <sup>2</sup>	25,1	15,6	25,1	25,1	25,1

Таблица 28 – Характеристика пожаров проливов (P-4981)

Параметр	Значение				
Сценарий	C15	C16			
		Ø 5 мм	Ø 12.5 мм	Ø 25 мм	Ø 50 мм
Масса вещества, участвующего в образовании пожара пролива, кг	33268,0	83,2	519,8	2079,3	8317,0
Максимальная площадь пожара, м <sup>2</sup>	174,0	41,6	174,0	174,0	174,0
Эффективный диаметр пролива, м	14,9	7,3	14,9	14,9	14,9
Длина пламени, м	15,0	9,1	15,0	15,0	15,0
Уровни поражения тепловым излучением на расстоянии от фронта пламени, м:					
• 10,5 кВт/м <sup>2</sup>	8,8	3,6	8,8	8,8	8,8
• 7,0 кВт/м <sup>2</sup>	13,5	6,1	13,5	13,5	13,5
• 4,2 кВт/м <sup>2</sup>	21,2	10,1	21,2	21,2	21,2
• 1,4 кВт/м <sup>2</sup>	41,3	20,4	41,3	41,3	41,3

Таблица 29 – Характеристика пожаров проливов (P-4982)

Параметр	Значение				
Сценарий	C15	C16			
		Ø 5 мм	Ø 12.5 мм	Ø 25 мм	Ø 50 мм
Масса вещества, участвующего в образовании пожара пролива, кг	32567,6	81,4	508,9	2035,5	8141,9
Максимальная площадь пожара, м <sup>2</sup>	174,0	40,7	174,0	174,0	174,0
Эффективный диаметр пролива, м	14,9	7,2	14,9	14,9	14,9
Длина пламени, м	15,0	9,1	15,0	15,0	15,0

Изм. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	Копуч.	Лист	Недок	Подп.	Дата

МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ

Лист

78

Параметр	Значение				
Уровни поражения тепловым излучением на расстоянии от фронта пламени, м:					
• 10,5 кВт/м <sup>2</sup>	8,8	3,5	8,8	8,8	8,8
• 7,0 кВт/м <sup>2</sup>	13,5	6,0	13,5	13,5	13,5
• 4,2 кВт/м <sup>2</sup>	21,2	10,0	21,2	21,2	21,2
• 1,4 кВт/м <sup>2</sup>	41,3	20,2	41,3	41,3	41,3

Таблица 30 – Характеристика пожаров проливов (P-4983)

Параметр	Значение				
Сценарий	C15	C16			
		Ø 5 мм	Ø 12.5 мм	Ø 25 мм	Ø 50 мм
Масса вещества, участвующего в образовании пожара пролива, кг	33268,0	83,2	519,8	2079,3	8317,0
Максимальная площадь пожара, м <sup>2</sup>	174,0	41,6	174,0	174,0	174,0
Эффективный диаметр пролива, м	14,9	7,3	14,9	14,9	14,9
Длина пламени, м	15,0	9,1	15,0	15,0	15,0
Уровни поражения тепловым излучением на расстоянии от фронта пламени, м:					
• 10,5 кВт/м <sup>2</sup>	8,8	3,6	8,8	8,8	8,8
• 7,0 кВт/м <sup>2</sup>	13,5	6,1	13,5	13,5	13,5
• 4,2 кВт/м <sup>2</sup>	21,2	10,1	21,2	21,2	21,2
• 1,4 кВт/м <sup>2</sup>	41,3	20,4	41,3	41,3	41,3

Таблица 31 – Характеристика пожаров проливов (P-4984)

Параметр	Значение				
Сценарий	C15	C16			
		Ø 5 мм	Ø 12.5 мм	Ø 25 мм	Ø 50 мм
Масса вещества, участвующего в образовании пожара пролива, кг	30369,4	75,9	474,5	1898,0	7592,4
Максимальная площадь пожара, м <sup>2</sup>	174,0	38,0	174,0	174,0	174,0
Эффективный диаметр пролива, м	14,9	7,0	14,9	14,9	14,9
Длина пламени, м	15,0	8,9	15,0	15,0	15,0

Изм. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	Кол.ч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата

МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ

Лист

79

Параметр	Значение				
Уровни поражения тепловым излучением на расстоянии от фронта пламени, м:					
• 10,5 кВт/м <sup>2</sup>	8,8	3,4	8,8	8,8	8,8
• 7,0 кВт/м <sup>2</sup>	13,5	5,7	13,5	13,5	13,5
• 4,2 кВт/м <sup>2</sup>	21,2	9,6	21,2	21,2	21,2
• 1,4 кВт/м <sup>2</sup>	41,3	19,5	41,3	41,3	41,3

Таблица 32 – Характеристика пожаров проливов (P-4985)

Параметр	Значение				
Сценарий	C15	C16			
		Ø 5 мм	Ø 12,5 мм	Ø 25 мм	Ø 50 мм
Масса вещества, участвующего в образовании пожара пролива, кг	48496,1	121,2	757,8	3031,0	12124,0
Максимальная площадь пожара, м <sup>2</sup>	174,0	60,6	174,0	174,0	174,0
Эффективный диаметр пролива, м	14,9	8,8	14,9	14,9	14,9
Длина пламени, м	15,0	10,4	15,0	15,0	15,0
Уровни поражения тепловым излучением на расстоянии от фронта пламени, м:					
• 10,5 кВт/м <sup>2</sup>	8,8	4,6	8,8	8,8	8,8
• 7,0 кВт/м <sup>2</sup>	13,5	7,5	13,5	13,5	13,5
• 4,2 кВт/м <sup>2</sup>	21,2	12,3	21,2	21,2	21,2
• 1,4 кВт/м <sup>2</sup>	41,3	24,6	41,3	41,3	41,3

Таблица 33 – Характеристика факелов (трубопровод хвостового газа Ду 500)

Параметр	Значение				
Сценарий	C17	C18			
		Ø 12,5 мм	Ø 25 мм	Ø 50 мм	Ø 100 мм
Расход газа из трубопровода, кг/с	6,67	0,009	0,036	0,144	0,574
Длина видимой части факела, м	10,0	0,236	0,8	1,8	3,5
Ширина факела, м	5,0	0,118	0,4	0,9	1,8

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Изм.	Копуч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата

МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ

Лист

80

Параметр	Значение				
Уровни поражения тепловым излучением в направлении действия горячей струи, м:					
• 10,5 кВт/м <sup>2</sup>	11,6	0,4	1,4	2,7	4,6
• 7,0 кВт/м <sup>2</sup>	14,9	0,5	1,6	3,3	5,8
• 4,2 кВт/м <sup>2</sup>	20,0	0,6	2,0	4,2	7,6
• 1,4 кВт/м <sup>2</sup>	35,5	0,9	3,2	7,0	13,2

Согласно расчетам (п.п. 1.2.4, 2.2.4) в результате наиболее опасной с точки зрения токсического поражения аварии на установке КФ-3 (полное разрушение абсорбера формалина поз. С-4981) в атмосферу может поступить до 35,4 кг газообразного формальдегида, кроме того, за счет испарения аварийного пролива формалина в атмосферу может поступить еще 16,9 кг формальдегида в течение часа. Ниже приведены результаты численного моделирования рассеяния парогазового облака, содержащего формальдегид, в зависимости от метеопараметров.

В таблице 35 приведены результаты моделирования рассеяния аварийного выброса формальдегида в зависимости от метеопараметров. На рисунке 57 приведено распределение токсодозы формальдегида на местности в зависимости от метеопараметров в результате рассмотренной аварийной ситуации.

Таблица 35 – Результаты моделирования рассеяния аварийного выброса формальдегида в зависимости от метеопараметров

Класс устойчивости атмосферы	Скорость ветра, м/с	Максимальная достигаемая токсодоза, мгхмин/л	Расстояние, на котором достигается максимальная токсодоза, м	Класс устойчивости атмосферы	Скорость ветра, м/с	Максимальная достигаемая токсодоза, мгхмин/л	Расстояние, на котором достигается максимальная токсодоза, м
1	2	3	4	5	6	7	8
А	1	4,489	17	D	1	4,52	44
	2	2,319	17		2	2,339	44
	3	1,546	17		3	1,56	44
В	1	4,517	22		4	1,17	44
	2	2,336	22		5	0,936	44
	3	1,558	22		6	0,75	44
С	4	1,168	22	E	3	1,49	67
	3	1,51	32		4	1,156	67
	4	1,17	32	F	1	4,39	109
	5	0,936	32		2	2,265	109
6	0,75	32	3	1,51	109		

Изм. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	Копуч.	Лист	Недок	Подп.	Дата	МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ	Лист
							81

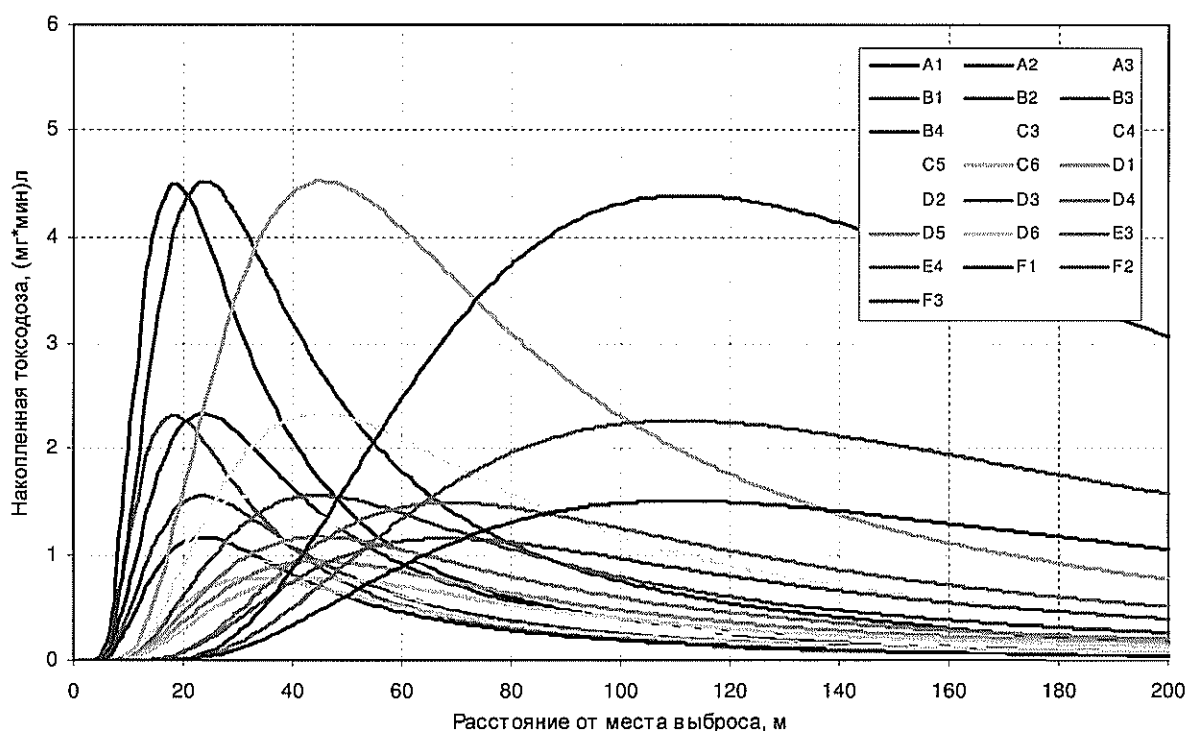


Рисунок 57 – Распределение токсодозы формальдегида на местности в зависимости от метеопараметров

Из приведенных данных видно, что максимально возможная токсодоза наблюдается при нейтральной устойчивости атмосферы (класс D) и скорости ветра, равной 1 м/с, и может достигнуть 4.52 мг·мин/л на расстоянии 44 м от места выброса. Указанное значение не достигает среднесмертельной токсодозы для формальдегида, которая составляет 6 мг·мин/л [16, 17, 40, 41].

Таким образом, даже при наиболее опасной с точки зрения токсического поражения аварии на установке КФ-3 и наихудших условиях для рассеяния парогазового облака смертельное токсическое поражение персонала не наблюдается.

## 2.3 Оценка риска аварий

### 2.3.1 Оценка вероятности аварий

Вероятности разгерметизации технологического оборудования определялись на основании данных, приведенных в «Методике определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах» [9].

Вероятности реализации различных исходов аварий определялась с помощью «деревьев событий» (рисунки 10÷44) как произведение вероятности возникновения аварии на условную вероятность реализации конкретного исхода аварии.

При определении вероятностей промежуточных событий, используемых в «деревьях событий», использовались «деревья отказов», представленные на рис. 7÷9.

Результаты расчетов вероятностей возникновения и развития возможных аварийных ситуаций на проектируемом объекте, а также реализации их последствий приведены в таблице 34.

Изм. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	Копуч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата

МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ

Лист

82

Таблица 34 – Результаты расчетов вероятности возникновения аварий и реализации их последствий

Оборудование	Наименование сценария		Вероятность инициирующего события	Наименование исхода аварии	Вероятность исхода аварии		
	1	2				3	4
Испаритель метанола поз. V-4931	Полное разрушение (сценарий С1)		5,0E-06	Локализация/ликвидация	1,37E-06		
				Пожар пролива	2,99E-07		
				Взрыв ТВС/пожар пролива	2,87E-07		
				Токсическая/взрывоопасная зона	3,04E-06		
	Частичная разгерметизация (сценарий С2)		∅ 100 мм	1,2E-05	Локализация/ликвидация	6,75E-07	
					Пожар пролива	2,89E-07	
					Без воспламенения	1,1E-05	
			∅ 25 мм		8,8E-05	Локализация/ликвидация	1,84E-06
						Пожар пролива	7,85E-07
						Без воспламенения	8,54E-05
Абсорбер формалина поз. С-4981	Полное разрушение (сценарий С3)		5,0E-06	Локализация/ликвидация	1,96E-06		
				Пожар пролива	1,96E-09		
				Взрыв ТВС/пожар пролива	1,88E-09		
				Токсическая/взрывоопасная зона	3,04E-06		
	Частичная разгерметизация (сценарий С4)		∅ 100 мм	1,2E-05	Локализация/ликвидация	9,62E-07	
					Пожар пролива	1,89E-09	
					Токсическая зона	1,1E-05	
			∅ 25 мм		8,8E-05	Локализация/ликвидация	2,62E-06
						Пожар пролива	5,13E-09
						Токсическая зона	8,54E-05
Реактор поз. R-4941	Полное разрушение (сценарий С5)		5,0E-06	Локализация/ликвидация	1,37E-06		

Изм. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	Копуч.	Лист	Недок.	Подп.	Дата

МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ

Лист

83

Оборудование	Наименование сценария		Вероятность иницирующего события	Наименование исхода аварии	Вероятность исхода аварии	
	1	2				3
	Частичная разгерметизация (сценарий С6)	∅ 100 мм	1,2E-05	Взрыв ТВС	5,87E-07	
				Токсическая/ взрывоопасная зона	3,04E-06	
				Локализация/ ликвидация	8,39E-08	
		∅ 25 мм		8,8E-05	Взрыв ТВС	3,58E-08
					Токсическая/ взрывоопасная зона	1,19E-05
					Локализация/ ликвидация	6,15E-07
	Полное разрушение (сценарий С7)		5,0E-06	Взрыв ТВС	5,87E-07	
				Токсическая/ взрывоопасная зона	3,04E-06	
				Локализация/ ликвидация	1,37E-06	
Сепаратор поз. V-4911	Частичная разгерметизация (сценарий С8)	∅ 100 мм	1,2E-05	Взрыв ТВС	3,58E-08	
				Токсическая/ взрывоопасная зона	1,19E-05	
				Локализация/ ликвидация	8,39E-08	
	∅ 25 мм	8,8E-05		Взрыв ТВС	2,63E-07	
				Токсическая/ взрывоопасная зона	8,71E-05	
				Локализация/ ликвидация	6,15E-07	
Фильтр поз. F-4941	Полное разрушение (сценарий С9)		5,0E-06	Взрыв ТВС	5,87E-07	
				Токсическая/ взрывоопасная зона	3,04E-06	
				Локализация/ ликвидация	1,37E-06	
	Частичная разгерметизация (сценарий С10)	∅ 100 мм		1,2E-05	Взрыв ТВС	3,58E-08
					Локализация/ ликвидация	8,39E-08

Изм. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	Копуч.	Лист	Недок	Подп.	Дата

МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ

Лист

84



Оборудование	Наименование сценария		Вероятность инициирующего события	Наименование исхода аварии	Вероятность исхода аварии		
						1	2
				Токсоволна/ взрывооп. зона	1,19E-05		
				∅ 25 мм	8,8E-05	Локализация/ ликвидация	6,15E-07
						Взрыв ТВС	2,63E-07
						Токсоволна/ взрывооп. зона	8,71E-05
Емкость метанола поз. V-4951	Полное разрушение (сценарий С11)		5,0E-06	Локализация/ ликвидация	1,37E-06		
				Пожар пролива	2,99E-07		
				Взрыв ТВС/ пожар пролива	2,87E-07		
				Взрывооп. зона	3,04E-06		
	Частичная разгерметизация (сценарий С12)	∅ 100 мм		1,2E-05	Локализация/ ликвидация	6,75E-07	
					Пожар пролива	2,89E-07	
					Без воспламенения	1,1E-05	
		∅ 25 мм		8,8E-05	Локализация/ ликвидация	1,84E-06	
					Пожар пролива	7,85E-07	
					Без воспламенения	8,54E-05	
	Теплообменник поз. E-4941	Полное разрушение (сценарий С13)		5,0E-06	Локализация/ ликвидация	1,37E-06	
					Взрыв ТВС	5,87E-07	
Токсоволна/ взрывооп. зона					3,04E-06		
Частичная разгерметизация (сценарий С14)		∅ 100 мм		1,2E-05	Локализация/ ликвидация	8,39E-08	
					Взрыв ТВС	3,58E-08	
					Токсоволна/ взрывооп. зона	1,19E-05	
		∅ 25 мм		8,8E-05	Локализация/ ликвидация	6,15E-07	
					Взрыв ТВС	2,63E-07	

Инд. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	Копуч.	Лист	Нодок	Подп.	Дата

МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ

Лист

85

Оборудование	Наименование сценария		Вероятность иницирующего события	Наименование исхода аварии	Вероятность исхода аварии
1	2	3	4	5	6
				Токсоволна/ взрывооп. зона	8,71E-05
Насос поз. Р-4931	Полное разрушение (сценарий С15)		1,0E-04	Локализация/ ликвидация	5,63E-06
				Пожар пролива	2,41E-06
				Без воспламенения	9,2E-05
	Частичная разгерметизация (сценарий С16)	∅ 5 мм	4,3E-03	Локализация/ ликвидация	3,0E-05
				Пожар пролива	1,28E-05
				Без воспламенения	4,26E-03
		∅ 12,5 мм	6,1E-04	Локализация/ ликвидация	1,27E-05
				Пожар пролива	5,44E-06
				Без воспламенения	5,92E-04
		∅ 25 мм	5,1E-04	Локализация/ ликвидация	1,06E-05
				Пожар пролива	4,55E-06
				Без воспламенения	4,95E-04
		∅ 50 мм	2,0E-04	Локализация/ ликвидация	4,17E-06
				Пожар пролива	1,78E-06
				Без воспламенения	1,94E-04
Насос поз. Р-4981	Полное разрушение (сценарий С15)		1,0E-04	Локализация/ ликвидация	8,02E-06
				Пожар пролива	1,57E-08
				Токсоволна	9,2E-05
	Частичная разгерметизация (сценарий С16)	∅ 5 мм	4,3E-03	Локализация/ ликвидация	4,28E-05
				Пожар пролива	8,4E-08
				Токсоволна	4,26E-03
∅ 12,5 мм	6,1E-04	Локализация/ ликвидация	1,81E-05		
		Пожар пролива	3,56E-08		

Изм. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	Копуч.	Лист	№ док	Подп.	Дата

МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ

Лист

86

Оборудование	Наименование сценария		Вероятность иницирующего события	Наименование исхода аварии	Вероятность исхода аварии			
1	2	3	4	5	6			
Насос поз. Р-4982	Полное разрушение (сценарий С15)		5,1E-04	Токсоволна	5,92E-04			
				Локализация/ликвидация	1,52E-05			
				Пожар пролива	2,97E-08			
				Токсоволна	4,95E-04			
				Локализация/ликвидация	5,94E-06			
				Пожар пролива	1,17E-08			
	Частичная разгерметизация (сценарий С16)	∅ 5 мм	4,3E-03	6,1E-04	Токсоволна	1,94E-04		
					Локализация/ликвидация	5,94E-06		
					Пожар пролива	1,17E-08		
		∅ 12,5 мм			6,1E-04	5,1E-04	Токсоволна	1,94E-04
							Локализация/ликвидация	5,94E-06
							Пожар пролива	1,17E-08
∅ 25 мм	5,1E-04	2,0E-04	Токсоволна	1,94E-04				
			Локализация/ликвидация	5,94E-06				
			Пожар пролива	1,17E-08				
∅ 50 мм			2,0E-04	1,0E-04	Токсоволна	9,2E-05		
					Локализация/ликвидация	8,02E-06		
					Пожар пролива	1,57E-08		
∅	4,3E-03	1,0E-04			Токсоволна	9,2E-05		
					Локализация/ликвидация	8,02E-06		
					Пожар пролива	1,57E-08		
Полное разрушение (сценарий С15)				1,0E-04	Токсоволна	9,2E-05		
					Локализация/ликвидация	8,02E-06		
					Пожар пролива	1,57E-08		
Частичная разгерметизация	∅	4,3E-03	Токсоволна	4,28E-05				
			Локализация/ликвидация	4,28E-05				
			Пожар пролива	8,4E-08				

Изм. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	Копуч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата

МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ

Лист

87

Оборудование	Наименование сценария		Вероятность инициирующего события	Наименование исхода аварии	Вероятность исхода аварии
1	2	3	4	5	6
	(сценарий С16)	5 мм		Пожар пролива	8,4E-08
				Токсоволна	4,26E-03
		∅ 12,5 мм	6,1E-04	Локализация/ликвидация	1,81E-05
				Пожар пролива	3,56E-08
				Токсоволна	5,92E-04
		∅ 25 мм	5,1E-04	Локализация/ликвидация	1,52E-05
				Пожар пролива	2,97E-08
				Токсоволна	4,95E-04
		∅ 50 мм	2,0E-04	Локализация/ликвидация	5,94E-06
				Пожар пролива	1,17E-08
				Токсоволна	1,94E-04
		Насос поз. Р-4984	Полное разрушение (сценарий С15)		1,0E-04
Пожар пролива	1,57E-08				
Токсоволна	9,2E-05				
Частичная разгерметизация (сценарий С16)	∅ 5 мм		4,3E-03	Локализация/ликвидация	4,28E-05
				Пожар пролива	8,4E-08
				Токсоволна	4,26E-03
	∅ 12,5 мм		6,1E-04	Локализация/ликвидация	1,81E-05
				Пожар пролива	3,56E-08
				Токсоволна	5,92E-04
	∅ 25 мм		5,1E-04	Локализация/ликвидация	1,52E-05
				Пожар пролива	2,97E-08
				Токсоволна	4,95E-04
	∅ 50 мм		2,0E-04	Локализация/ликвидация	5,94E-06
				Пожар пролива	1,17E-08
				Токсоволна	1,94E-04

Изм. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	Копуч.	Лист	Недок	Подп.	Дата

МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ

Лист

88

Оборудование	Наименование сценария		Вероятность иницирующего события	Наименование исхода аварии	Вероятность исхода аварии	
	1	2				3
Насос поз. Р-4985	Полное разрушение (сценарий С15)		1,0E-04	Локализация/ликвидация	8,02E-06	
				Пожар пролива	1,57E-08	
				Токсovolна	9,2E-05	
	Частичная разгерметизация (сценарий С16)		∅ 5 мм	4,3E-03	Локализация/ликвидация	4,28E-05
					Пожар пролива	8,4E-08
					Токсovolна	4,26E-03
			∅ 12,5 мм	6,1E-04	Локализация/ликвидация	1,81E-05
					Пожар пролива	3,56E-08
					Токсovolна	5,92E-04
			∅ 25 мм	5,1E-04	Локализация/ликвидация	1,52E-05
					Пожар пролива	2,97E-08
					Токсovolна	4,95E-04
	∅ 50 мм	2,0E-04	Локализация/ликвидация	5,94E-06		
			Пожар пролива	1,17E-08		
			Токсovolна	1,94E-04		
Трубопровод хвостового газа (Ду 500)	Разрыв на полное сечение (сценарий С17)		1,47E-06 <sup>9</sup>	Факел	1,03E-07	
				Без воспламенения	1,37E-06	
	Частичная разгерметизация (сценарий С18)		∅ 12,5 мм	1,08E-04	Факел	4,41E-06
					Без воспламенения	1,04E-04
			∅ 25 мм	4,6E-05	Факел	1,88E-06
					Без воспламенения	4,41E-05
			∅ 50 мм	1,82E-05	Факел	7,42E-07
					Без воспламенения	1,74E-05
			∅	7,82E-06	Факел	3,19E-07

<sup>9</sup> При определении указанной вероятности принято, что длина рассматриваемого трубопровода составляет 50 м. Разгерметизация на фланцевых соединениях добавляется к разгерметизации на трубопроводе. Одно фланцевое соединение по частоте разгерметизации приравнено к 10 м трубопровода. На рассматриваемом трубопроводе установлено 18 фланцевых соединений.

Изм.	Копуч.	Лист	№ док	Подп.	Дата
Инд. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №			

МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ

Лист

89

Оборудование	Наименование сценария		Вероятность инициирующего события	Наименование исхода аварии	Вероятность исхода аварии
1	2	3	4	5	6
		100 мм		Без воспламенения	7,5E-06

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №							Лист
			МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ						
Изм.	Коп.уч.	Лист	Недок	Подп.	Дата				

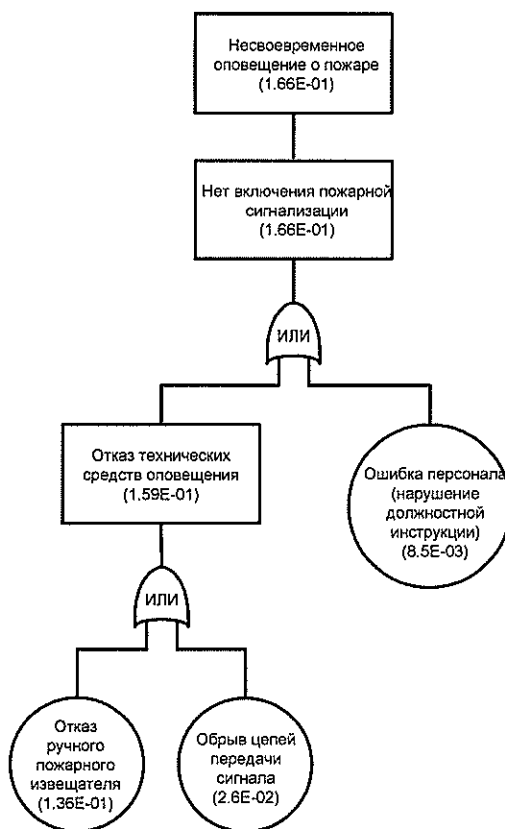


Рисунок 7 – Дерево отказов, используемое для определения вероятности события «Несвоевременное оповещение о пожаре»

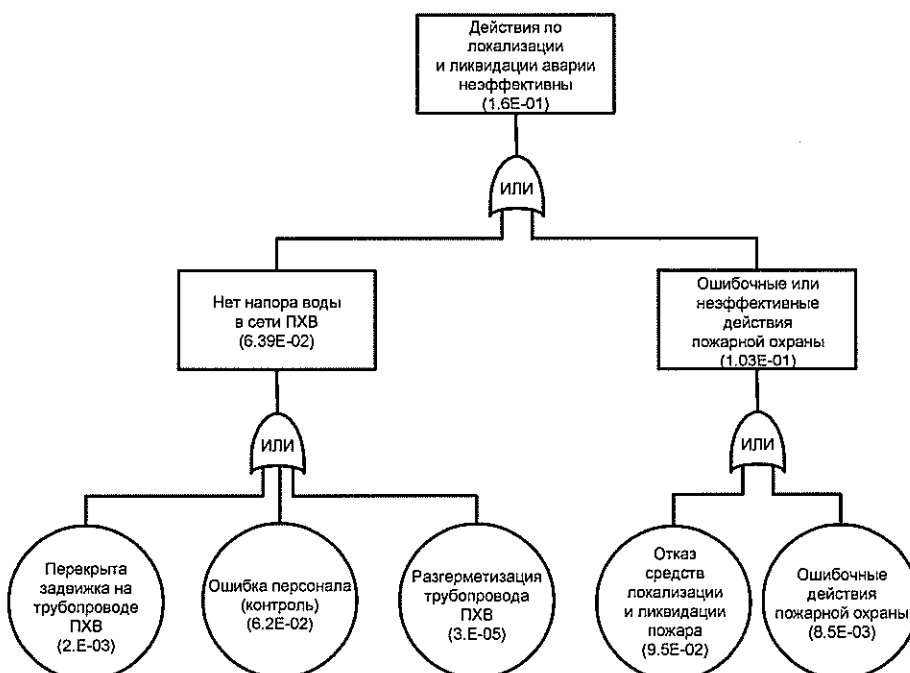


Рисунок 8 – Дерево отказов, используемое для определения вероятности события «Действия по локализации и ликвидации аварии неэффективны»

Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Копуч.	Лист	Недок	Подп.	Дата

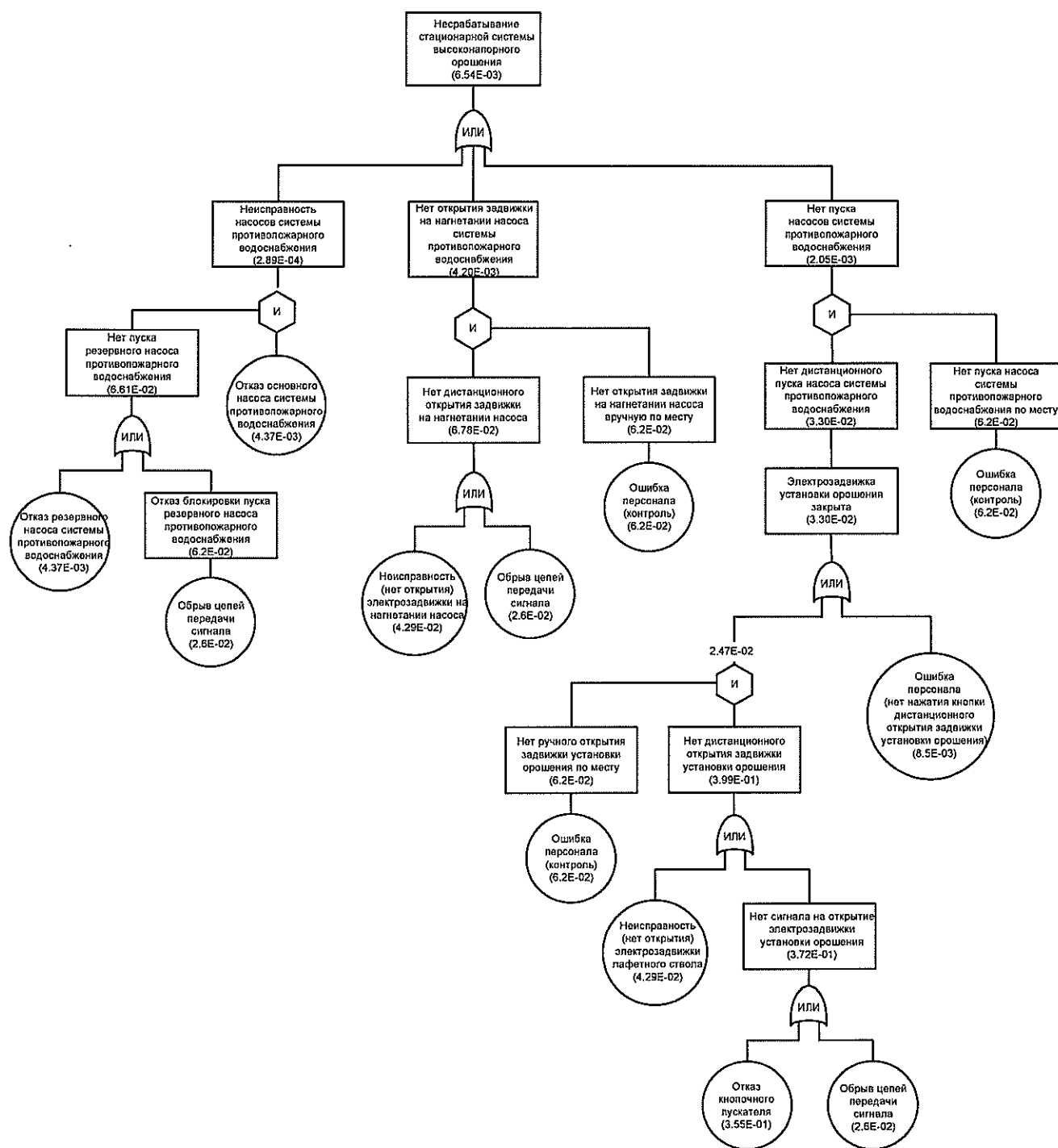


Рисунок 9 – Дерево отказов, используемое для определения вероятности события «Несрабатывание стационарной системы высоконапорного орошения»

Изм. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	Копуч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата



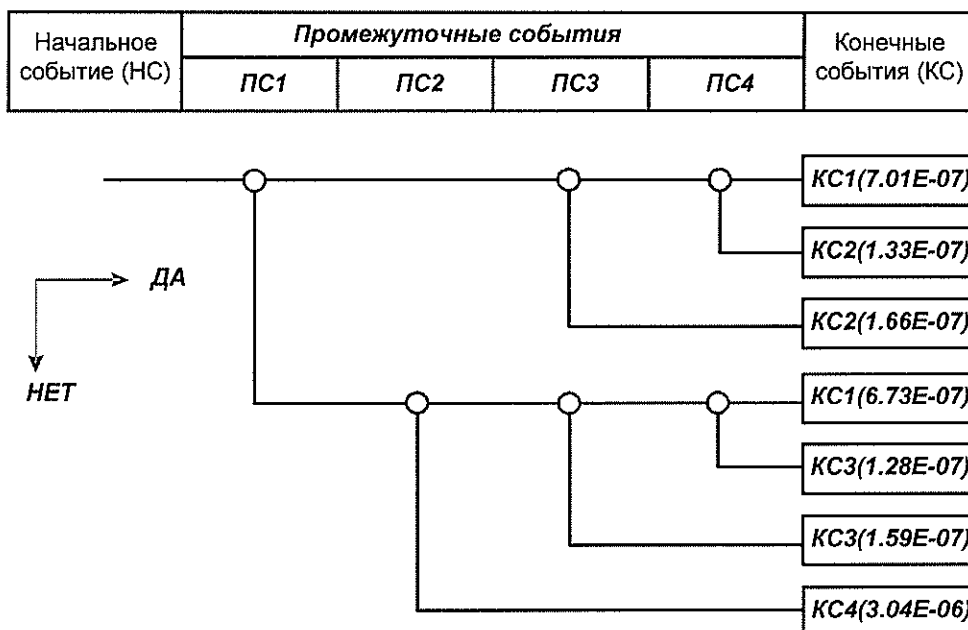


Рисунок 10 – Дерево событий, моделирующее возможные варианты развития аварийной ситуации при полном разрушении испарителя метанола поз. V-4931 (сценарий С1)

**Наименование событий:**

**НС** – полное разрушение аппарата (вероятность 5.0E-06);

**ПС1** – возникновение мгновенного источника воспламенения (вероятность 2.0E-01);

**ПС2** – появление отложенного источника воспламенения (вероятность 2.4E-01);

**ПС3** – своевременное оповещение о пожаре (вероятность 8.34E-1);

**ПС4** – действия по локализации и ликвидации аварии эффективны (вероятность 8.4E-1);

**КС1** – локализация и ликвидация аварийной ситуации (вероятность 1,37E-06);

**КС2** – пожар пролива жидкой фазы в поддоне (вероятность 2,99E-07);

**КС3** – дефлаграционный взрыв облака ТВС с последующим пожаром пролива жидкой фазы в поддоне (вероятность 2,87E-07);

**КС4** – образование токсической/взрывоопасной зоны (вероятность 3,04E-06).

Изм. № подл.	
Подп. и дата	
Взам. инв. №	

Изм.	Копуч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата

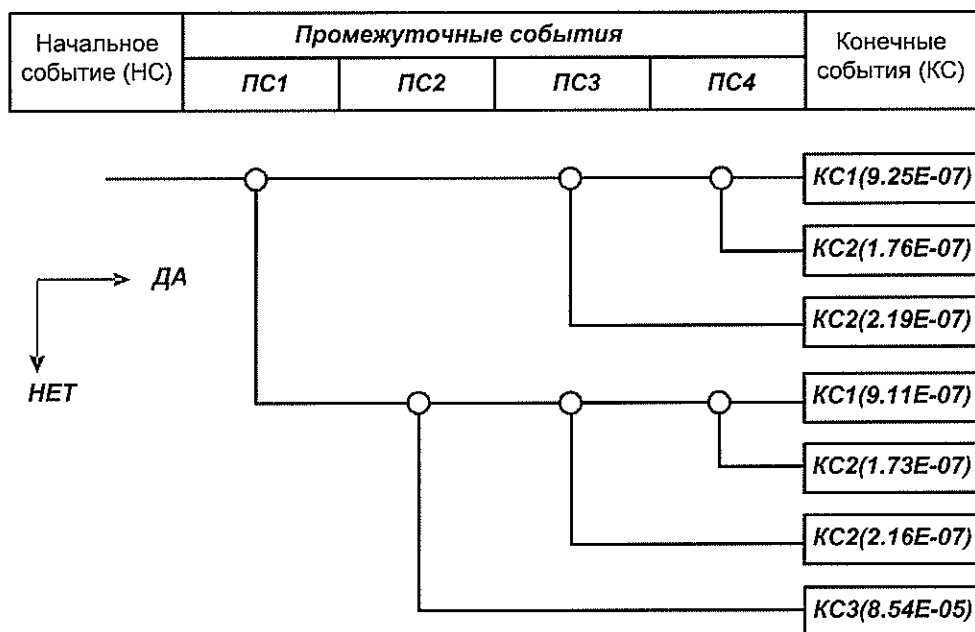


Рисунок 11 – Дерево событий, моделирующее возможные варианты развития аварийной ситуации при разгерметизации испарителя метанола поз. V-4931 (сценарий С2, Ø 25 мм)

#### Наименование событий:

НС – разгерметизация аппарата (вероятность  $8,8E-05$ );

ПС1 – возникновение мгновенного источника воспламенения (вероятность  $1,5E-02$ );

ПС2 – появление отложенного источника воспламенения (вероятность  $1,5E-02$ );

ПС3 – своевременное оповещение о пожаре (вероятность  $8,34E-1$ );

ПС4 – действия по локализации и ликвидации аварии эффективны (вероятность  $8,4E-1$ );

КС1 – локализация и ликвидация аварийной ситуации (вероятность  $1,84E-06$ );

КС2 – пожар пролива жидкой фазы в поддоне (вероятность  $7,85E-07$ );

КС3 – рассеяние без воспламенения (вероятность  $8,54E-05$ ).

Изм. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №					МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ	Лист	
			Изм.	Копуч.	Лист	№ док	Подп.	Дата	94

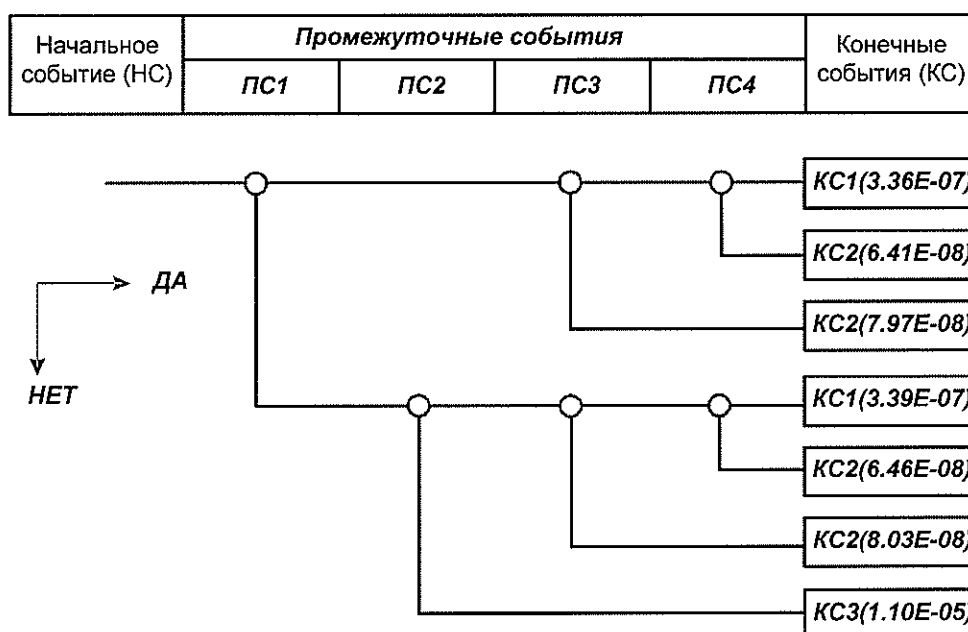


Рисунок 12 – Дерево событий, моделирующее возможные варианты развития аварийной ситуации при разгерметизации испарителя метанола поз. V-4931 (сценарий С2,  $\varnothing$  100 мм)

#### Наименование событий:

**НС** – разгерметизация аппарата (вероятность  $1,2E-05$ );

**ПС1** – возникновение мгновенного источника воспламенения (вероятность  $4,0E-02$ );

**ПС2** – появление отложенного источника воспламенения (вероятность  $4,2E-02$ );

**ПС3** – своевременное оповещение о пожаре (вероятность  $8,34E-1$ );

**ПС4** – действия по локализации и ликвидации аварии эффективны (вероятность  $8,4E-1$ );

**КС1** – локализация и ликвидация аварийной ситуации (вероятность  $6,75E-07$ );

**КС2** – пожар пролива жидкой фазы в поддоне (вероятность  $2,89E-07$ );

**КС3** – рассеяние без воспламенения (вероятность  $1,1E-05$ ).

Изм. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №					<b>МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ</b>	Лист
							95	
Изм.	Копуч.	Лист	№ док	Подп.	Дата			

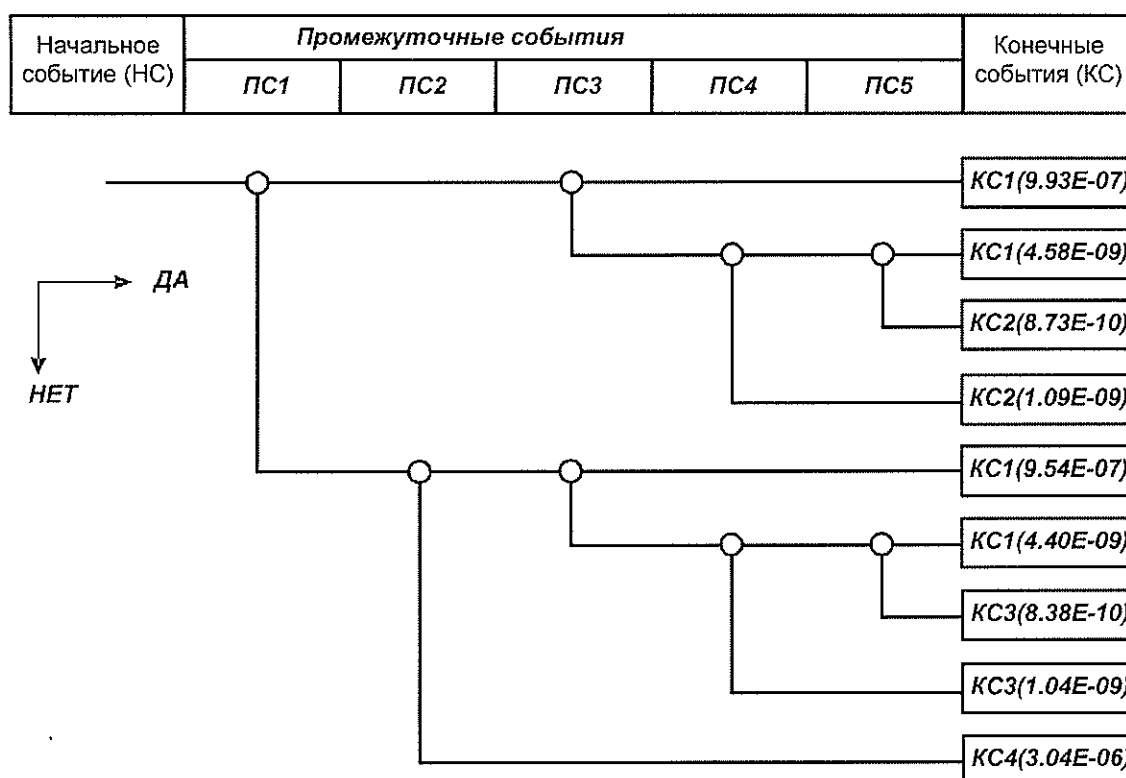


Рисунок 13 – Дерево событий, моделирующее возможные варианты развития аварийной ситуации при полном разрушении абсорбера формалина поз. С-4981 (сценарий С3)

#### Наименование событий:

**НС** – полное разрушение аппарата (вероятность  $5.0E-06$ );

**ПС1** – возникновение мгновенного источника воспламенения (вероятность  $2.0E-01$ );

**ПС2** – появление отложенного источника воспламенения (вероятность  $2.4E-01$ );

**ПС4** – срабатывание стационарной системы высоконапорного орошения (вероятность  $9,93E-01$ );

**ПС4** – своевременное оповещение о пожаре (вероятность  $8.34E-1$ );

**ПС5** – действия по локализации и ликвидации аварии эффективны (вероятность  $8.4E-1$ );

**КС1** – локализация и ликвидация аварийной ситуации (вероятность  $1,96E-06$ );

**КС2** – пожар пролива жидкой фазы в поддоне (вероятность  $1,96E-09$ );

**КС3** – дефлаграционный взрыв облака ТВС с последующим пожаром пролива жидкой фазы в поддоне (вероятность  $1,88E-09$ );

**КС4** – образование токсической/взрывоопасной зоны (вероятность  $3,04E-06$ ).

Изм. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	Копуч.	Лист	Недок	Подп.	Дата

МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ

Лист

96

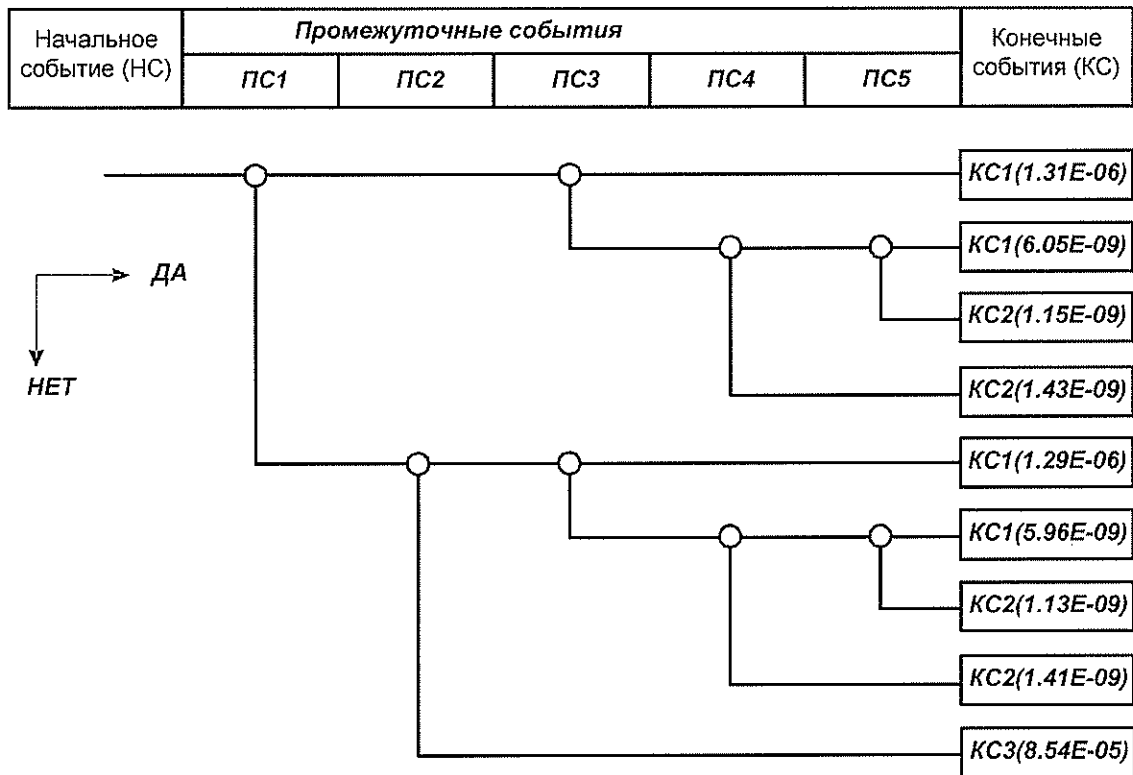


Рисунок 14 – Дерево событий, моделирующее возможные варианты развития аварийной ситуации при разгерметизации абсорбера формалина поз. С-4981 (сценарий С4,  $\varnothing$  25 мм)

#### Наименование событий:

**НС** – разгерметизация аппарата (вероятность  $8,8E-05$ );

**ПС1** – возникновение мгновенного источника воспламенения (вероятность  $1,5E-02$ );

**ПС2** – появление отложенного источника воспламенения (вероятность  $1,5E-02$ );

**ПС4** – срабатывание стационарной системы высоконапорного орошения (вероятность  $9,93E-01$ );

**ПС4** – своевременное оповещение о пожаре (вероятность  $8.34E-1$ );

**ПС5** – действия по локализации и ликвидации аварии эффективны (вероятность  $8.4E-1$ );

**КС1** – локализация и ликвидация аварийной ситуации (вероятность  $2,62E-06$ );

**КС2** – пожар пролива жидкой фазы в поддоне (вероятность  $5,13E-09$ );

**КС3** – образование токсической волны (вероятность  $8,54E-05$ ).

Изм.	Копуч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ	Лист
							97

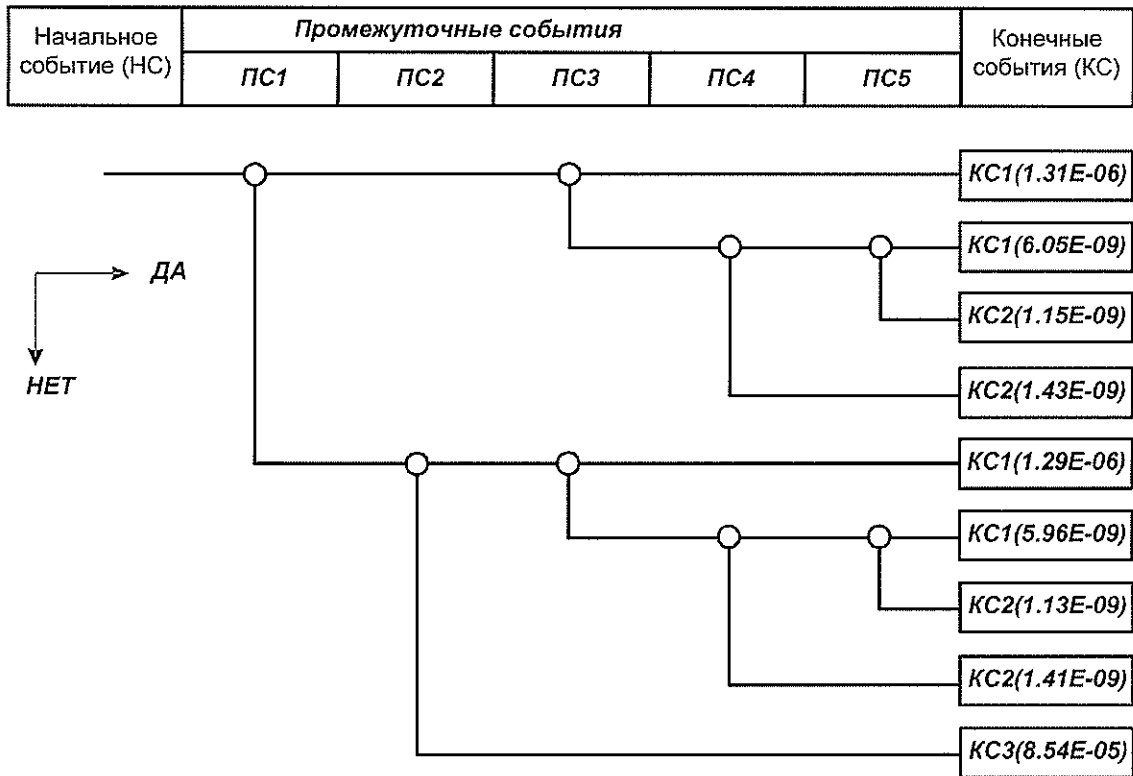


Рисунок 15 – Дерево событий, моделирующее возможные варианты развития аварийной ситуации при разгерметизации абсорбера формалина поз. С-4981 (сценарий С4,  $\varnothing$  100 мм)

#### Наименование событий:

**НС** – разгерметизация аппарата (вероятность  $1,2E-05$ );

**ПС1** – возникновение мгновенного источника воспламенения (вероятность  $4,0E-02$ );

**ПС2** – появление отложенного источника воспламенения (вероятность  $4,2E-02$ );

**ПС4** – срабатывание стационарной системы высоконапорного орошения (вероятность  $9,93E-01$ );

**ПС4** – своевременное оповещение о пожаре (вероятность  $8,34E-1$ );

**ПС5** – действия по локализации и ликвидации аварии эффективны (вероятность  $8,4E-1$ );

**КС1** – локализация и ликвидация аварийной ситуации (вероятность  $9,62E-07$ );

**КС2** – пожар пролива жидкой фазы в поддоне (вероятность  $1,89E-09$ );

**КС3** – образование токсической волны (вероятность  $1,1E-05$ ).

Изм.	Копуч.	Лист	№ док	Подп.	Дата	<b>МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ</b>	Лист
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №					98

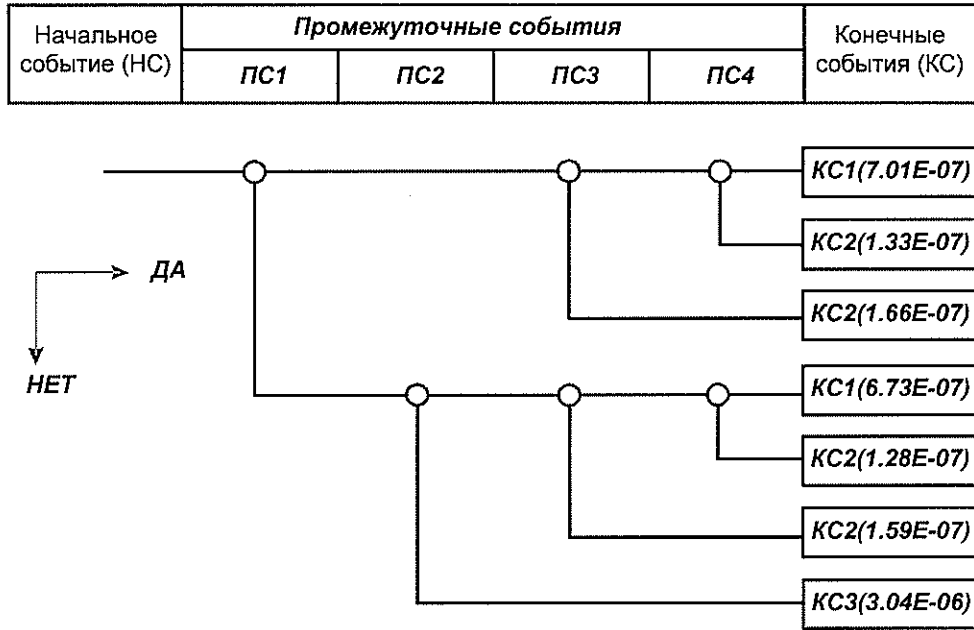


Рисунок 16 – Дерево событий, моделирующее возможные варианты развития аварийной ситуации при полном разрушении реактора поз. R-4941 (сценарий С5)

**Наименование событий:**

**НС** – полное разрушение аппарата (вероятность  $5.0E-06$ );

**ПС1** – возникновение мгновенного источника воспламенения (вероятность  $2.0E-01$ );

**ПС2** – появление отложенного источника воспламенения (вероятность  $2.4E-01$ );

**ПС3** – своевременное оповещение о пожаре (вероятность  $8.34E-1$ );

**ПС4** – действия по локализации и ликвидации аварии эффективны (вероятность  $8.4E-1$ );

**КС1** – локализация и ликвидация аварийной ситуации (вероятность  $1,37E-06$ );

**КС2** – дефлаграционный взрыв облака ТВС (вероятность  $5,87E-07$ );

**КС3** – образование токсической/взрывоопасной зоны (вероятность  $3,04E-06$ ).

Взам. инв. №		
Подп. и дата		
Инв. № подл.		

Изм.	Копуч.	Лист	Недок	Подп.	Дата				

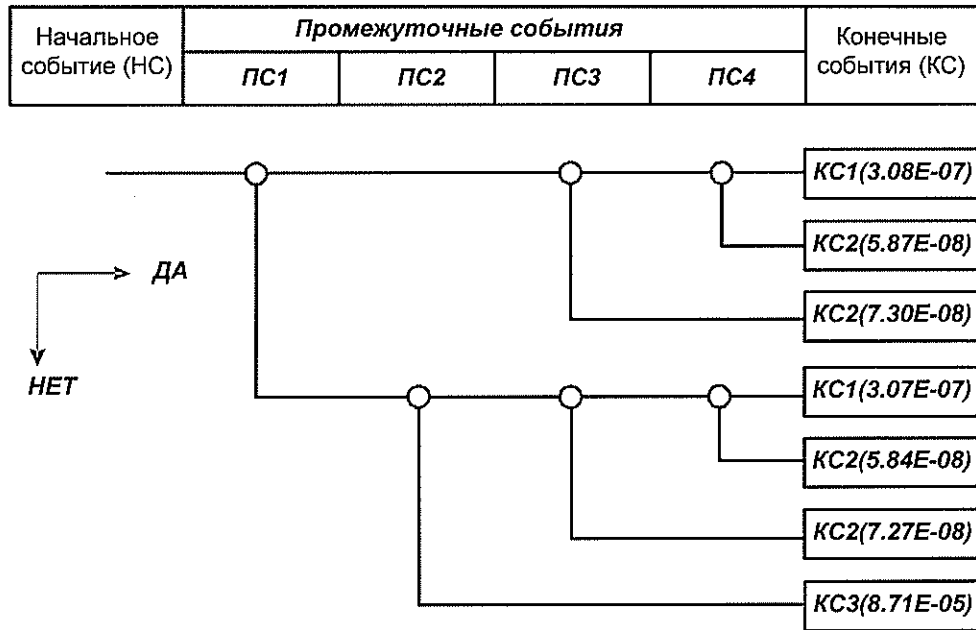


Рисунок 17 – Дерево событий, моделирующее возможные варианты развития аварийной ситуации при разгерметизации реактора поз. R-4941 (сценарий С6, Ø 25 мм)

**Наименование событий:**

- НС – разгерметизация аппарата (вероятность 8,8E-05);
- ПС1 – возникновение мгновенного источника воспламенения (вероятность 5E-03);
- ПС2 – появление отложенного источника воспламенения (вероятность 5E-03);
- ПС3 – своевременное оповещение о пожаре (вероятность 8.34E-1);
- ПС4 – действия по локализации и ликвидации аварии эффективны (вероятность 8.4E-1);
- КС1 – локализация и ликвидация аварийной ситуации (вероятность 6,15E-07);
- КС2 – дефлаграционный взрыв облака ТВС (вероятность 2,63E-07);
- КС3 – образование токоволны/взрывоопасной зоны (вероятность 8,71E-05).

Изм. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	Копуч.	Лист	№ док	Подп.	Дата	МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ	Лист
							100



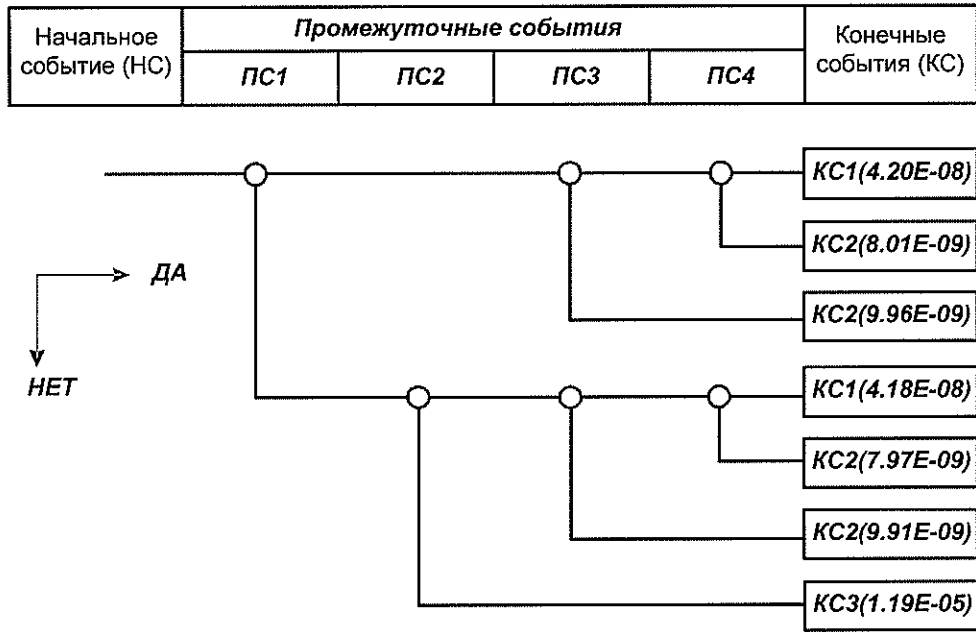


Рисунок 18 – Дерево событий, моделирующее возможные варианты развития аварийной ситуации при разгерметизации реактора поз. R-4941 (сценарий С6, Ø 100 мм)

**Наименование событий:**

- НС** – разгерметизация аппарата (вероятность 1,2E-05);
- ПС1** – возникновение мгновенного источника воспламенения (вероятность 5E-03);
- ПС2** – появление отложенного источника воспламенения (вероятность 5E-03);
- ПС3** – своевременное оповещение о пожаре (вероятность 8.34E-1);
- ПС4** – действия по локализации и ликвидации аварии эффективны (вероятность 8.4E-1);
- КС1** – локализация и ликвидация аварийной ситуации (вероятность 8,39E-08);
- КС2** – дефлаграционный взрыв облака ТВС (вероятность 3,58E-08);
- КС3** – образование токоволны/взрывоопасной зоны (вероятность 1,19E-05).

Инов. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	
---------------	--------------	--------------	--

Изм.	Копуч.	Лист	Недок	Подп.	Дата		

МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ

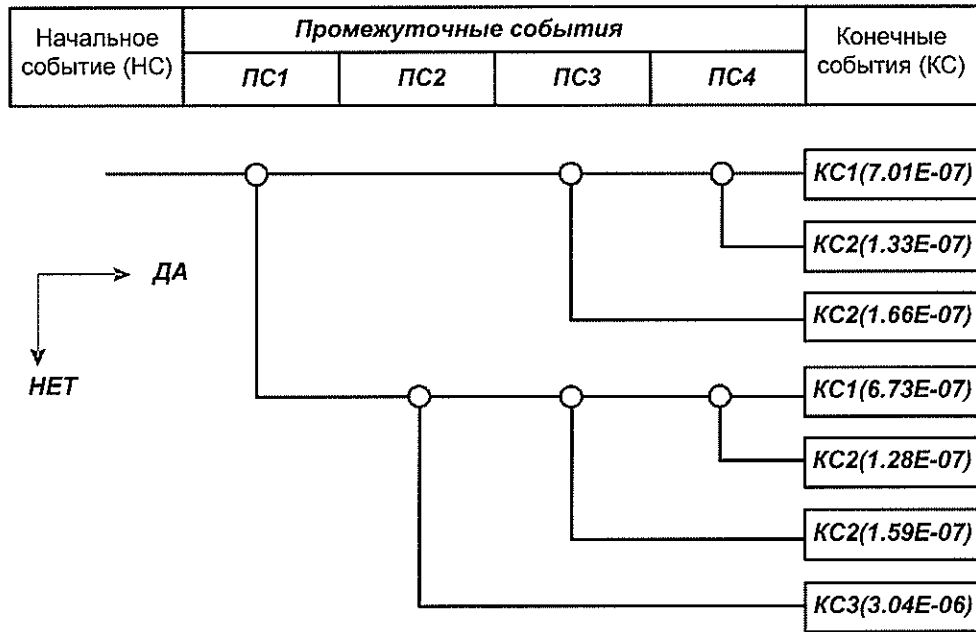


Рисунок 19 – Дерево событий, моделирующее возможные варианты развития аварийной ситуации при полном разрушении сепаратора поз. V-4911 (сценарий С7)

**Наименование событий:**

**НС** – полное разрушение аппарата (вероятность 5.0E-06);

**ПС1** – возникновение мгновенного источника воспламенения (вероятность 2.0E-01);

**ПС2** – появление отложенного источника воспламенения (вероятность 2.4E-01);

**ПС3** – своевременное оповещение о пожаре (вероятность 8.34E-1);

**ПС4** – действия по локализации и ликвидации аварии эффективны (вероятность 8.4E-1);

**КС1** – локализация и ликвидация аварийной ситуации (вероятность 1,37E-06);

**КС2** – дефлаграционный взрыв облака ТВС (вероятность 5,87E-07);

**КС3** – образование токоволны/взрывоопасной зоны (вероятность 3,04E-06).

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	Копуч.	Лист	Недок	Подп.	Дата

МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ

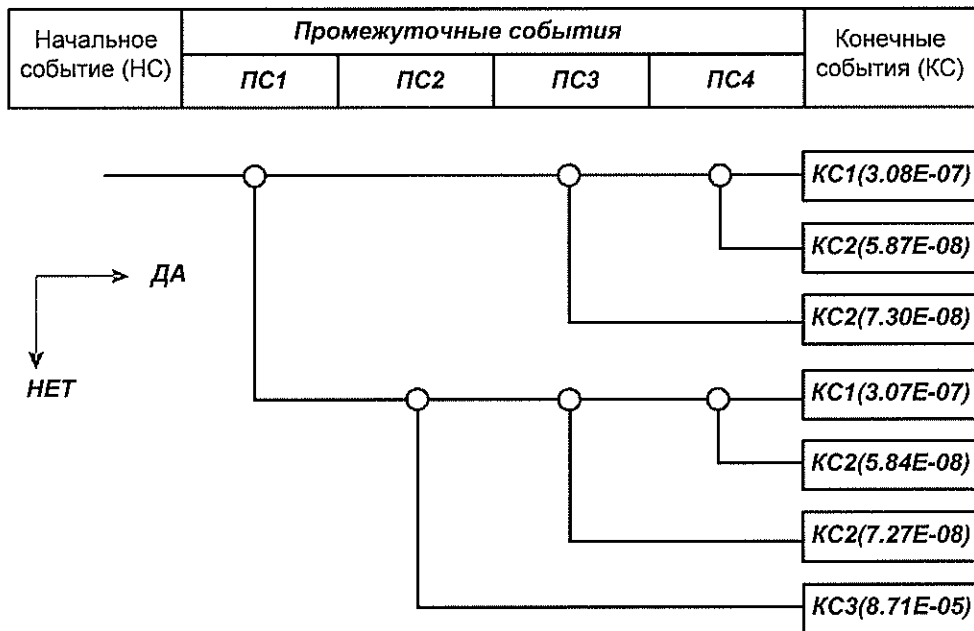


Рисунок 20 – Дерево событий, моделирующее возможные варианты развития аварийной ситуации при разгерметизации сепаратора поз. V-4911 (сценарий С8, Ø 25 мм)

**Наименование событий:**

- НС** – разгерметизация аппарата (вероятность 8,8E-05);
- ПС1** – возникновение мгновенного источника воспламенения (вероятность 5E-03);
- ПС2** – появление отложенного источника воспламенения (вероятность 5E-03);
- ПС3** – своевременное оповещение о пожаре (вероятность 8.34E-1);
- ПС4** – действия по локализации и ликвидации аварии эффективны (вероятность 8.4E-1);
- КС1** – локализация и ликвидация аварийной ситуации (вероятность 6,15E-07);
- КС2** – дефлаграционный взрыв облака ТВС (вероятность 2,63E-07);
- КС3** – образование токоволны/взрывоопасной зоны (вероятность 8,71E-05).

Изм. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	

Изм.	Копуч.	Лист	Недок	Подп.	Дата

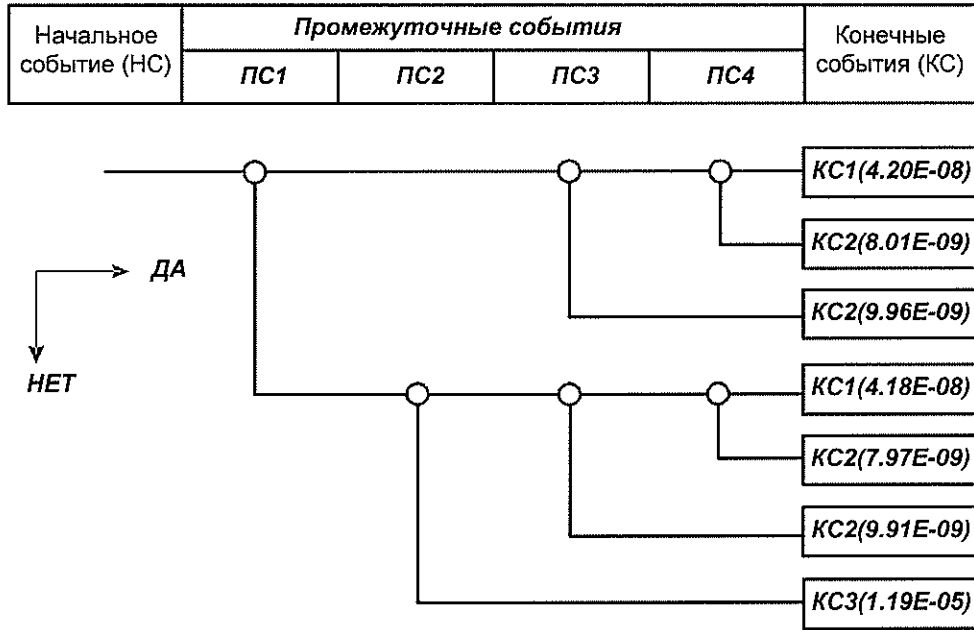


Рисунок 21 – Дерево событий, моделирующее возможные варианты развития аварийной ситуации при разгерметизации сепаратора поз. V-4911 (сценарий С8, Ø 100 мм)

**Наименование событий:**

- НС** – разгерметизация аппарата (вероятность 1,2E-05);
- ПС1** – возникновение мгновенного источника воспламенения (вероятность 5E-03);
- ПС2** – появление отложенного источника воспламенения (вероятность 5E-03);
- ПС3** – своевременное оповещение о пожаре (вероятность 8.34E-1);
- ПС4** – действия по локализации и ликвидации аварии эффективны (вероятность 8.4E-1);
- КС1** – локализация и ликвидация аварийной ситуации (вероятность 8,39E-08);
- КС2** – дефлаграционный взрыв облака ТВС (вероятность 3,58E-08);
- КС3** – образование токоволны/взрывоопасной зоны (вероятность 1,19E-05).

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №					<b>МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ</b>	Лист	
			Изм.	Копуч.	Лист	№ док	Подп.	Дата	104

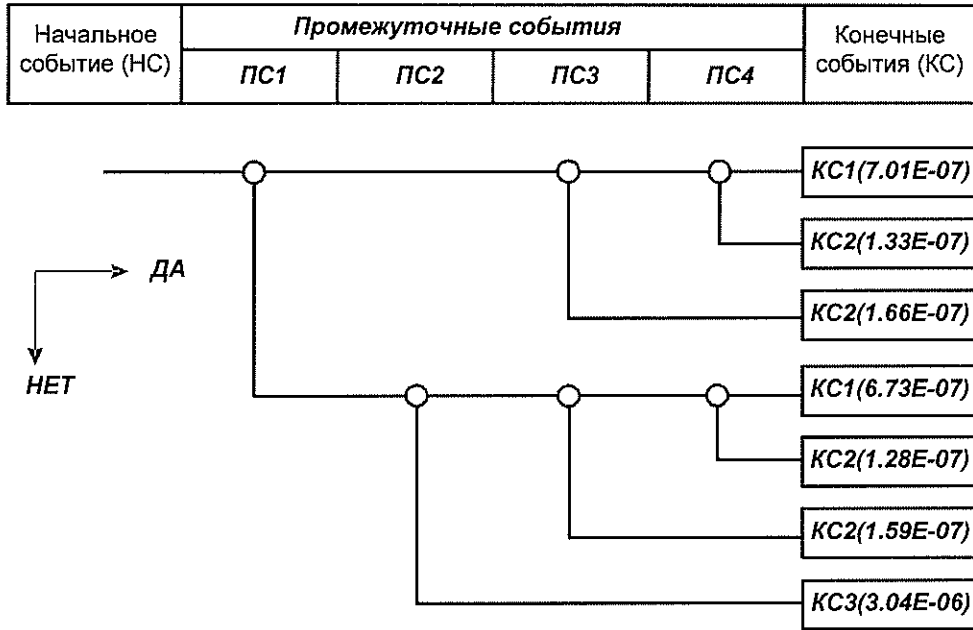


Рисунок 22 – Дерево событий, моделирующее возможные варианты развития аварийной ситуации при полном разрушении фильтра поз. F-4941 (сценарий С9)

**Наименование событий:**

**НС** – полное разрушение аппарата (вероятность 5.0E-06);

**ПС1** – возникновение мгновенного источника воспламенения (вероятность 2.0E-01);

**ПС2** – появление отложенного источника воспламенения (вероятность 2.4E-01);

**ПС3** – своевременное оповещение о пожаре (вероятность 8.34E-1);

**ПС4** – действия по локализации и ликвидации аварии эффективны (вероятность 8.4E-1);

**КС1** – локализация и ликвидация аварийной ситуации (вероятность 1,37E-06);

**КС2** – дефлаграционный взрыв облака ТВС (вероятность 5,87E-07);

**КС3** – образование токоволны/взрывоопасной зоны (вероятность 3,04E-06).

Изм. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	Колуч.	Лист	№ док	Подп.	Дата

МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ

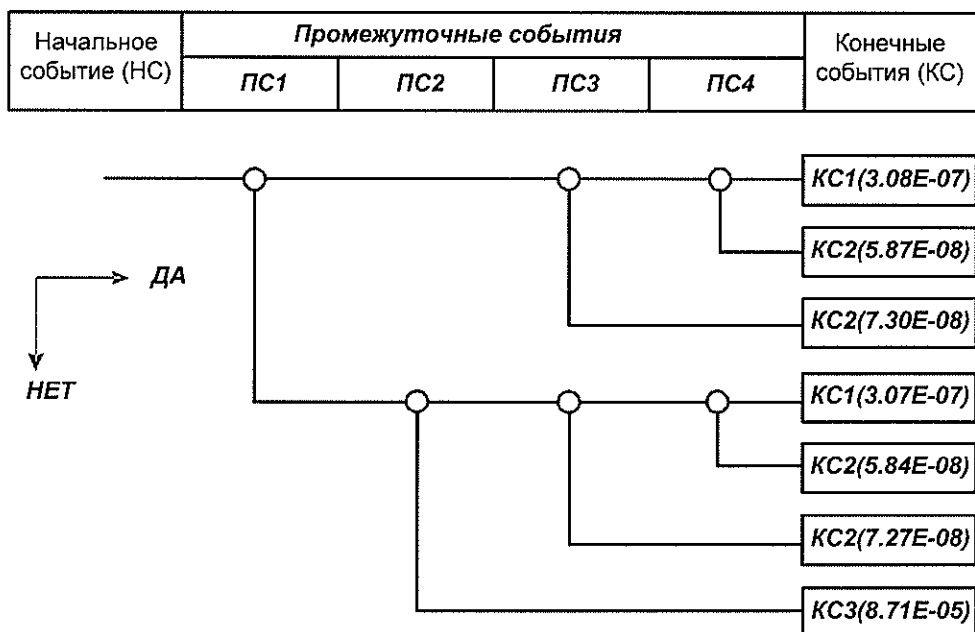


Рисунок 23 – Дерево событий, моделирующее возможные варианты развития аварийной ситуации при разгерметизации фильтра поз. F-4941 (сценарий С10,  $\varnothing$  25 мм)

#### Наименование событий:

НС – разгерметизация аппарата (вероятность  $8,8E-05$ );

ПС1 – возникновение мгновенного источника воспламенения (вероятность  $5E-03$ );

ПС2 – появление отложенного источника воспламенения (вероятность  $5E-03$ );

ПС3 – своевременное оповещение о пожаре (вероятность  $8.34E-1$ );

ПС4 – действия по локализации и ликвидации аварии эффективны (вероятность  $8.4E-1$ );

КС1 – локализация и ликвидация аварийной ситуации (вероятность  $6,15E-07$ );

КС2 – дефлаграционный взрыв облака ТВС (вероятность  $2,63E-07$ );

КС3 – образование токоволны/взрывоопасной зоны (вероятность  $8,71E-05$ ).

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №					МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ	Лист
Изм.	Копуч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата			

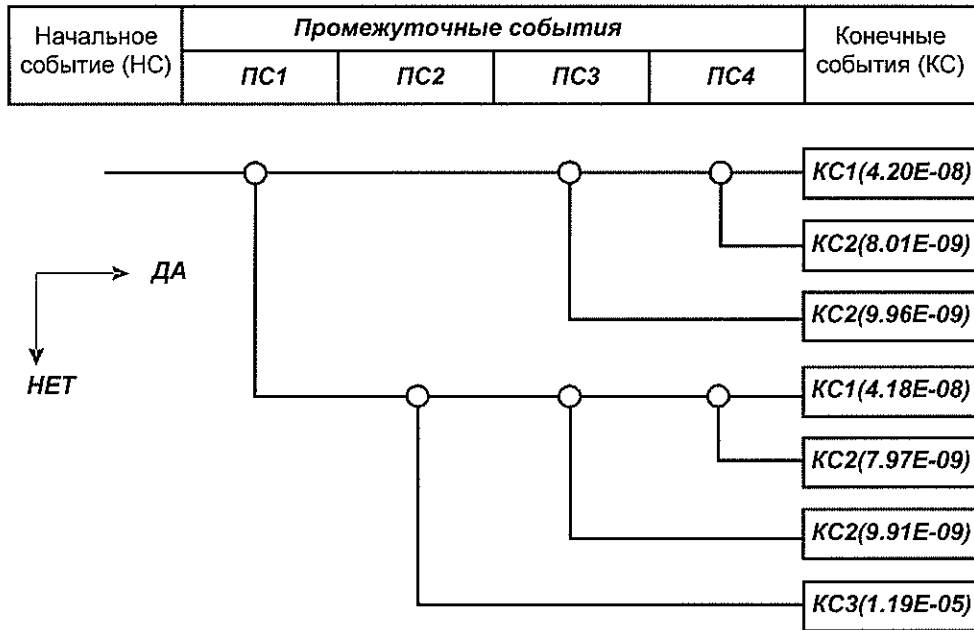


Рисунок 24 – Дерево событий, моделирующее возможные варианты развития аварийной ситуации при разгерметизации фильтра поз. F-4941 (сценарий С10, Ø 100 мм)

**Наименование событий:**

**НС** – разгерметизация аппарата (вероятность  $1,2E-05$ );

**ПС1** – возникновение мгновенного источника воспламенения (вероятность  $5E-03$ );

**ПС2** – появление отложенного источника воспламенения (вероятность  $5E-03$ );

**ПС3** – своевременное оповещение о пожаре (вероятность  $8,34E-1$ );

**ПС4** – действия по локализации и ликвидации аварии эффективны (вероятность  $8,4E-1$ );

**КС1** – локализация и ликвидация аварийной ситуации (вероятность  $8,39E-08$ );

**КС2** – дефлаграционный взрыв облака ТВС (вероятность  $3,58E-08$ );

**КС3** – образование токсической/взрывоопасной зоны (вероятность  $1,19E-05$ ).

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №					<b>МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ</b>	Лист	
			Изм.	Колуч.	Лист	Недок	Подп.	Дата	107

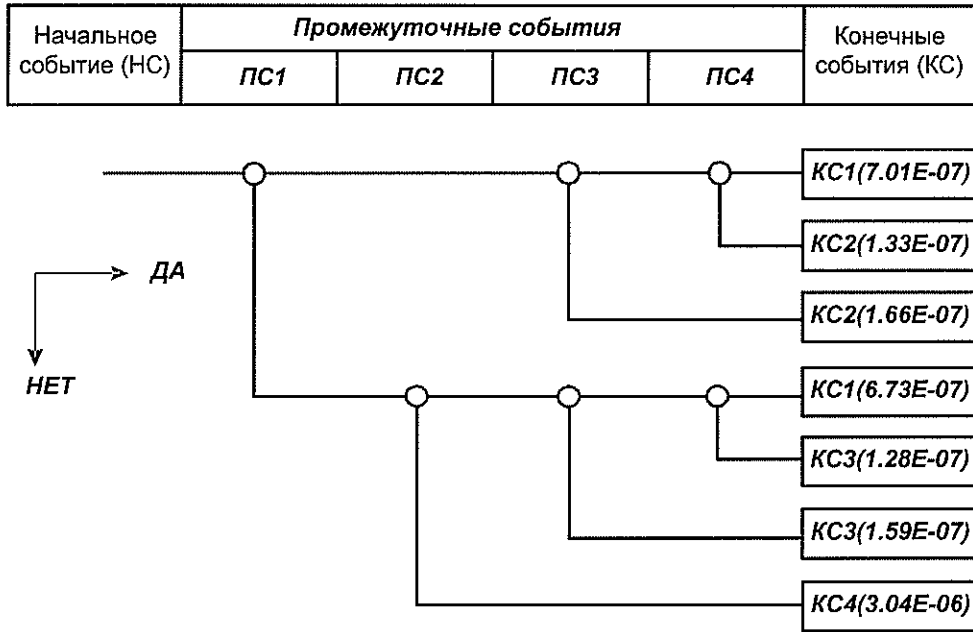


Рисунок 25 – Дерево событий, моделирующее возможные варианты развития аварийной ситуации при полном разрушении емкости метанола поз. V-4951 (сценарий С11)

**Наименование событий:**

**НС** – полное разрушение аппарата (вероятность 5.0E-06);

**ПС1** – возникновение мгновенного источника воспламенения (вероятность 2.0E-01);

**ПС2** – появление отложенного источника воспламенения (вероятность 2.4E-01);

**ПС3** – своевременное оповещение о пожаре (вероятность 8.34E-1);

**ПС4** – действия по локализации и ликвидации аварии эффективны (вероятность 8.4E-1);

**КС1** – локализация и ликвидация аварийной ситуации (вероятность 1,37E-06);

**КС2** – пожар пролива жидкой фазы в поддоне (вероятность 2,99E-07);

**КС3** – дефлаграционный взрыв облака ТВС с последующим пожаром пролива жидкой фазы в поддоне (вероятность 2,87E-07);

**КС4** – образование токоволны/взрывоопасной зоны (вероятность 3,04E-06).

Взам. инв. №		Подп. и дата		Инв. № подл.	
Изм.	Копуч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата
МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ					Лист
					108



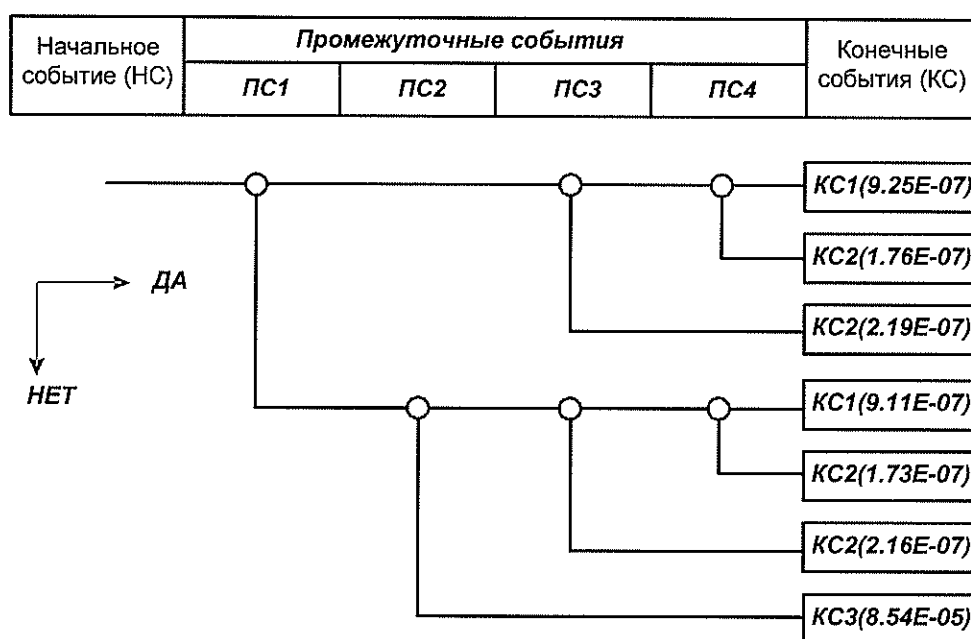


Рисунок 26 – Дерево событий, моделирующее возможные варианты развития аварийной ситуации при разгерметизации емкости метанола поз. V-4951 (сценарий С12, Ø 25 мм)

#### Наименование событий:

**НС** – разгерметизация аппарата (вероятность  $8,8E-05$ );

**ПС1** – возникновение мгновенного источника воспламенения (вероятность  $1,5E-02$ );

**ПС2** – появление отложенного источника воспламенения (вероятность  $1,5E-02$ );

**ПС3** – своевременное оповещение о пожаре (вероятность  $8,34E-1$ );

**ПС4** – действия по локализации и ликвидации аварии эффективны (вероятность  $8,4E-1$ );

**КС1** – локализация и ликвидация аварийной ситуации (вероятность  $1,84E-06$ );

**КС2** – пожар пролива жидкой фазы в поддоне (вероятность  $7,85E-07$ );

**КС3** – рассеяние без воспламенения (вероятность  $8,54E-05$ ).

Изм. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №					МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ	Лист
Изм.	Копуч.	Лист	№ док	Подп.	Дата		109	

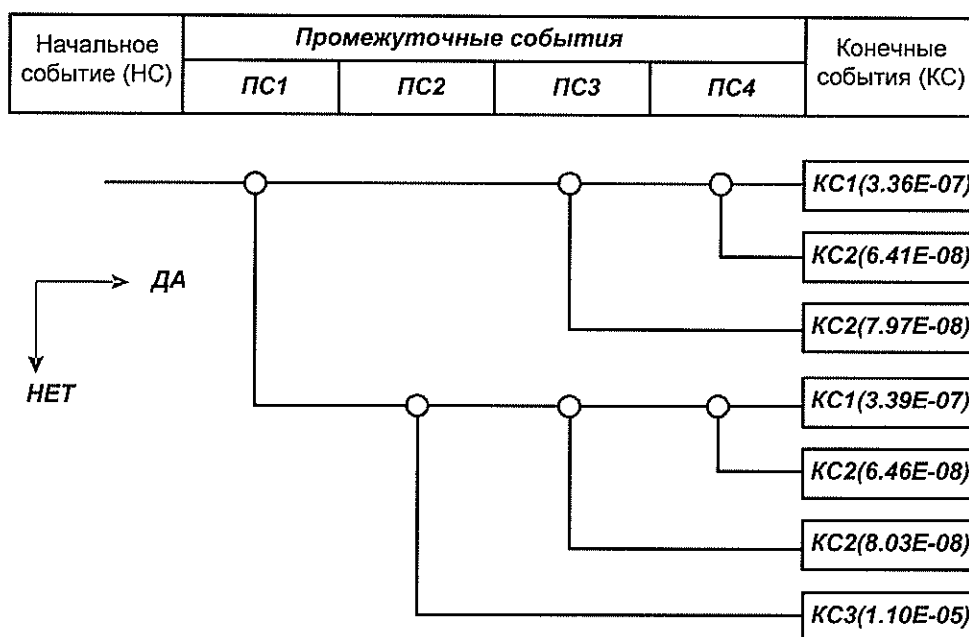


Рисунок 27 – Дерево событий, моделирующее возможные варианты развития аварийной ситуации при разгерметизации емкости метанола поз. V-4951 (сценарий С12, Ø 100 мм)

**Наименование событий:**

**НС** – разгерметизация аппарата (вероятность  $1,2E-05$ );

**ПС1** – возникновение мгновенного источника воспламенения (вероятность  $4,0E-02$ );

**ПС2** – появление отложенного источника воспламенения (вероятность  $4,2E-02$ );

**ПС3** – своевременное оповещение о пожаре (вероятность  $8,34E-1$ );

**ПС4** – действия по локализации и ликвидации аварии эффективны (вероятность  $8,4E-1$ );

**КС1** – локализация и ликвидация аварийной ситуации (вероятность  $6,75E-07$ );

**КС2** – пожар пролива жидкой фазы в поддоне (вероятность  $2,89E-07$ );

**КС3** – рассеяние без воспламенения (вероятность  $1,1E-05$ ).

Изм. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №					<b>МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ</b>	Лист
Изм.	Колуч.	Лист	№ док	Подп.	Дата	110		

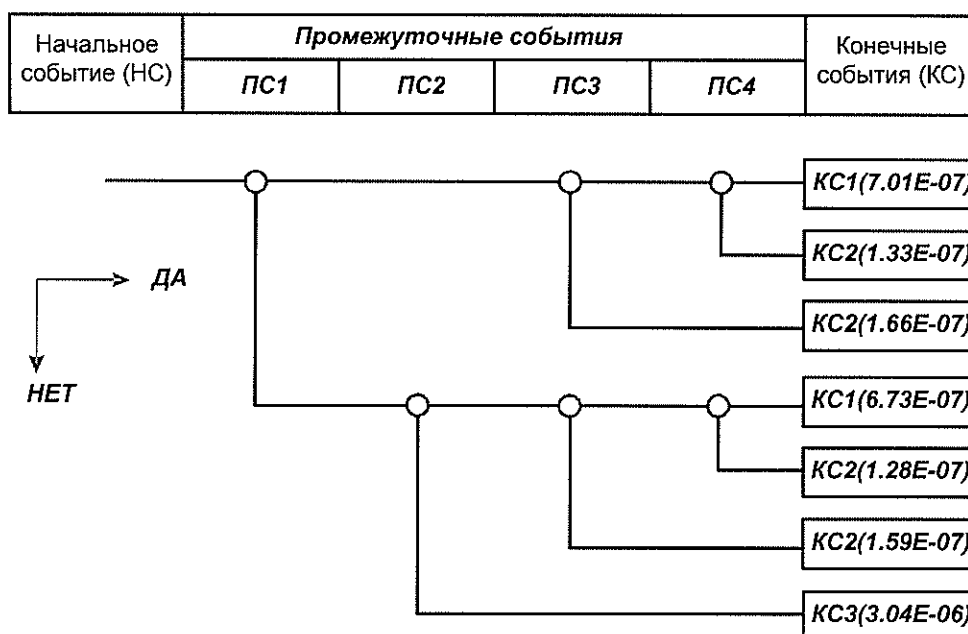


Рисунок 28 – Дерево событий, моделирующее возможные варианты развития аварийной ситуации при полном разрушении теплообменника поз. Е-4941 (сценарий С13)

#### Наименование событий:

**НС** – полное разрушение аппарата (вероятность  $5.0E-06$ );

**ПС1** – возникновение мгновенного источника воспламенения (вероятность  $2.0E-01$ );

**ПС2** – появление отложенного источника воспламенения (вероятность  $2.4E-01$ );

**ПС3** – своевременное оповещение о пожаре (вероятность  $8.34E-1$ );

**ПС4** – действия по локализации и ликвидации аварии эффективны (вероятность  $8.4E-1$ );

**КС1** – локализация и ликвидация аварийной ситуации (вероятность  $1,37E-06$ );

**КС2** – дефлаграционный взрыв облака ТВС (вероятность  $5,87E-07$ );

**КС3** – образование токоволны/взрывоопасной зоны (вероятность  $3,04E-06$ ).

Изм. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №					<b>МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ</b>	Лист
Изм.	Копуч.	Лист	№ док	Подп.	Дата	111		

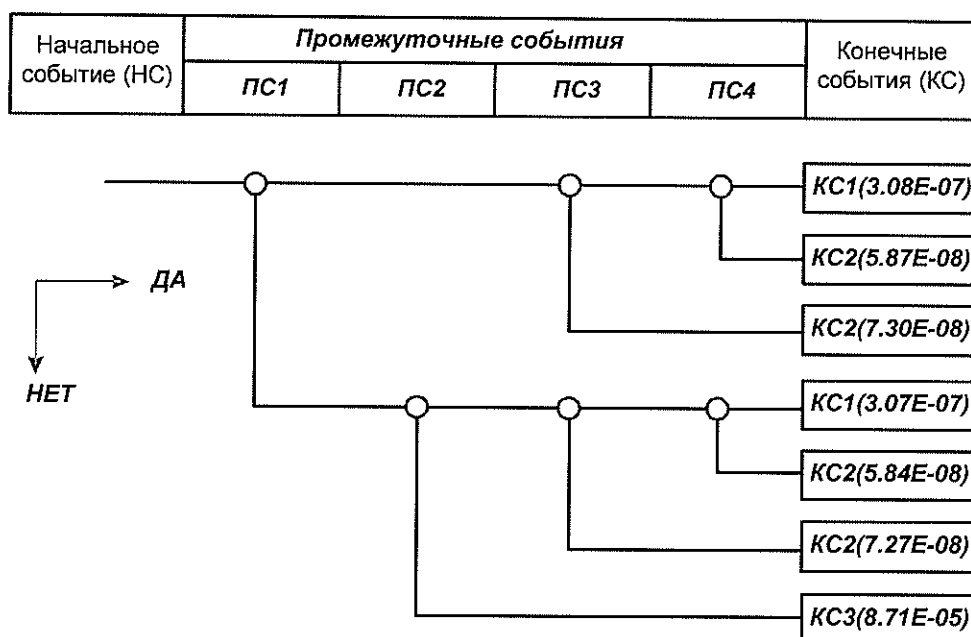


Рисунок 29 – Дерево событий, моделирующее возможные варианты развития аварийной ситуации при разгерметизации теплообменника поз. Е-4941 (сценарий С14,  $\varnothing$  25 мм)

#### Наименование событий:

**НС** – разгерметизация аппарата (вероятность  $8,8E-05$ );

**ПС1** – возникновение мгновенного источника воспламенения (вероятность  $5E-03$ );

**ПС2** – появление отложенного источника воспламенения (вероятность  $5E-03$ );

**ПС3** – своевременное оповещение о пожаре (вероятность  $8,34E-1$ );

**ПС4** – действия по локализации и ликвидации аварии эффективны (вероятность  $8,4E-1$ );

**КС1** – локализация и ликвидация аварийной ситуации (вероятность  $6,15E-07$ );

**КС2** – дефлаграционный взрыв облака ТВС (вероятность  $2,63E-07$ );

**КС3** – образование токоволны/взрывоопасной зоны (вероятность  $8,71E-05$ ).

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	

Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док	Подп.	Дата

МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ

Лист

112

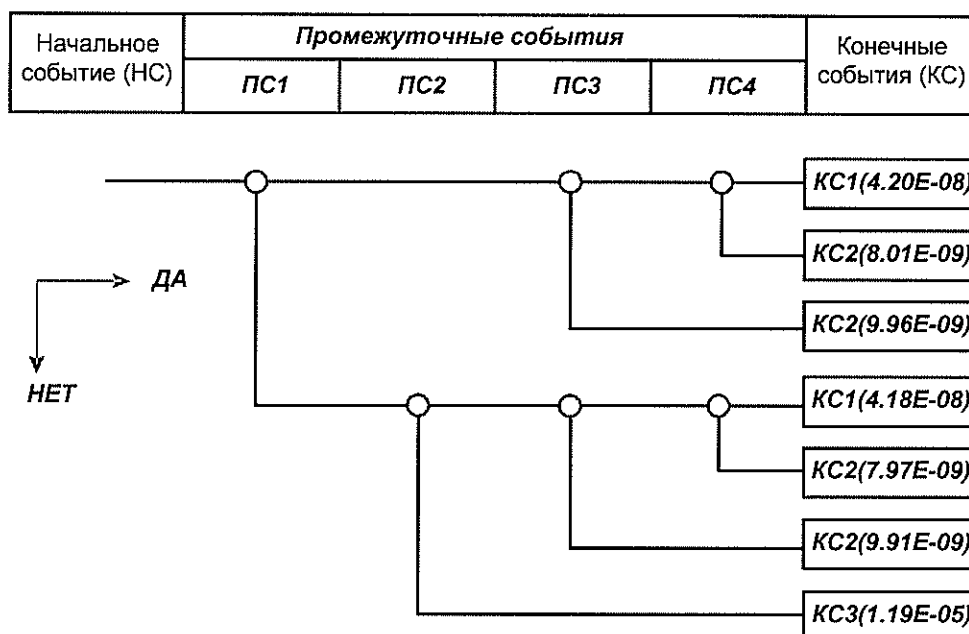


Рисунок 30 – Дерево событий, моделирующее возможные варианты развития аварийной ситуации при разгерметизации теплообменника поз. Е-4941 (сценарий С14, Ø 100 мм)

**Наименование событий:**

**НС** – разгерметизация аппарата (вероятность  $1,2E-05$ );

**ПС1** – возникновение мгновенного источника воспламенения (вероятность  $5E-03$ );

**ПС2** – появление отложенного источника воспламенения (вероятность  $5E-03$ );

**ПС3** – своевременное оповещение о пожаре (вероятность  $8,34E-1$ );

**ПС4** – действия по локализации и ликвидации аварии эффективны (вероятность  $8,4E-1$ );

**КС1** – локализация и ликвидация аварийной ситуации (вероятность  $8,39E-08$ );

**КС2** – дефлаграционный взрыв облака ТВС (вероятность  $3,58E-08$ );

**КС3** – образование токсической/взрывоопасной зоны (вероятность  $1,19E-05$ ).

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	Колуч.	Лист	№ док	Подп.	Дата

МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ

Лист

113

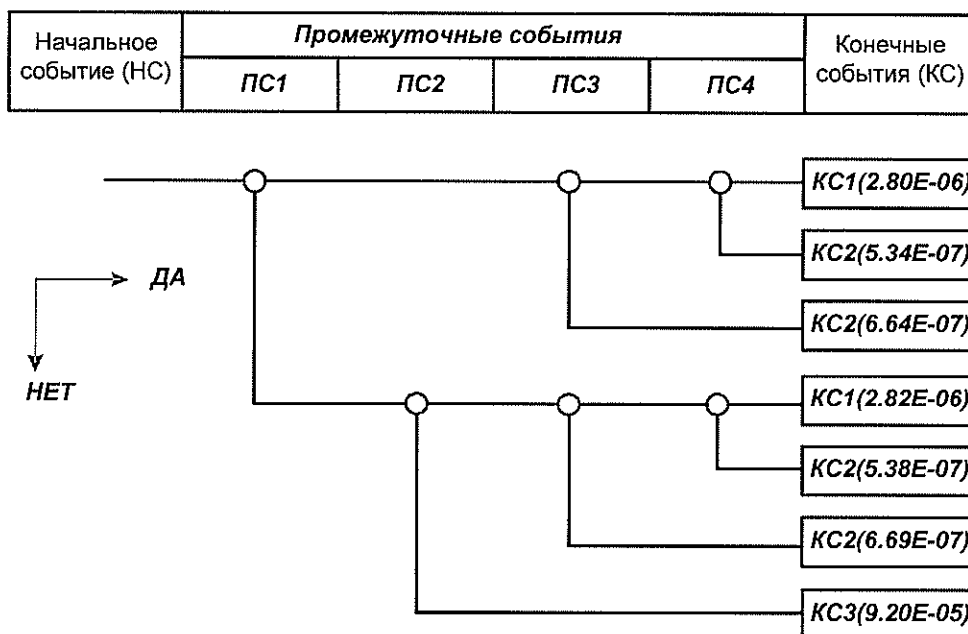


Рисунок 31 – Дерево событий, моделирующее возможные варианты развития аварийной ситуации при полном разрушении насоса метанола поз. Р-4931 (сценарий С15)

**Наименование событий:**

**НС** – разгерметизация аппарата (вероятность  $1,0E-04$ );

**ПС1** – возникновение мгновенного источника воспламенения (вероятность  $4,0E-02$ );

**ПС2** – появление отложенного источника воспламенения (вероятность  $4,2E-02$ );

**ПС3** – своевременное оповещение о пожаре (вероятность  $8,34E-1$ );

**ПС4** – действия по локализации и ликвидации аварии эффективны (вероятность  $8,4E-1$ );

**КС1** – локализация и ликвидация аварийной ситуации (вероятность  $5,63E-06$ );

**КС2** – пожар пролива жидкой фазы в поддоне (вероятность  $2,41E-06$ );

**КС3** – рассеяние без воспламенения (вероятность  $9,2E-05$ ).

Изм. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №					МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ	Лист	
			Изм.	Копуч.	Лист	№ док	Подп.	Дата	114

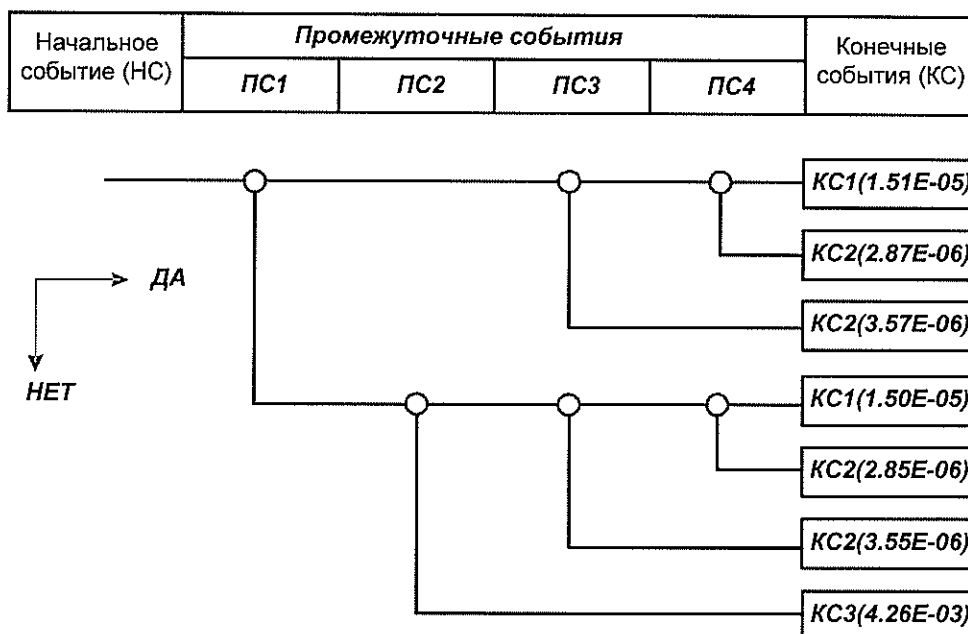


Рисунок 32 – Дерево событий, моделирующее возможные варианты развития аварийной ситуации при разгерметизации насоса метанола поз. Р-4931 (сценарий С16, Ø 5 мм)

**Наименование событий:**

**НС** – разгерметизация аппарата (вероятность  $4,3E-03$ );

**ПС1** – возникновение мгновенного источника воспламенения (вероятность  $5,0E-03$ );

**ПС2** – появление отложенного источника воспламенения (вероятность  $5,0E-03$ );

**ПС3** – своевременное оповещение о пожаре (вероятность  $8,34E-1$ );

**ПС4** – действия по локализации и ликвидации аварии эффективны (вероятность  $8,4E-1$ );

**КС1** – локализация и ликвидация аварийной ситуации (вероятность  $3,0E-05$ );

**КС2** – пожар пролива жидкой фазы в поддоне (вероятность  $1,28E-05$ );

**КС3** – рассеяние без воспламенения (вероятность  $4,26E-03$ ).

Инв. № подл.		Подп. и дата		Взам. инв. №	
Изм.	Копуч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата
МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ					Лист
					115

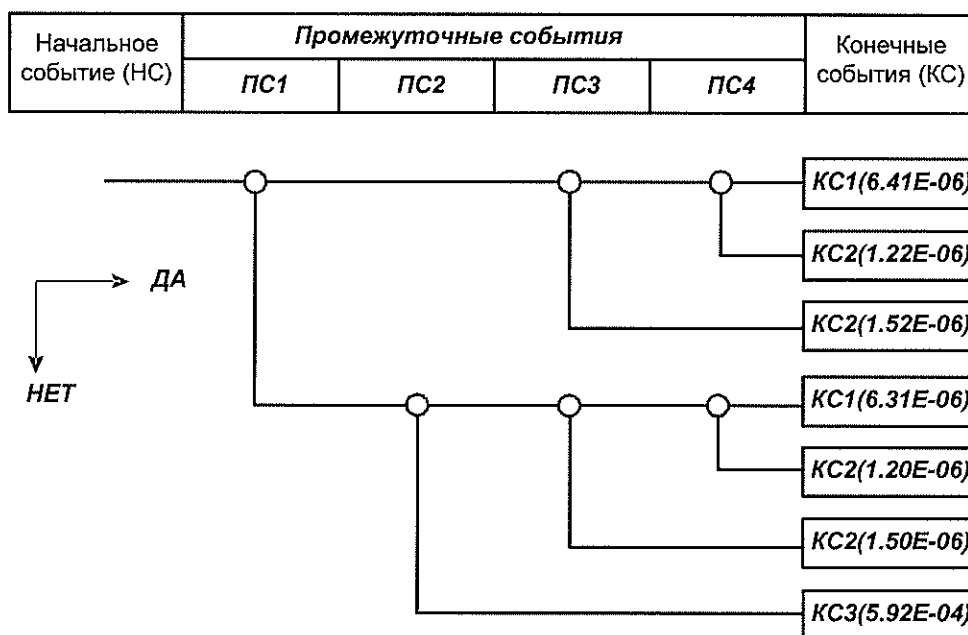


Рисунок 33 – Дерево событий, моделирующее возможные варианты развития аварийной ситуации при разгерметизации насоса метанола поз. Р-4931 (сценарий С16, Ø 12,5 мм)

#### Наименование событий:

**НС** – разгерметизация аппарата (вероятность  $6,1E-04$ );

**ПС1** – возникновение мгновенного источника воспламенения (вероятность  $1,5E-02$ );

**ПС2** – появление отложенного источника воспламенения (вероятность  $1,5E-02$ );

**ПС3** – своевременное оповещение о пожаре (вероятность  $8,34E-1$ );

**ПС4** – действия по локализации и ликвидации аварии эффективны (вероятность  $8,4E-1$ );

**КС1** – локализация и ликвидация аварийной ситуации (вероятность  $1,27E-05$ );

**КС2** – пожар пролива жидкой фазы в поддоне (вероятность  $5,44E-06$ );

**КС3** – рассеяние без воспламенения (вероятность  $5,92E-04$ ).

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №					<b>МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ</b>	Лист	
			Изм.	Копуч.	Лист	№ док	Подп.	Дата	116



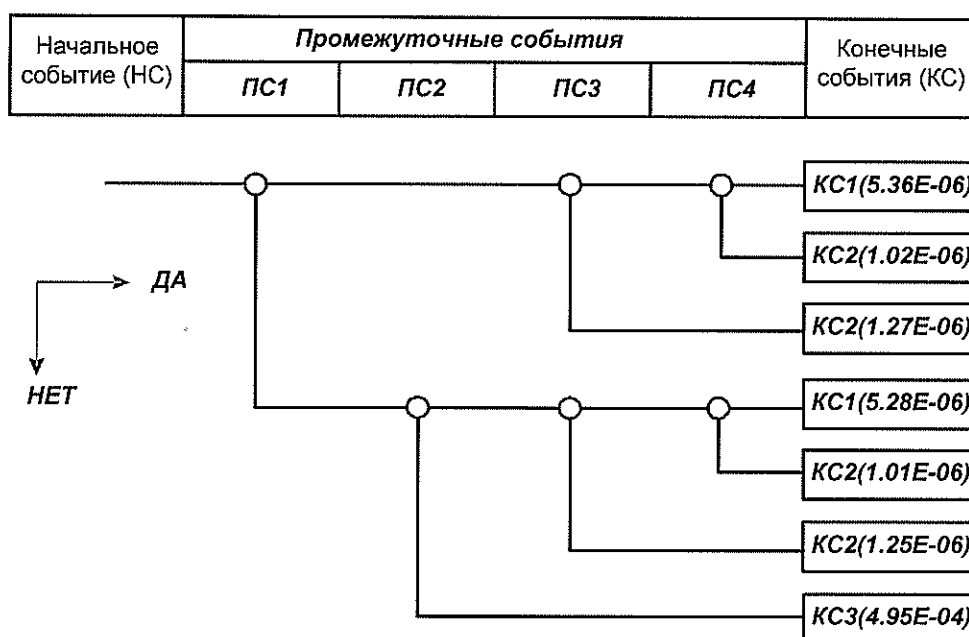


Рисунок 34 – Дерево событий, моделирующее возможные варианты развития аварийной ситуации при разгерметизации насоса метанола поз. Р-4931 (сценарий С16,  $\varnothing$  25 мм)

**Наименование событий:**

**НС** – разгерметизация аппарата (вероятность  $5,1E-04$ );

**ПС1** – возникновение мгновенного источника воспламенения (вероятность  $1,5E-02$ );

**ПС2** – появление отложенного источника воспламенения (вероятность  $1,5E-02$ );

**ПС3** – своевременное оповещение о пожаре (вероятность  $8,34E-1$ );

**ПС4** – действия по локализации и ликвидации аварии эффективны (вероятность  $8,4E-1$ );

**КС1** – локализация и ликвидация аварийной ситуации (вероятность  $1,06E-05$ );

**КС2** – пожар пролива жидкой фазы в поддоне (вероятность  $4,55E-06$ );

**КС3** – рассеяние без воспламенения (вероятность  $4,95E-04$ ).

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №					<b>МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ</b>	Лист	
			Изм.	Копуч.	Лист	№ док	Подп.	Дата	117

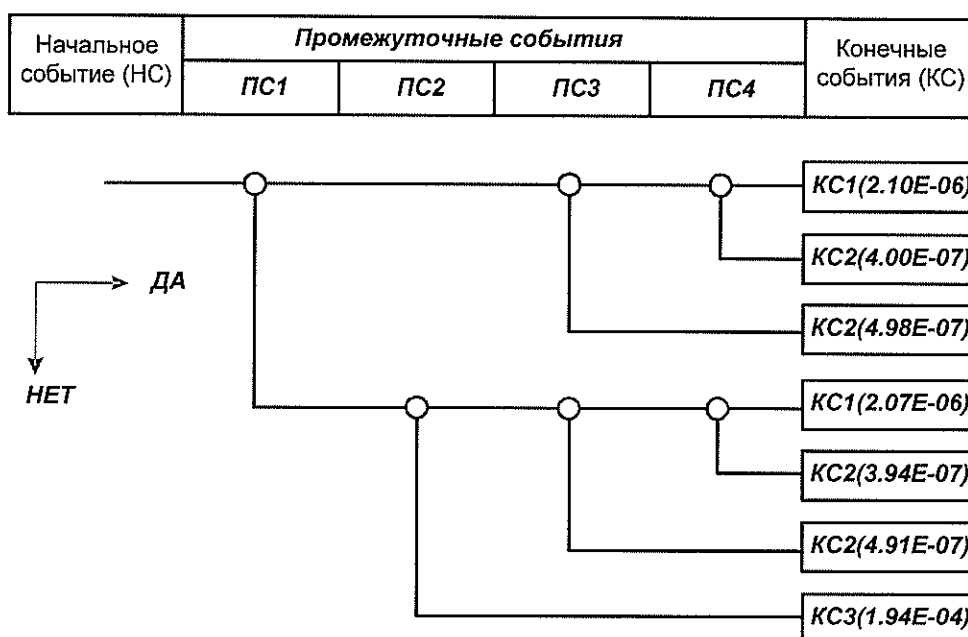


Рисунок 35 – Дерево событий, моделирующее возможные варианты развития аварийной ситуации при разгерметизации насоса метанола поз. Р-4931 (сценарий С16, Ø 50 мм)

**Наименование событий:**

**НС** – разгерметизация аппарата (вероятность  $2,0E-04$ );

**ПС1** – возникновение мгновенного источника воспламенения (вероятность  $1,5E-02$ );

**ПС2** – появление отложенного источника воспламенения (вероятность  $1,5E-02$ );

**ПС3** – своевременное оповещение о пожаре (вероятность  $8,34E-1$ );

**ПС4** – действия по локализации и ликвидации аварии эффективны (вероятность  $8,4E-1$ );

**КС1** – локализация и ликвидация аварийной ситуации (вероятность  $4,17E-06$ );

**КС2** – пожар пролива жидкой фазы в поддоне (вероятность  $1,78E-06$ );

**КС3** – рассеяние без воспламенения (вероятность  $1,94E-04$ ).

Изм.	Копуч.	Лист	№ док	Подп.	Дата
Инд. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №			

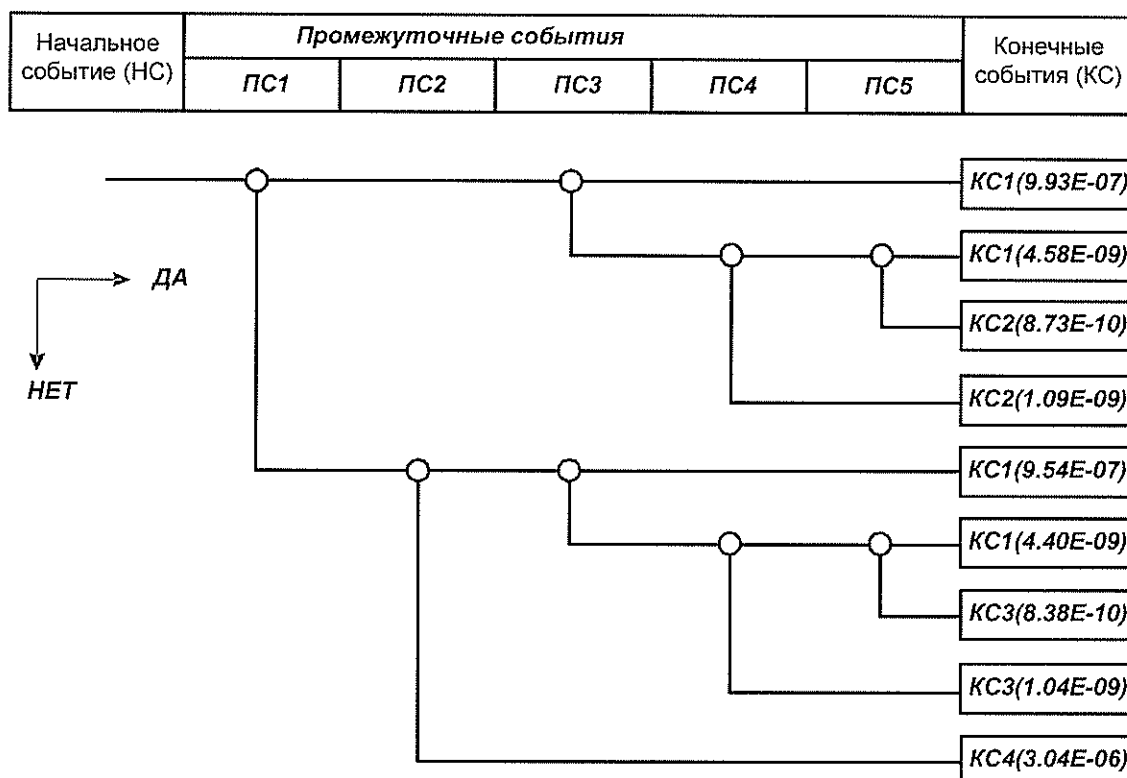


Рисунок 36 – Дерево событий, моделирующее возможные варианты развития аварийной ситуации при полном разрушении насосов формалина поз. Р-4981, 4982, 4983, 4984, 4985 (сценарий С15)

#### Наименование событий:

**НС** – полное разрушение аппарата (вероятность  $1,0E-04$ );

**ПС1** – возникновение мгновенного источника воспламенения (вероятность  $4,0E-02$ );

**ПС2** – появление отложенного источника воспламенения (вероятность  $4,2E-02$ );

**ПС4** – срабатывание стационарной системы высоконапорного орошения (вероятность  $9,93E-01$ );

**ПС4** – своевременное оповещение о пожаре (вероятность  $8,34E-1$ );

**ПС5** – действия по локализации и ликвидации аварии эффективны (вероятность  $8,4E-1$ );

**КС1** – локализация и ликвидация аварийной ситуации (вероятность  $8,02E-06$ );

**КС2** – пожар пролива жидкой фазы в поддоне (вероятность  $1,57E-08$ );

**КС3** – образование токсической волны (вероятность  $9,2E-05$ ).

Изм. № подл.	Подп. и дата	Взаим. инв. №					<b>МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ</b>	Лист	
			Изм.	Копуч.	Лист	№ док	Подп.	Дата	119

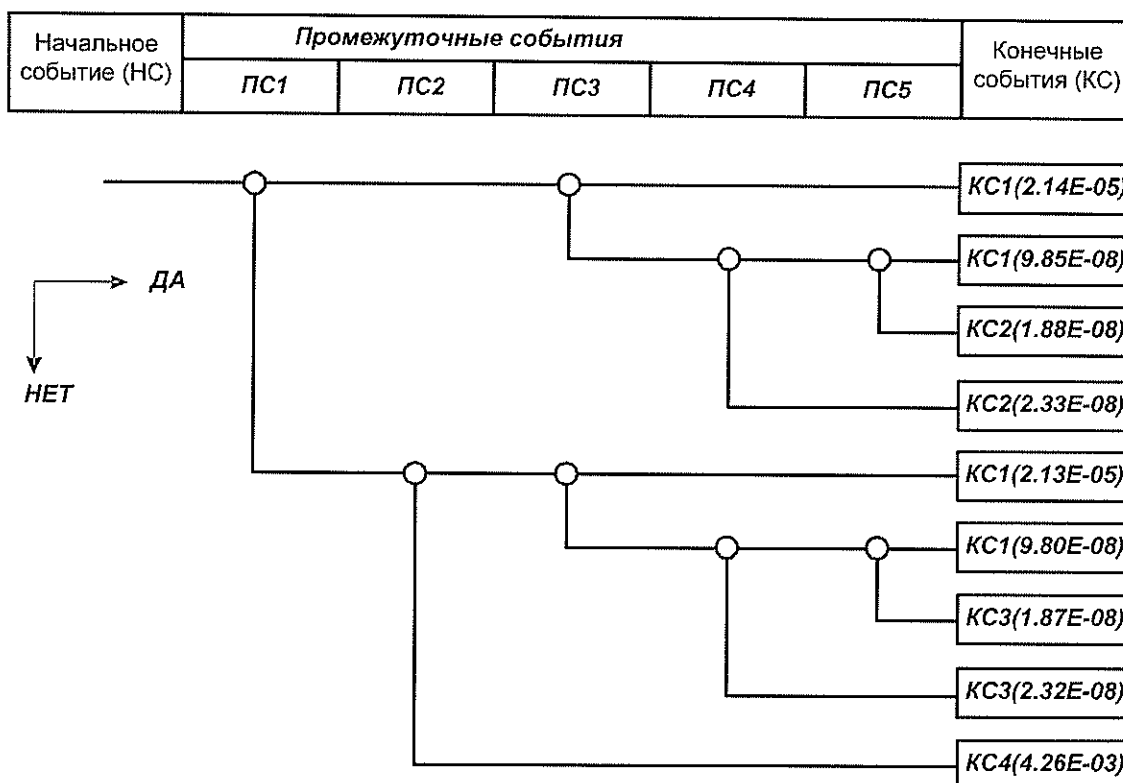


Рисунок 37 – Дерево событий, моделирующее возможные варианты развития аварийной ситуации при разгерметизации насосов формалина поз. Р-4981, 4982, 4983, 4984, 4985 (сценарий С16,  $\varnothing$  5 мм)

#### Наименование событий:

**НС** – полное разрушение аппарата (вероятность  $4,3E-03$ );

**ПС1** – возникновение мгновенного источника воспламенения (вероятность  $5,0E-03$ );

**ПС2** – появление отложенного источника воспламенения (вероятность  $5,0E-03$ );

**ПС4** – срабатывание стационарной системы высоконапорного орошения (вероятность  $9,93E-01$ );

**ПС4** – своевременное оповещение о пожаре (вероятность  $8,34E-1$ );

**ПС5** – действия по локализации и ликвидации аварии эффективны (вероятность  $8,4E-1$ );

**КС1** – локализация и ликвидация аварийной ситуации (вероятность  $4,28E-05$ );

**КС2** – пожар пролива жидкой фазы в поддоне (вероятность  $8,4E-08$ );

**КС3** – образование токсической волны (вероятность  $4,26E-03$ ).

Изм. № подл.	
Подп. и дата	
Взам. инв. №	

Изм.	Копуч.	Лист	№ док	Подп.	Дата

МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ

Лист

120

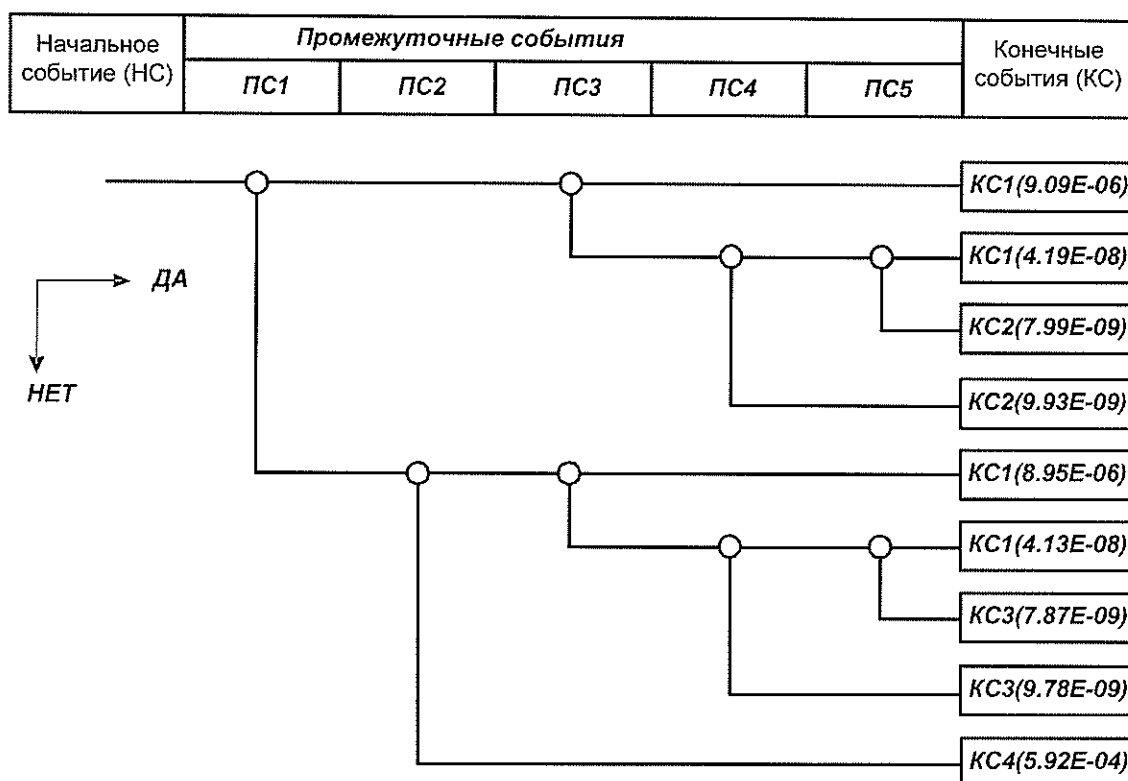


Рисунок 38 – Дерево событий, моделирующее возможные варианты развития аварийной ситуации при разгерметизации насосов формалина поз. Р-4981, 4982, 4983, 4984, 4985 (сценарий С16, Ø 12,5 мм)

#### Наименование событий:

**НС** – полное разрушение аппарата (вероятность  $6,1E-04$ );

**ПС1** – возникновение мгновенного источника воспламенения (вероятность  $1,5E-02$ );

**ПС2** – появление отложенного источника воспламенения (вероятность  $1,5E-02$ );

**ПС4** – срабатывание стационарной системы высоконапорного орошения (вероятность  $9,93E-01$ );

**ПС4** – своевременное оповещение о пожаре (вероятность  $8.34E-1$ );

**ПС5** – действия по локализации и ликвидации аварии эффективны (вероятность  $8.4E-1$ );

**КС1** – локализация и ликвидация аварийной ситуации (вероятность  $1,81E-05$ );

**КС2** – пожар пролива жидкой фазы в поддоне (вероятность  $3,56E-08$ );

**КС3** – образование токоволны (вероятность  $5,92E-04$ ).

Изм. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	Копуч.	Лист	№ док	Подп.	Дата

МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ

Лист

121

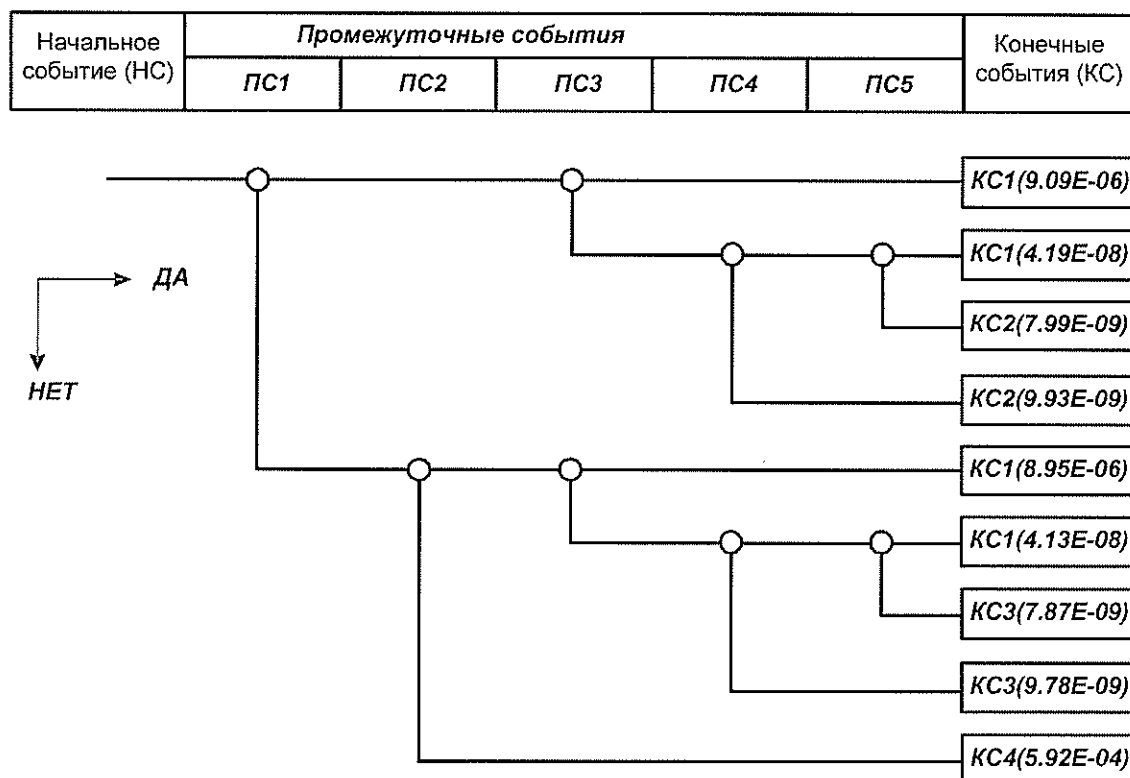


Рисунок 39 – Дерево событий, моделирующее возможные варианты развития аварийной ситуации при разгерметизации насосов формалина поз. Р-4981, 4982, 4983, 4984, 4985 (сценарий С16, Ø 25 мм)

#### Наименование событий:

**НС** – полное разрушение аппарата (вероятность  $5,1E-04$ );

**ПС1** – возникновение мгновенного источника воспламенения (вероятность  $1,5E-02$ );

**ПС2** – появление отложенного источника воспламенения (вероятность  $1,5E-02$ );

**ПС4** – срабатывание стационарной системы высоконапорного орошения (вероятность  $9,93E-01$ );

**ПС4** – своевременное оповещение о пожаре (вероятность  $8,34E-1$ );

**ПС5** – действия по локализации и ликвидации аварии эффективны (вероятность  $8,4E-1$ );

**КС1** – локализация и ликвидация аварийной ситуации (вероятность  $1,52E-05$ );

**КС2** – пожар пролива жидкой фазы в поддоне (вероятность  $2,97E-08$ );

**КС3** – образование токсической волны (вероятность  $4,95E-04$ ).

Изм. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №					МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ	Лист	
			Изм.	Колуч.	Лист	№ док	Подп.	Дата	122

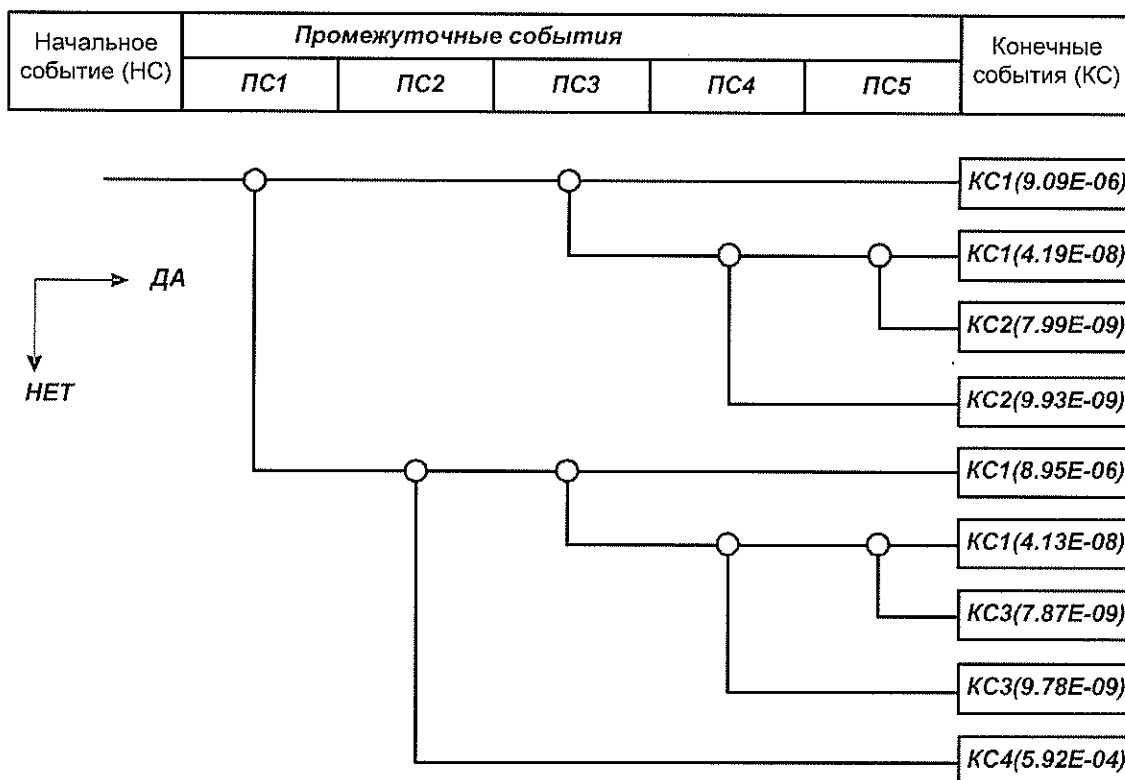


Рисунок 39 – Дерево событий, моделирующее возможные варианты развития аварийной ситуации при разгерметизации насосов формалина поз. Р-4981, 4982, 4983, 4984, 4985 (сценарий С16, Ø 50 мм)

#### Наименование событий:

**НС** – полное разрушение аппарата (вероятность  $2,0E-04$ );

**ПС1** – возникновение мгновенного источника воспламенения (вероятность  $1,5E-02$ );

**ПС2** – появление отложенного источника воспламенения (вероятность  $1,5E-02$ );

**ПС4** – срабатывание стационарной системы высоконапорного орошения (вероятность  $9,93E-01$ );

**ПС4** – своевременное оповещение о пожаре (вероятность  $8,34E-1$ );

**ПС5** – действия по локализации и ликвидации аварии эффективны (вероятность  $8,4E-1$ );

**КС1** – локализация и ликвидация аварийной ситуации (вероятность  $5,94E-06$ );

**КС2** – пожар пролива жидкой фазы в поддоне (вероятность  $1,17E-08$ );

**КС3** – образование токсической волны (вероятность  $1,94E-04$ ).

Изм. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	Копуч.	Лист	№ док	Подп.	Дата

МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ

Лист

123

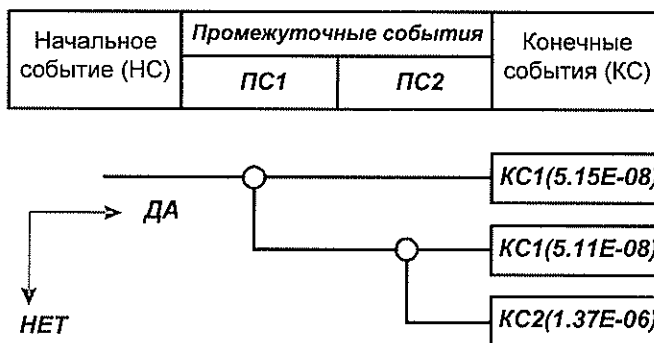


Рисунок 40 – Дерево событий, моделирующее возможные варианты развития аварийной ситуации при разрыве на полное сечение трубопровода хвостового газа Ду 500 (сценарий С17)

**Наименование событий:**

**НС** – разрыв на полное сечение трубопровода (вероятность 1,47E-06);

**ПС1** – возникновение мгновенного источника воспламенения (вероятность 3,5E-02);

**ПС2** – появление отложенного источника воспламенения (вероятность 3,6E-02);

**КС1** – образование факельного горения газа (вероятность 1,03E-07);

**КС2** – рассеяние без воспламенения (вероятность 1,37E-06).

Инв. № подл.	Взаим. инв. №				
	Подп. и дата				
Изм.	Копуч.	Лист	№ док	Подп.	Дата



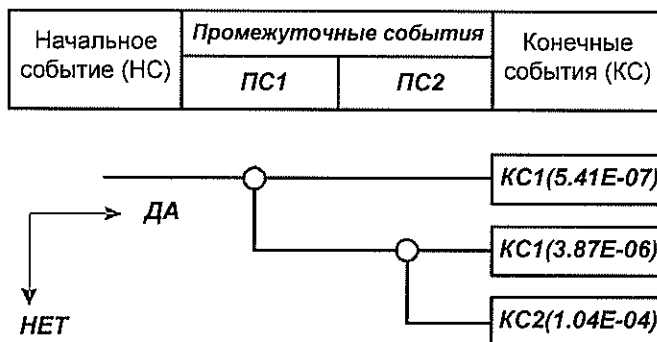


Рисунок 41 – Дерево событий, моделирующее возможные варианты развития аварийной ситуации при разрыве на полное сечение трубопровода хвостового газа Ду 500 (сценарий С18, Ø 12,5 мм)

**Наименование событий:**

**НС** – разгерметизация трубопровода (вероятность  $1,08E-04$ );

**ПС1** – возникновение мгновенного источника воспламенения (вероятность  $3,5E-02$ );

**ПС2** – появление отложенного источника воспламенения (вероятность  $3,6E-02$ );

**КС1** – образование факельного горения газа (вероятность  $4,41E-06$ );

**КС2** – рассеяние без воспламенения (вероятность  $1,04E-04$ ).

Ив. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №					<b>МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ</b>	Лист	
			Изм.	Копуч.	Лист	№ док	Подп.	Дата	125

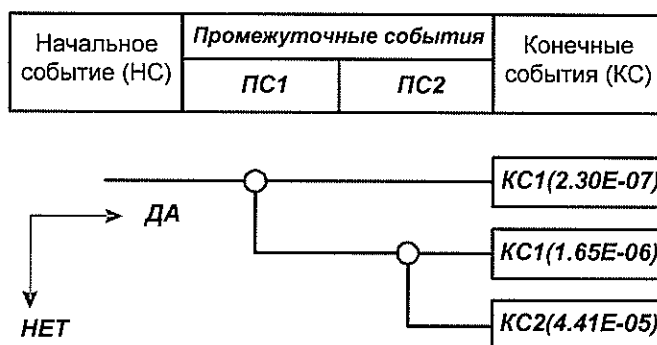


Рисунок 42 – Дерево событий, моделирующее возможные варианты развития аварийной ситуации при разрыве на полное сечение трубопровода хвостового газа Ду 500 (сценарий С18, Ø 25 мм)

**Наименование событий:**

**НС** – разгерметизация трубопровода (вероятность 4,6E-05);

**ПС1** – возникновение мгновенного источника воспламенения (вероятность 3,5E-02);

**ПС2** – появление отложенного источника воспламенения (вероятность 3,6E-02);

**КС1** – образование факельного горения газа (вероятность 1,88E-06);

**КС2** – рассеяние без воспламенения (вероятность 4,41E-05).

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №					МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ	Лист	
			Изм.	Копуч.	Лист	№ док	Подп.	Дата	126

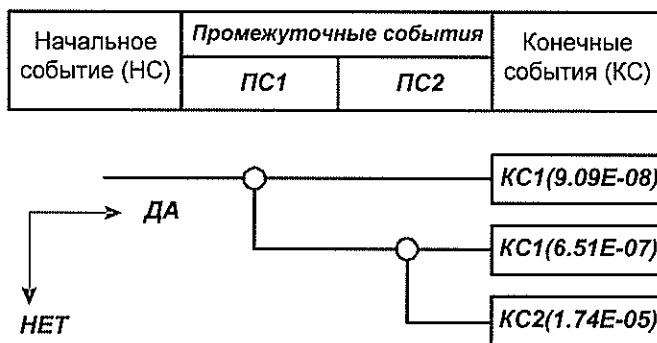


Рисунок 43 – Дерево событий, моделирующее возможные варианты развития аварийной ситуации при разрыве на полное сечение трубопровода хвостового газа Ду 500 (сценарий С18, Ø 50 мм)

**Наименование событий:**

**НС** – разгерметизация трубопровода (вероятность  $1,82E-05$ );

**ПС1** – возникновение мгновенного источника воспламенения (вероятность  $3,5E-02$ );

**ПС2** – появление отложенного источника воспламенения (вероятность  $3,6E-02$ );

**КС1** – образование факельного горения газа (вероятность  $7,42E-07$ );

**КС2** – рассеяние без воспламенения (вероятность  $1,74E-05$ ).

Изм.	Копуч.	Лист	№ док	Подп.	Дата	<b>МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ</b>	Лист
							127

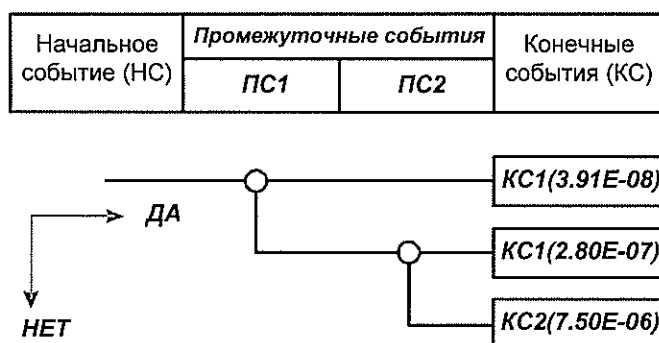


Рисунок 44 – Дерево событий, моделирующее возможные варианты развития аварийной ситуации при разрыве на полное сечение трубопровода хвостового газа Ду 500 (сценарий С18, Ø 100 мм)

#### Наименование событий:

**НС** – разгерметизация трубопровода (вероятность  $7,82E-06$ );

**ПС1** – возникновение мгновенного источника воспламенения (вероятность  $3,5E-02$ );

**ПС2** – появление отложенного источника воспламенения (вероятность  $3,6E-02$ );

**КС1** – образование факельного горения газа (вероятность  $3,19E-07$ );

**КС2** – рассеяние без воспламенения (вероятность  $7,5E-06$ ).

Ив. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	Копуч.	Лист	№ док	Подп.	Дата

МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ

### 2.3.2 Оценка риска взрыва ТВС

Оценка риска взрыва выполнялась с учетом дрейфа облака ТВС в зависимости от метеопараметров в соответствии с требованиями [6, 47].

Вероятности взрыва облака ТВС приняты по таблице 34.

Результаты расчетов (см. таблицу 20) показывают, что максимально возможная масса во взрывоопасных пределах составляет 22 кг и набирается при дрейфе облака в условиях инверсии (F) и при скорости ветра, равной 1 м/с, на 66-ой секунде с момента начала аварии (центр облака сместится за это время по ветру на 66 м). Рисунок 45 иллюстрирует поведение взрывоопасной массы при дрейфе облака в указанных условиях на протяжении всего периода рассмотрения аварийной ситуации (существования аварийного пролива, равного одному часу, в соответствии с [6, 9]).

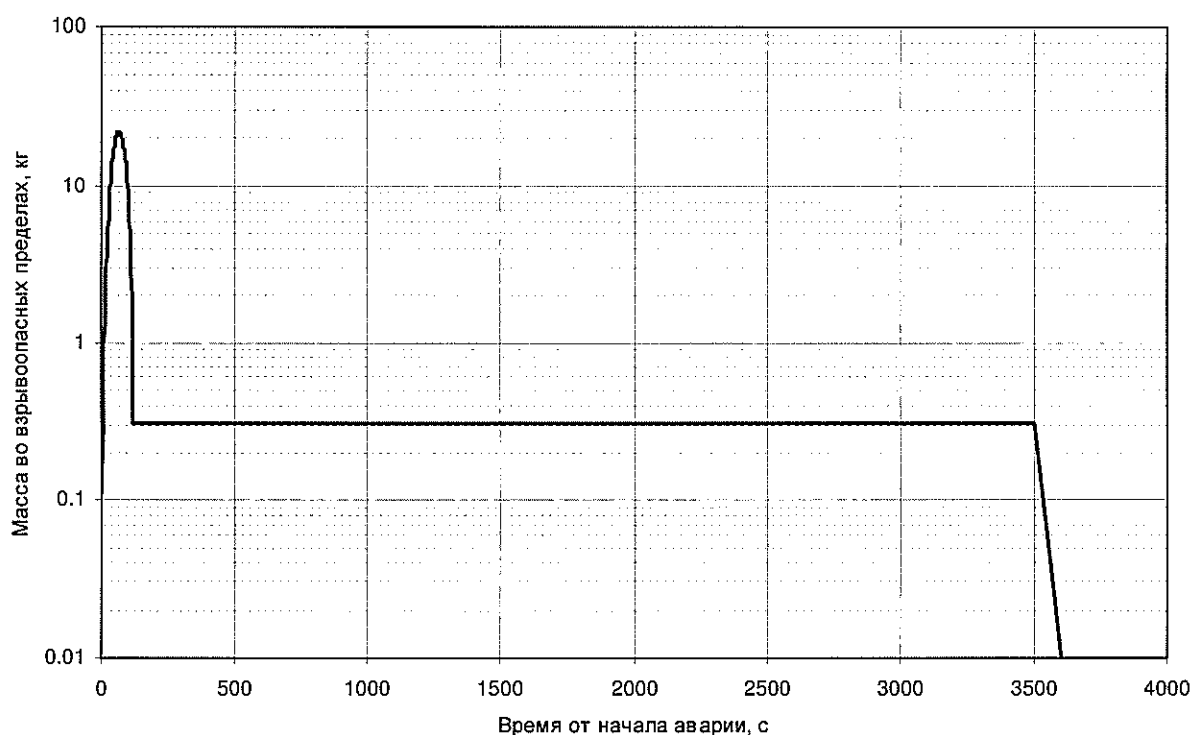


Рисунок 45 – Изменение взрывоопасной массы во времени при дрейфе облака ТВС (класс устойчивости атмосферы – инверсия, скорость ветра – 1 м/с)

Результаты расчетов (рисунок 45) свидетельствуют о том, что определяющий вклад в формирование взрывоопасной массы при аварии вносит парогазовая фаза блока, способная одновременно выйти в окружающее пространство и образовать первичное (нестационарное) облако горючих газов и паров. Максимальная взрывоопасная масса набирается при этом на 66-ой секунде с момента начала аварии и перестает существовать на 120-й секунде. Далее за формирование взрывоопасной массы отвечает испарение аварийного пролива, которое образует вторичное (стационарное) облако. При испарении аварийного пролива в течение часа со средней интенсивностью  $0,546 \text{ г}/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$  во взрывоопасных пределах накапливается не более 302 г топлива даже при самых неблагоприятных условиях рассеяния. Следует отметить, что при этом взрывное превращение парогазовой фазы крайне маловероятно. Указанная интенсивность испарения способна лишь обеспечить диффузионное горение паров над поверхностью зеркала жидкости, т.е. обеспечить образование пожара пролива.

Ниже приведены результаты расчетов избыточного давления и импульса во фронте воздушной ударной волны (ВУВ) (рисунок 46), а также вероятности разруше-

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взаим. инв. №

Изм.	Копуч.	Лист	Недок	Подп.	Дата
------	--------	------	-------	-------	------

ния объектов и поражения людей ударной волной (рисунок 47) в соответствии с [6÷9] при участии во взрыве максимально возможной массы топлива.

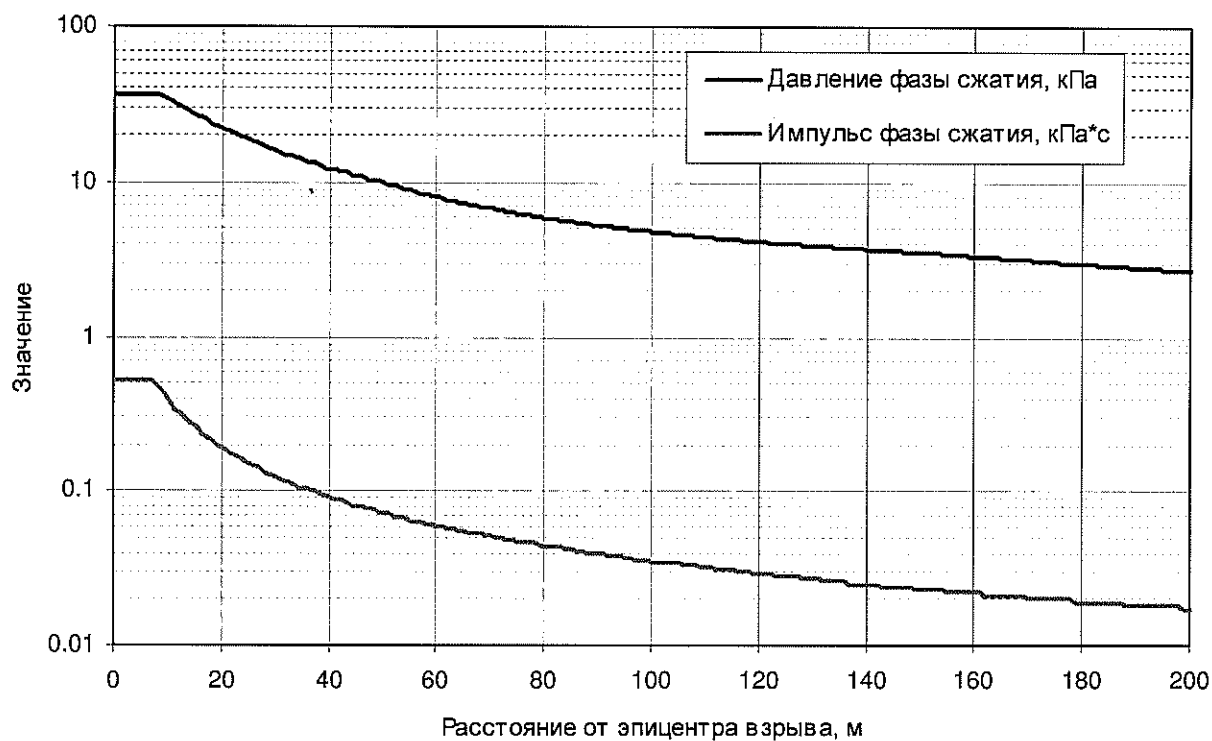


Рисунок 46 – Избыточное давление и импульс во фронте ВУВ при участии во взрыве максимально возможной массы

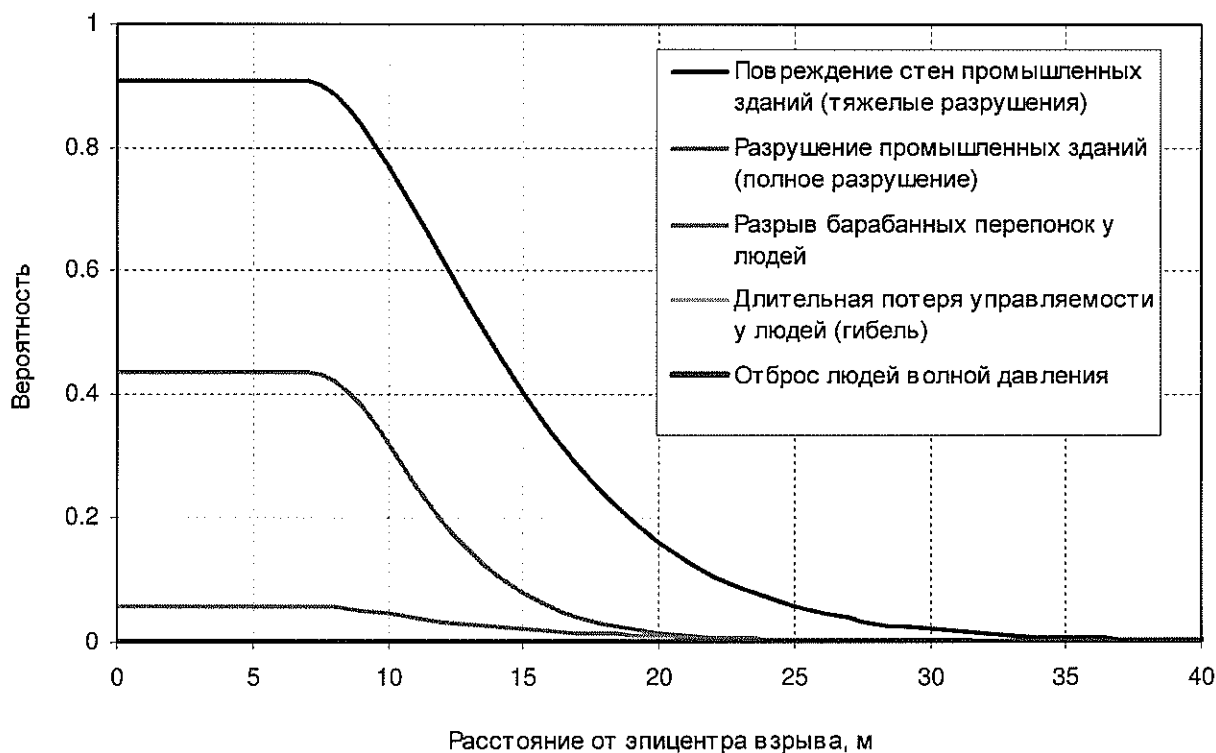


Рисунок 47 – Условные вероятности разрушения объектов и поражения людей ВУВ при участии во взрыве максимально возможной массы

Инд. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	Копуч.	Лист	Недок	Подп.	Дата

МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ

Лист

130

На рисунках 48÷51 приведены поля территориального распределения вероятностей достижения различного избыточного давления во фронте ВУВ (28 кПа, 14 кПа, 5 кПа, 2 кПа) при взрывах облаков ТВС с учетом всех возможных сценариев их дрейфа в зависимости от метеопараметров.

Согласно [7] 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.

Результаты расчетов (рисунки 46, 47) свидетельствуют о том, что гибель людей на открытой площадке в результате прямого воздействия ударной волны не наблюдается (не развивается избыточное давление на фронте ударной волны  $\Delta P > 120$  кПа, а также вероятность гибели по пробит-функции [9] равна нулю).

Однако, в случае нахождения людей в момент внешнего взрыва в зданиях их поражение может наступить при гораздо более низком избыточном давлении на фронте ударной волны от механического воздействия за счет разрушения зданий. В соответствии с [9] при оценке условной вероятности поражения человека, находящегося в здании, следует использовать пробит-функцию для тяжелых разрушений зданий.

Из рисунка 47 видно, что при взрывах облаков ТВС в результате аварий на проектируемом объекте возможна гибель производственного персонала, находящегося в зданиях.

На рисунке 52 приведено поле потенциального риска гибели людей, находящихся в зданиях, в результате всех рассмотренных аварий со взрывами облаков ТВС с учетом их дрейфа в соответствии с метеопараметрами.

Как видно из результатов расчетов (рисунок 52), потенциальный риск гибели обслуживающего персонала в существующей операторной (корп. 1612) от внешних взрывов облаков ТВС на установке КФ-3 соответствует величине  $1.216E-07$  1/год. С учетом доли времени нахождения аппаратчика, обслуживающего установку КФ-3, на работе (0,23) и в помещении операторной (0,75), индивидуальный риск его гибели составит:

$$1.216E-07 \times 0,23 \times 0,75 = 2,1E-08 \text{ 1/год.}$$

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №							МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ	Лист
			Изм.	Копуч.	Лист	№ док	Подп.	Дата		131

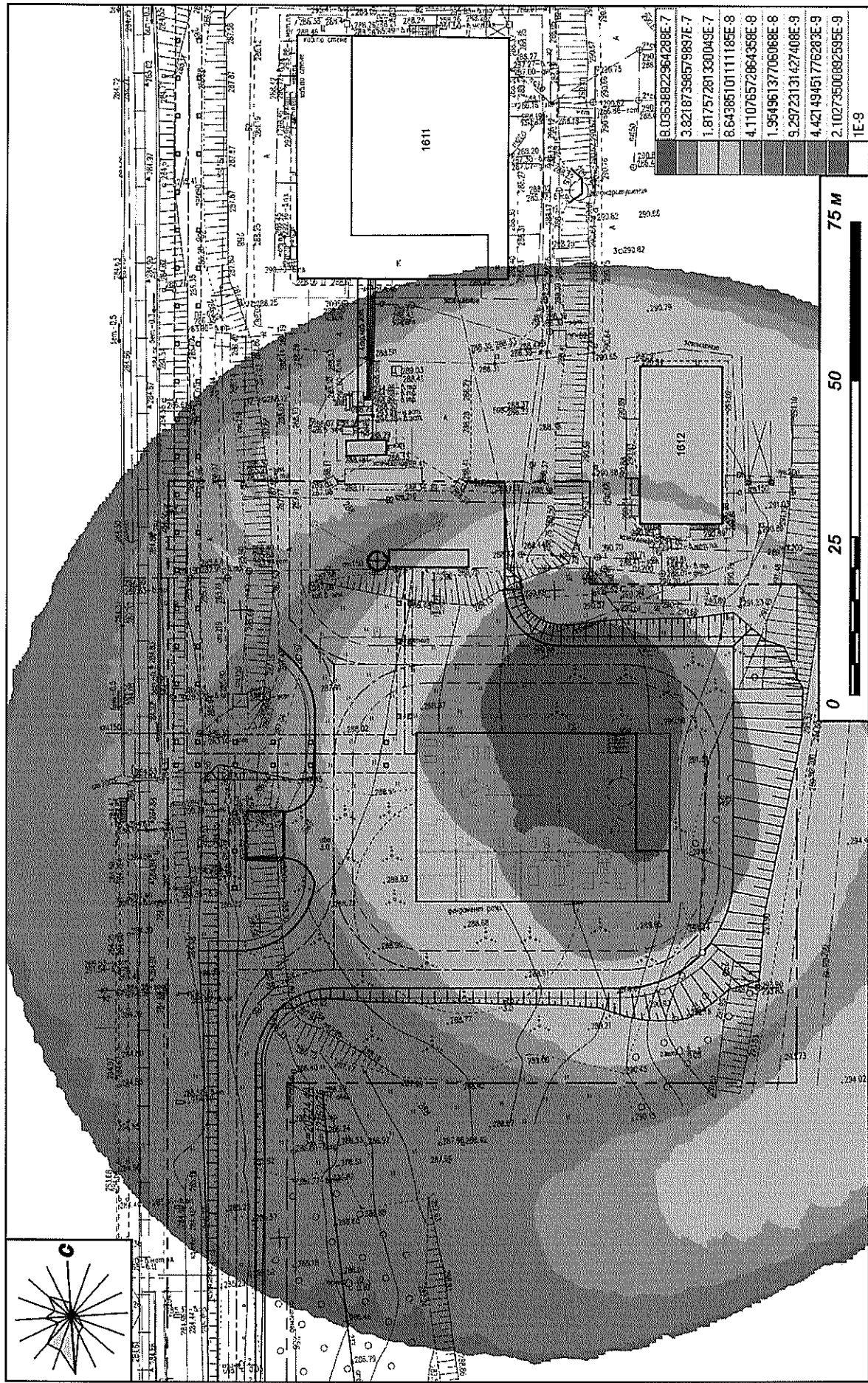


Рисунок 48 – Поле распределения вероятности достижения избыточного давления  $\Delta P=28$  кПа во фронте ВУВ при взрывах облаков ТВС с учетом всех возможных сценариев их дрейфа в зависимости от метеопараметров



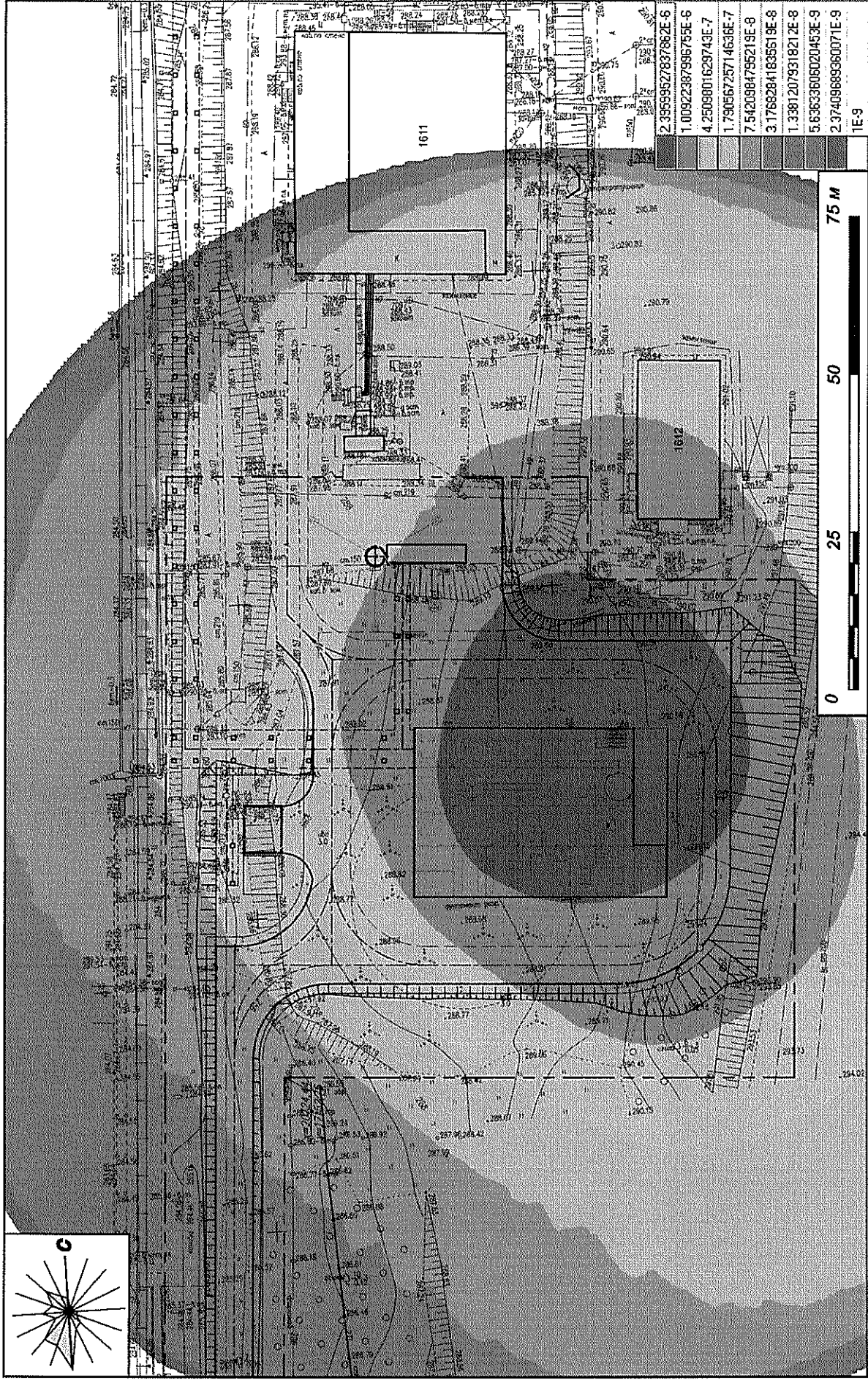


Рисунок 49 – Поле распределения вероятности достижения избыточного давления  $\Delta P=14$  кПа во фронте ВУВ при взрывах облаков ТВС с учетом всех возможных сценариев их дрейфа в зависимости от метеопараметров

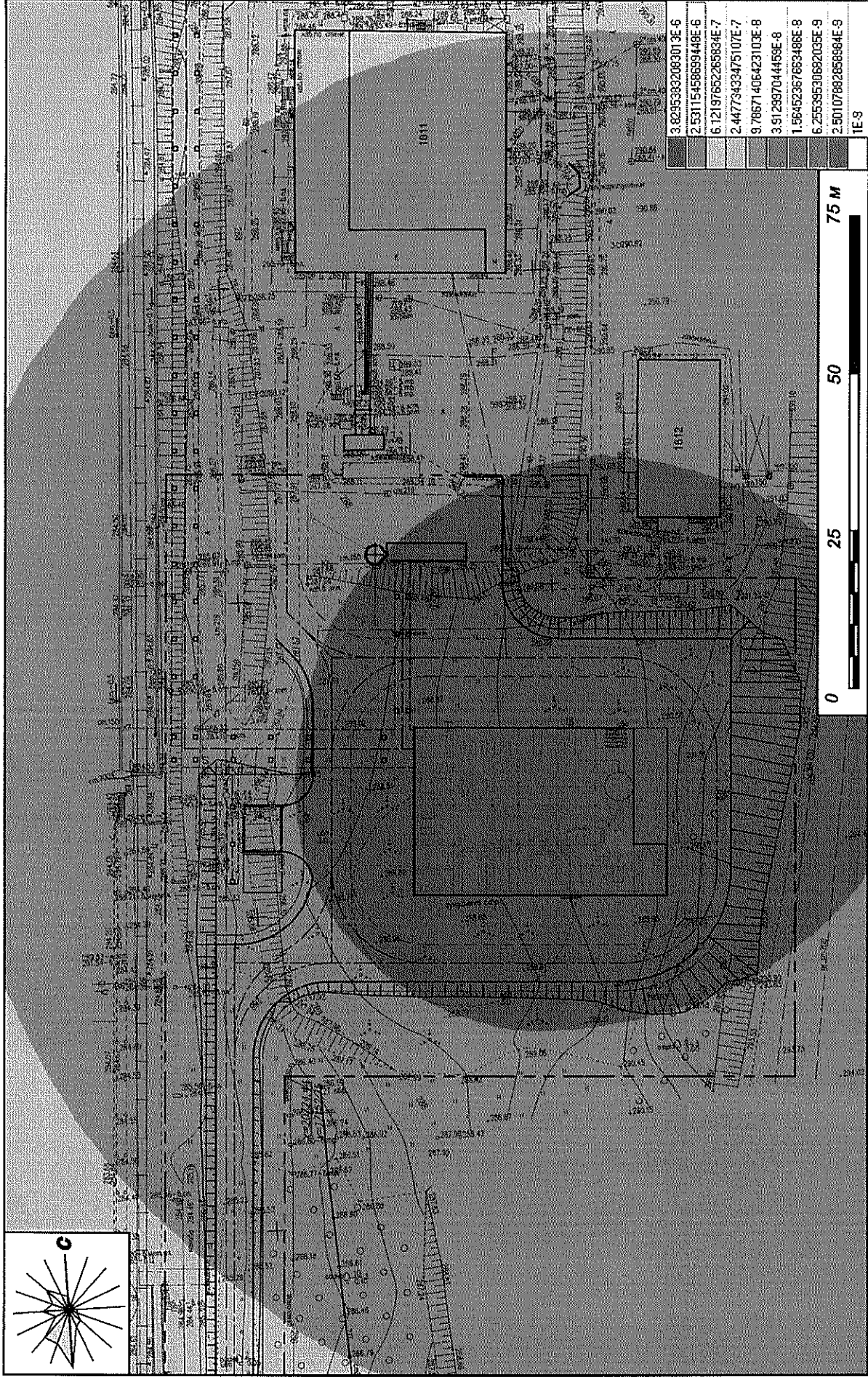


Рисунок 50 – Поле распределения вероятности достижения избыточного давления ΔP=5 кПа во фронте ВУВ при взрывах облаков ТВС с учетом всех возможных сценариев их дрейфа в зависимости от метеопараметров

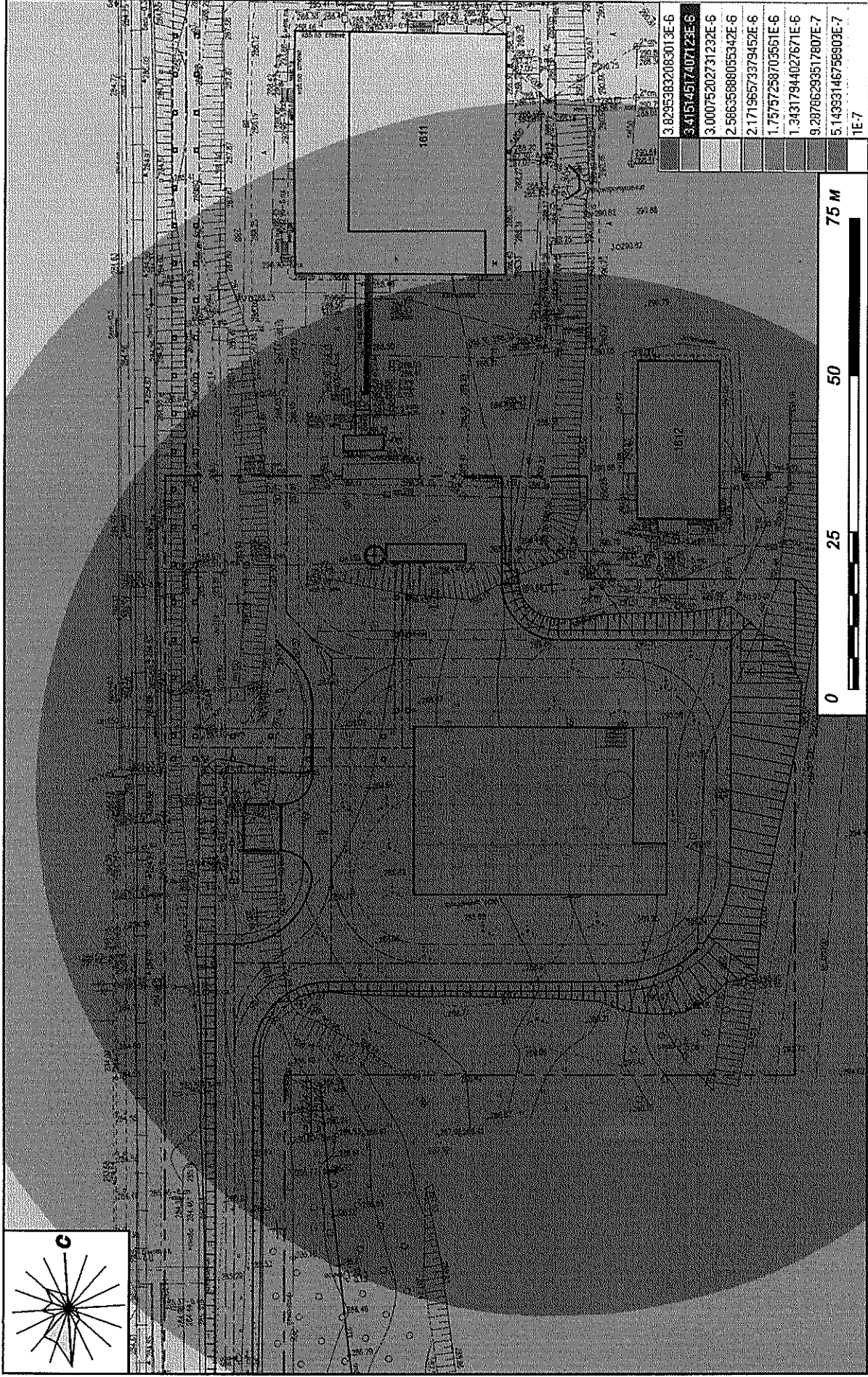


Рисунок 51 — Поле распределения вероятности достижения избыточного давления  $\Delta P=2$  кПа во фронте ВУВ при взрывах облаков ТВС с учетом всех возможных сценариев их дрейфа в зависимости от метеопараметров

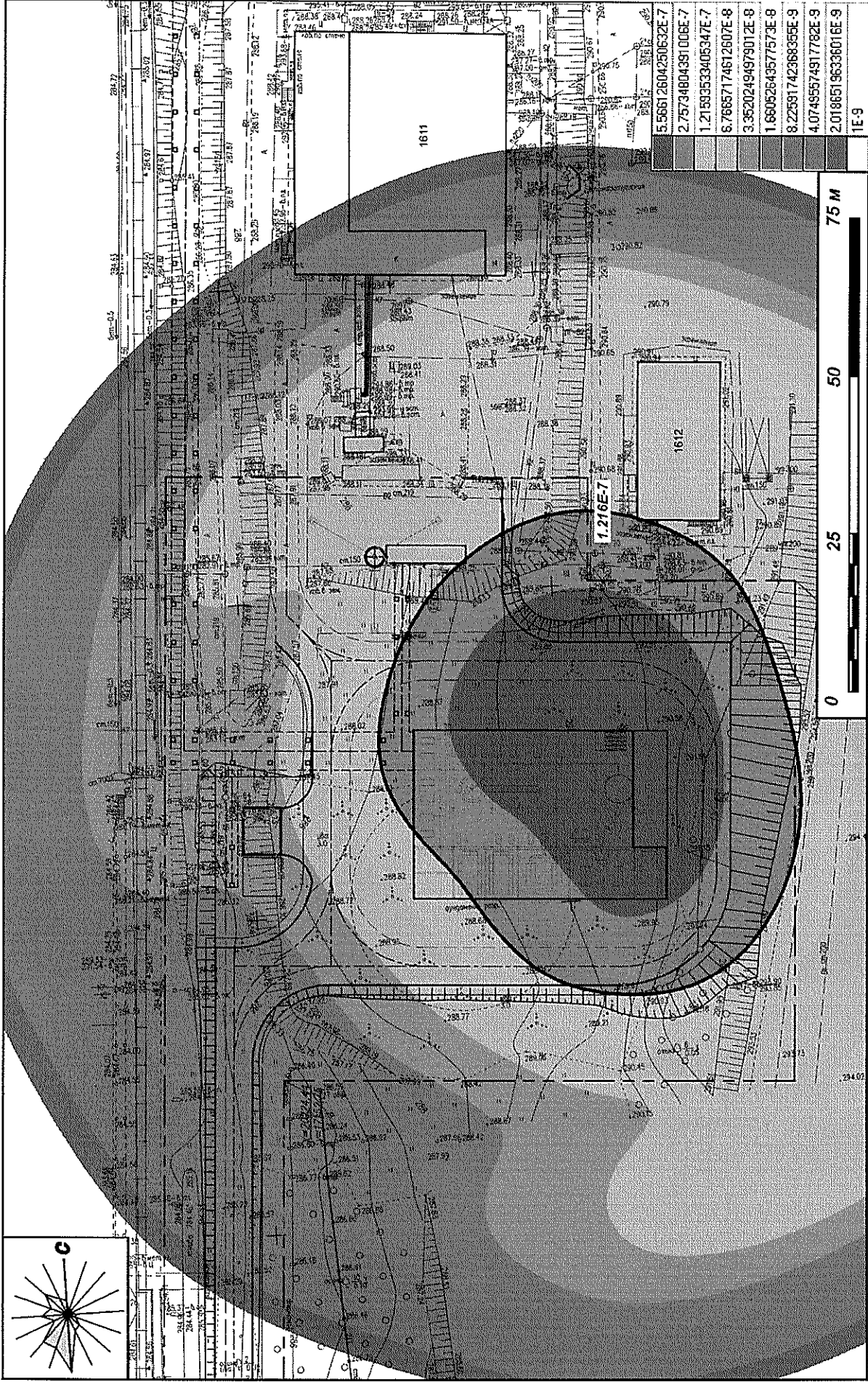


Рисунок 52 – Поле потенциального риска гибели людей, от внешних взрывов облаков ТВС с учетом всех возможных сценариев их дрейфа в зависимости от метеопараметров

Проведенные расчеты показывают, что существующая операторная (корп. 1612) находится в зоне воздействия ударной волны от возможных взрывов облаков ТВС на проектируемой установке КФ-3.

Для обоснования взрывоустойчивости существующей операторной (корп. 1612) от возможных взрывов облаков ТВС на проектируемой установке в соответствии с требованиями [6, 47] необходимо определить вероятность (частоту) воздействия на операторную избыточного давления взрыва, приводящего к ее разрушению и сравнить эту вероятность с рекомендуемой допустимой величиной, приведенной в [47] и равной  $1E-04$  1/год.

Согласно техническому паспорту здания операторная корп. 1612 представляет собой трехэтажное кирпичное здание. В соответствии с данными [48], подобные здания (многоэтажные промышленные здания с кирпичными несущими стенами) подвергаются сильным разрушениям при воздействии на них избыточного давления во фронте ВУВ  $10\text{--}30$  кПа. Таким образом, считаем, что избыточного давления во фронте ВУВ, равного  $30$  кПа, достаточно для разрушения операторной корп. 1612.

На рисунке 53 приведено территориальное распределение вероятности достижения избыточного давления ( $30$  кПа) во фронте ВУВ при взрывах облаков ТВС на проектируемой установке с учетом всех возможных сценариев их дрейфа в зависимости от метеопараметров.

Рисунок 54 иллюстрирует вероятность достижения различного избыточного давления во фронте ВУВ для операторной корп. 1612.

Как следует из результатов расчетов (рисунки 53, 54), избыточное давление ( $30$  кПа) во фронте ВУВ при взрывах облаков ТВС на проектируемой установке формалина, действующее на операторную корп. 1612, достигается с вероятностью (частотой)  $9,5E-08$  1/год. Указанная частота разрушения операторной значительно ниже рекомендуемой допустимой частоты воздействия взрыва на здания, равной  $1E-04$  1/год [47].

Результаты расчетов свидетельствуют о том, что операторная корп. 1612 является устойчивой по отношению к возможным взрывам облаков ТВС при авариях на проектируемой установке формалина, что указывает на обоснованность принятых проектных решений по ее (установки) размещению.

Изм.	Копуч.	Лист	Недок	Подп.	Дата	Инд. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	МФ10-05/19-П-АРА		Лист
											137

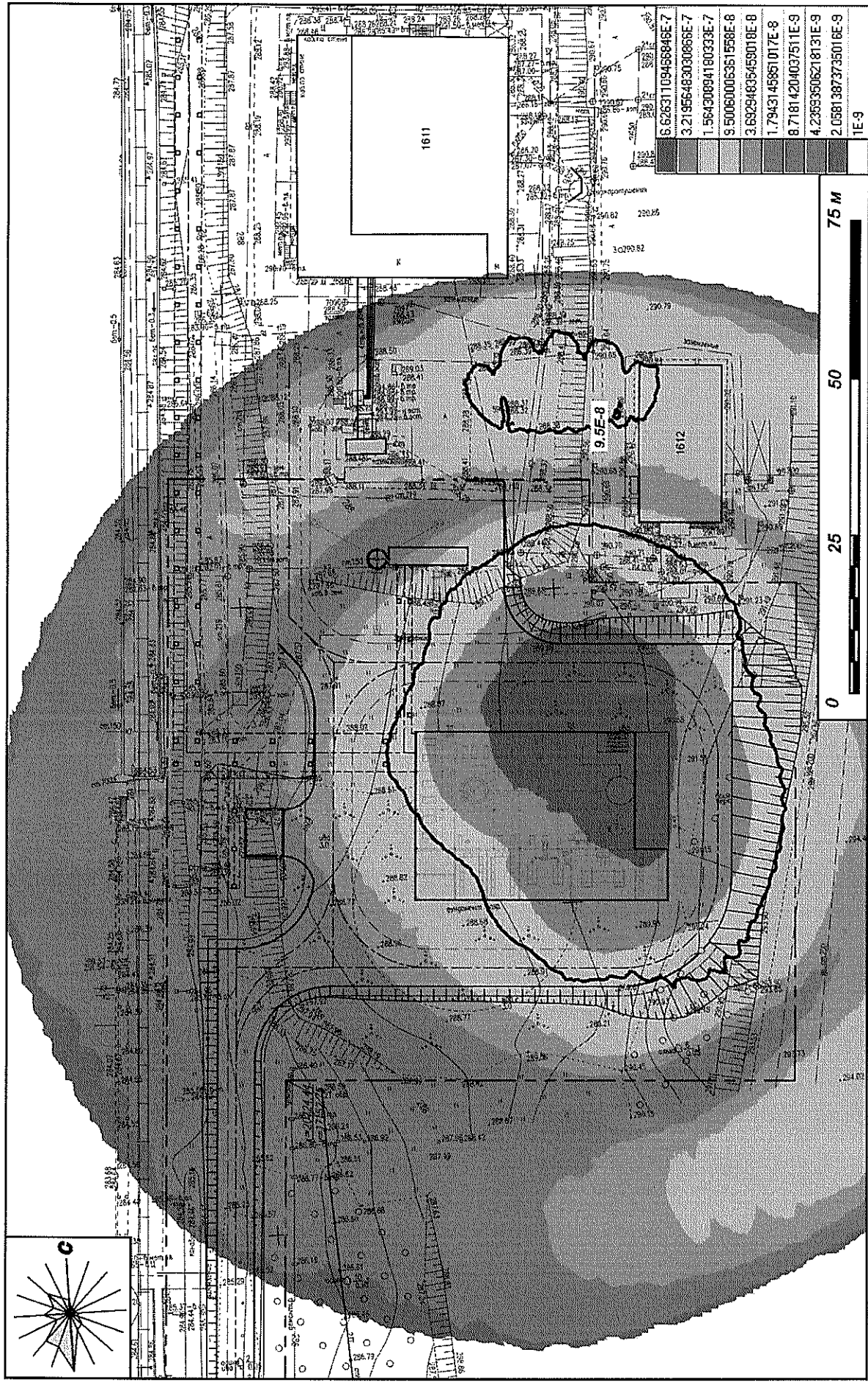


Рисунок 53 – Поле распределения вероятности достижения избыточного давления  $\Delta P=30$  кПа во фронте ВУВ при взрывах облаков ТВС с учетом всех возможных сценариев их дрейфа в зависимости от метеопараметров

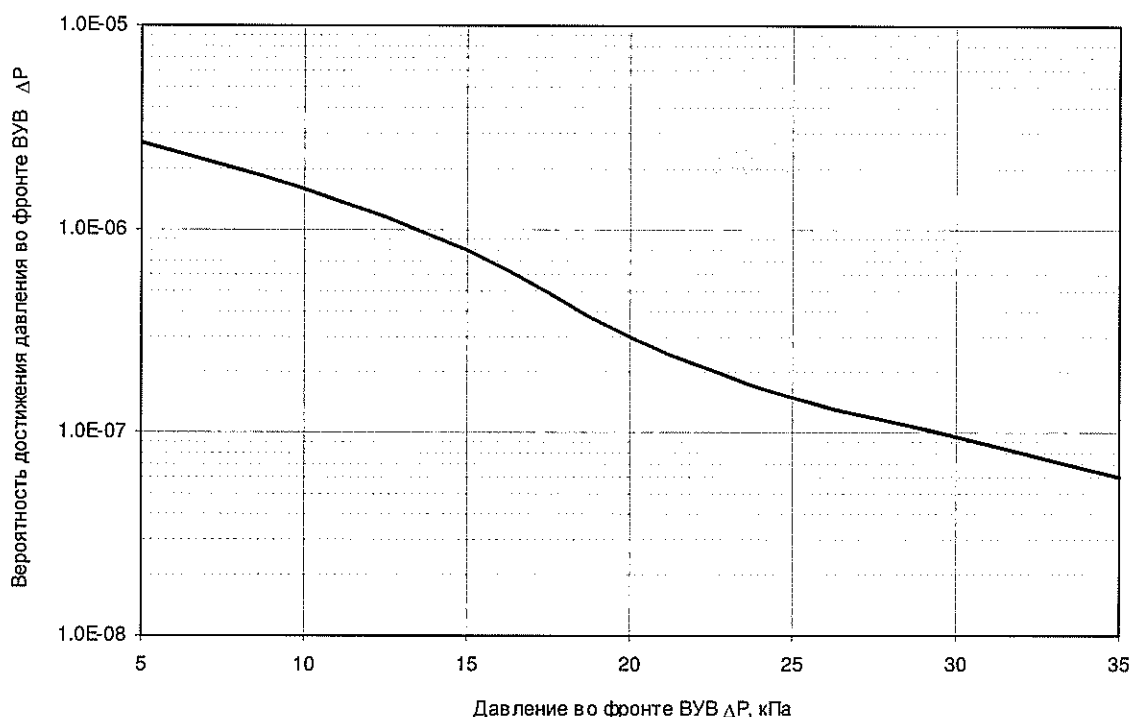


Рисунок 54 – Вероятность достижения различного избыточного давления во фронте ВУВ для операторной корп. 1612

### 2.3.3 Оценка пожарного риска

Согласно №123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [2, 9] индивидуальный пожарный риск для работников объекта оценивается частотой поражения определенного работника объекта опасными факторами пожара, взрыва в течение года.

В п. 2.3.2 расчетным путем установлено, что гибель обслуживающего персонала в результате взрывов облаков ТВС на проектируемой установке возможна только при нахождении его (персонала) в здании операторной корп. 1612. Индивидуальный риск гибели от взрыва при этом составляет  $2,1 \times 10^{-8}$  1/год.

Таким образом, для оценки индивидуального пожарного риска необходимо определить риск гибели обслуживающего персонала от пожаров проливов ЛВЖ и ГЖ, а также факельного горения ГГ в результате аварий на установке КФ-3.

На рисунке 55 приведено поле потенциального риска гибели людей в результате аварий на проектируемом объекте, сопровождающихся пожарами проливов, а также факельным горением газа.

Как следует из результатов расчетов (рисунок 55), средний потенциальный риск<sup>10</sup> гибели человека от теплового излучения пожаров проливов и факелов на проектируемой установке формалина достигает величины  $9,747 \times 10^{-7}$  1/год.

<sup>10</sup> Потенциальный риск, осредненный по площади территории установки КФ-3.

Изм.	Копуч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата
Индв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №			

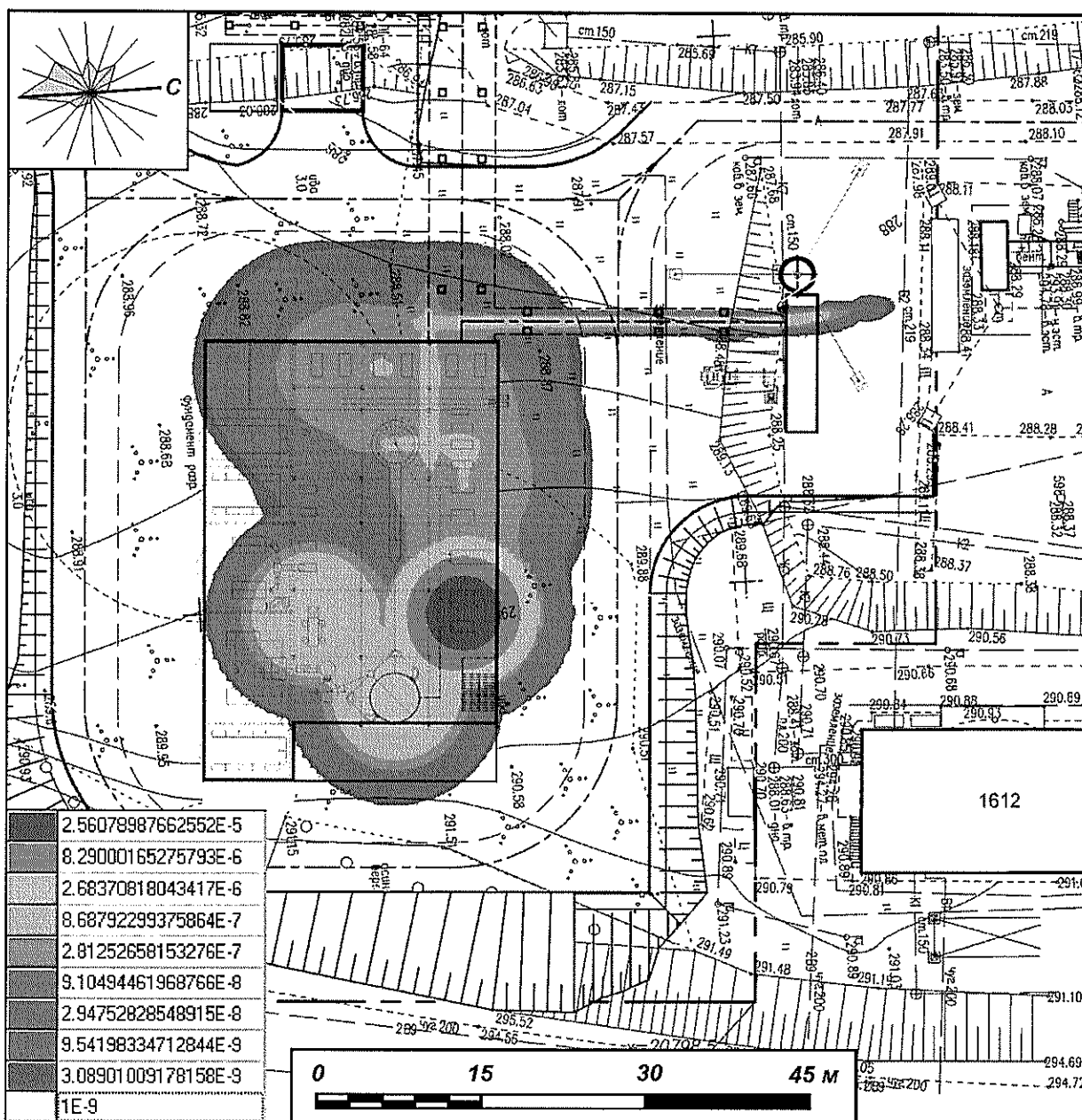


Рисунок 55 – Поле потенциального риска гибели людей от теплового излучения пожаров проливов и факелов

С учетом доли времени нахождения аппаратчика, обслуживающего установку КФ-3, на работе (0,23) и на территории установки КФ-3 (0,25), индивидуальный риск его гибели от теплового излучения составит:

$$9.747E-07 \times 0,23 \times 0,25 = 5,6E-08 \text{ 1/год.}$$

Таким образом, индивидуальный пожарный риск для персонала будет определяться как сумма рисков гибели от взрывов и пожаров на проектируемой установке КФ-3:

$$2,1E-08 + 5,6E-08 = 7,7E-08 \text{ 1/год}$$

Следует отметить, что для комплексной оценки пожарного риска гибели обслуживающего персонала на проектируемой установке КФ-3 необходимо учесть риск от соседних существующих объектов предприятия. Такая информация содержится в Декларации промышленной безопасности опасных производственных объектов ПАО «Метафракс» [50]. Декларация промышленной безопасности опасных производствен-

Инв. № подл.	Взам. инв. №
	Подп. и дата

Изм.	Копуч.	Лист	№ док	Подп.	Дата	МФ10-05/19-П-АРА	Лист
							140



ных объектов ПАО «Метафракс» прошла экспертизу промышленной безопасности и получила положительное заключение. Заключение экспертизы промышленной безопасности внесено в реестр под номером 48-ДБ-00797-2014, что подтверждается наличием уведомления о внесении сведений в реестр заключений экспертизы промышленной безопасности №239 от 28.01.2014 г. [51]. Указанный факт позволяет использовать результаты анализа риска, приведенные в указанной ДПБ, для целей настоящего документа.

Данные, приведенные в Декларации промышленной безопасности опасных производственных объектов ПАО «Метафракс» показывают, что потенциальный риск гибели обслуживающего персонала в операторной (корп. 1612) составляет  $3,5E-07$  1/год, а на открытой площадке в том месте, где планируется строительство КФ-3 –  $2,8E-07$  1/год.

Таким образом, индивидуальный пожарный риск для персонала в результате аварий на соседних существующих объектах предприятия составит (с учетом доли времени нахождения персонала на работе, в операторной и на территории установки КФ-3):

$$3,5E-07 \times 0,23 \times 0,75 + 2,8E-07 \times 0,23 \times 0,25 = 7,65E-08 \text{ 1/год}$$

Суммарный индивидуальный пожарный риск для персонала проектируемой установки КФ-3 от всех рассмотренных источников опасности достигнет величины:

$$7,7E-08 + 7,65E-08 = 1,54E-07 \text{ 1/год}$$

Полученная величина индивидуального пожарного риска не превышает допустимого значения ( $1E-06$  1/год), установленного №123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [2].

На рисунке 56 представлено интегральное поле потенциального риска гибели человека в результате аварий на установке КФ-3.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №							Лист
			МФ10-05/19-П-АРА						
Изм.	Копуч.	Лист	№ док	Подп.	Дата				

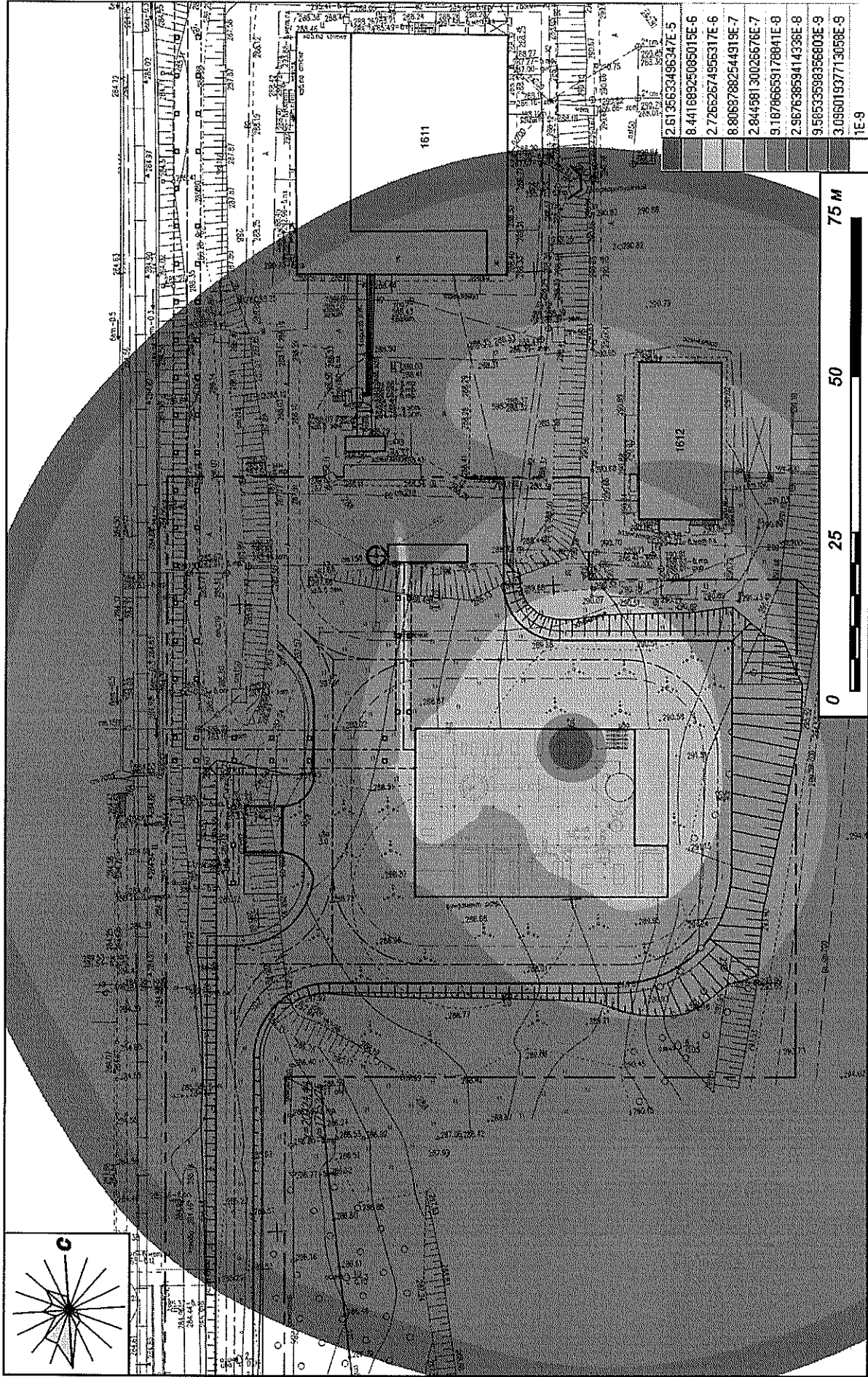


Рисунок 56 – Интегральное поле потенциального риска гибели человека в результате аварий на установке КФ-3

### 2.3.4 Оценка риска токсического поражения

Как было показано в п.п. 2.2.4 смертельное токсическое поражение персонала при авариях на проектируемом объекте не наблюдается. В данном случае риск токсического поражения может быть определен как вероятность достижения той или иной токсодозы при вероятностных сценариях аварии с дрейфом токсичного облака в зависимости от метеопараметров.

В таблице 5 приведены результаты определения вероятностей реализации сценариев аварии с дрейфом токсичного облака в зависимости от метеопараметров в соответствии с данными, приведенными в п.п. 2.2.3.3.

Таблица 5 – Сводная таблица вероятностей реализации сценариев аварии с дрейфом токсичного облака в зависимости от метеопараметров

Класс устойчивости атмосферы	Скорость ветра, м/с	Условная вероятность класса устойчивости атмосферы	Условная вероятность скорости ветра	Условная вероятность реализации сценария аварии
1	2	3	4	5
A	1	0,1280	0,4413	0,0565
	2	0,1280	0,3598	0,0461
	3	0,0490	0,1379	0,0068
B	1	0,2880	0,4413	0,1271
	2	0,2880	0,3598	0,1036
	3	0,0800	0,1379	0,0110
	4	0,1280	0,0445	0,0057
C	3	0,2880	0,1379	0,0397
	4	0,2880	0,0445	0,0128
	5	0,1280	0,0133	0,0017
	6	0,0490	0,0032	0,0002
D	1	0,2500	0,4413	0,1103
	2	0,2500	0,3598	0,0900
	3	0,2500	0,1379	0,0345
	4	0,4170	0,0445	0,0185
	5	0,8720	0,0133	0,0116
	6	0,9510	0,0032	0,0031
E	3	0,1670	0,1379	0,0230
	4	0,1670	0,0445	0,0074
F	1	0,3330	0,4413	0,1469
	2	0,3330	0,3598	0,1198
	3	0,1670	0,1379	0,0230

На основании полученных вероятностей реализации сценариев аварии с дрейфом токсичного облака в зависимости от метеопараметров получено распределение токсодозы по вероятности ее достижения (рисунок 58).

Изм. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	Копуч.	Лист	Недок.	Подп.	Дата

МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ

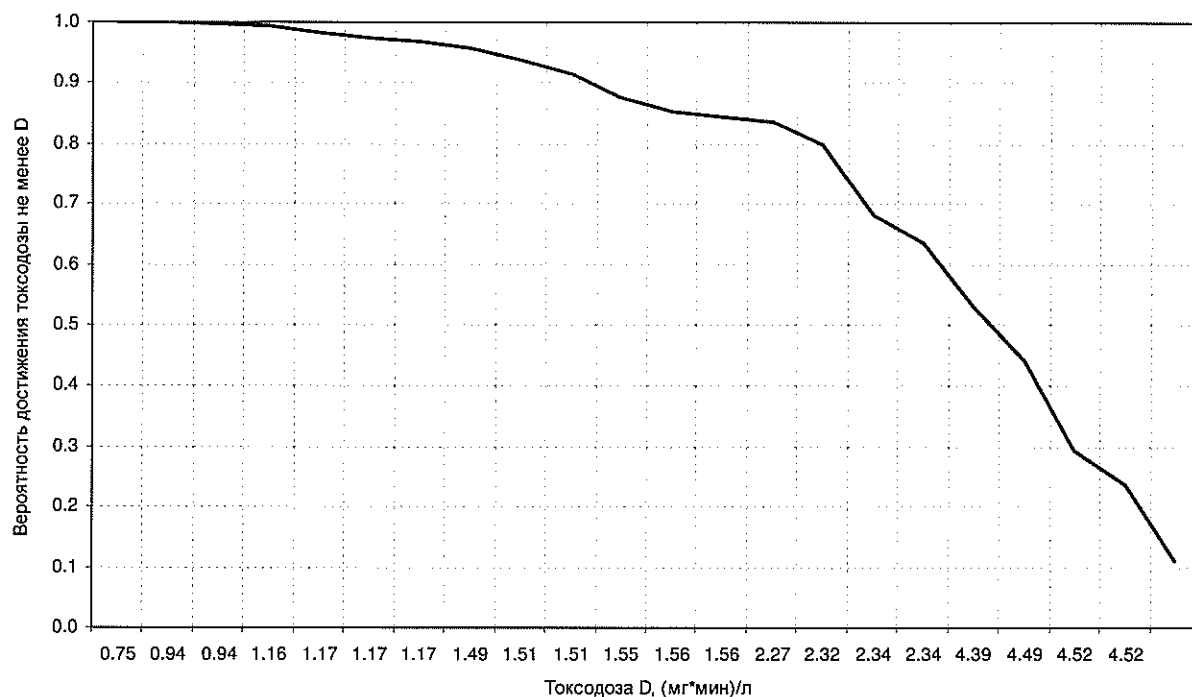


Рисунок 58 – Распределение токсодозы по вероятности ее достижения

Из рисунка 58 видно, что в результате аварийной ситуации на установке КФ-3 со 100%-ной вероятностью достигается токсодоза не менее 0.75 мг·мин/л (что незначительно превышает пороговую токсодозу для формальдегида, равную 0.6 мг·мин/л). Максимальная же токсодоза (4.52 мг·мин/л) достигается в десять раз реже (в 10%-тах случаев).

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №							МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ	Лист
			Изм.	Копуч.	Лист	№док	Подп.	Дата		144

### 3 ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

#### 3.1 Основные опасности технологического объекта и показатели риска аварий

На проектируемой установке производства формалина КФ-3 возможны несколько типов аварий, связанных с опасными свойствами обращающихся веществ, а также с условиями их содержания: дефлаграционный взрыв облака ТВС, пожар пролива, факельное горение, а также токсикоз.

Наибольшее количество метанола в выбросе может реализоваться при авариях/разрушениях на испарителе метанола (поз. V-4931), в то время как разрушение или разгерметизация системы абсорбции формалина (поз. С-4981) может привести к выбросу наибольшего количества газообразного формальдегида и формалина, нагретого выше температуры вспышки.

В результате анализа риска сделаны следующие выводы:

1. Индивидуальный пожарный риск гибели обслуживающего персонала в результате взрывов и пожаров на проектируемой установке КФ-3, а также с учетом соседних существующих производств составляет  $1,54E-07$  1/год, что не превышает допустимого значения индивидуального риска ( $1.0E-06$  1/год), установленного №123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [2].
2. Токсическая опасность для обслуживающего персонала отсутствует. Так, при максимальной гипотетической аварии на установке формалина (полное разрушение абсорбера формалина поз. С-4981) и наихудших условиях для рассеяния парогазового облака риск смертельного токсического поражения персонала отсутствует (среднесмертельная токсодоза не достигается).
3. Существующее здание операторной (корп. 1612) является устойчивым по отношению к возможным взрывам облаков ТВС при авариях на проектируемой установке формалина, что указывает на обоснованность принятых проектных решений по ее (установки) размещению.

#### 3.2 Перечень наиболее значимых факторов, влияющих на показатели риска

Наиболее значимыми факторами, влияющими на показатели риска, являются:

- большие количества опасных веществ в оборудовании;
- пожаровзрывоопасные свойства обращающихся веществ;
- безотказная работа систем контроля и автоматического регулирования технологического процесса;
- безотказная работа систем пожарной сигнализации и противопожарного водоснабжения;
- надежность насосного оборудования;
- подготовленность и профессиональные действия обслуживающего персонала;
- оперативность действий пожарной охраны и персонала предприятия при ликвидации аварийных ситуаций;
- атмосферные условия при дрейфе облаков ТВС.

#### 3.3 Предложения по внедрению мер, направленных на уменьшение риска аварий

Уровни рисков, наблюдающихся в результате возможных аварий на проектируемом объекте, являются приемлемыми и не нуждаются в разработке мер по их снижению. После ввода объекта в эксплуатацию следует осуществлять проведение мероприятий по поддержанию приемлемого уровня безопасности, который должен обеспечиваться:

Изм.	Копуч.	Лист	№ док	Подп.	Дата	Изм. инв. №	Подп. и дата	Взаим. инв. №	Изм. № подл.	МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ	Лист
											145

- проведением профилактической и плановой работы по выявлению дефектов технологического оборудования, его остаточного ресурса с последующим ремонтом или заменой;
- проведением своевременного контроля состояния трубопроводов и запорной арматуры, остаточного ресурса технологических трубопроводов, высоким уровнем технического обслуживания и текущего ремонта;
- осуществлением контроля за общим комплексом мероприятий по повышению технологической дисциплины и увеличения ресурса работы оборудования, выполнением аварийно-ремонтных и восстановительных работ в соответствии с требованиями техники безопасности, охраны труда и правилами технической эксплуатации;
- проведением регулярной проверки состояния фундаментных опор под трубопроводами на наличие просядок или каких-либо других дефектов;
- проведением систематического наблюдения за состоянием технологических сооружений, коррозионным состоянием металлических конструкций, осадкой фундаментов; своевременным проведением ремонта перечисленных элементов;
- поддержанием в исправности и постоянной готовности средств пожарной сигнализации и систем пожаротушения;
- совершенствованием мероприятий по профессиональной и противоаварийной подготовке производственного персонала, их обучение способам защиты и действиям в аварийных ситуациях.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	Копы	Лист	Челок	Подп.	Дата

МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ

## 4 СИТУАЦИОННЫЕ ПЛАНЫ

На рисунках 14÷16 приведен ситуационный план декларируемого объекта с графическим отображением зон возможного поражения для наиболее опасного по своим последствиям и наиболее вероятного сценариев аварий. На рисунке 17 приведено интегральное поле потенциального риска гибели людей в результате аварий на декларируемом объекте.

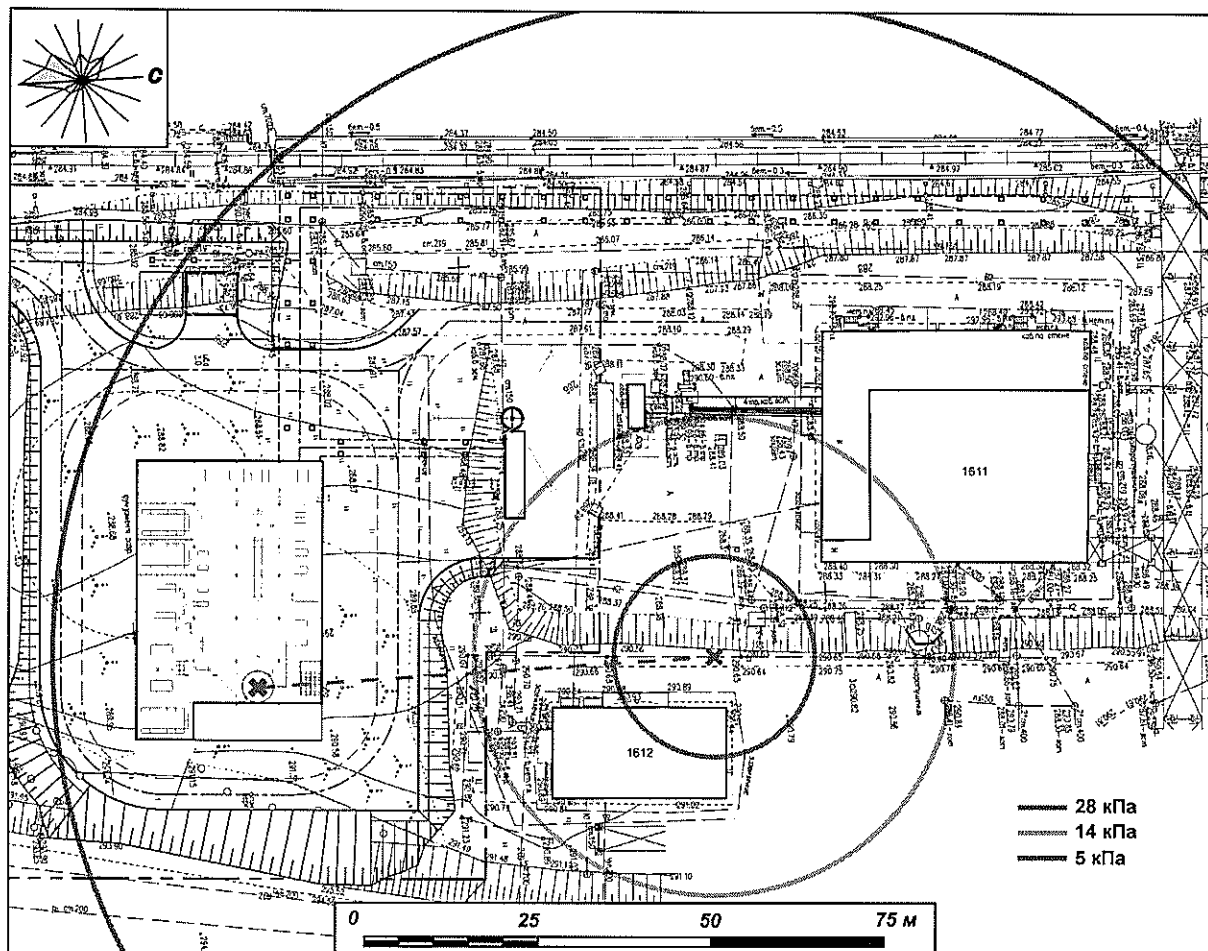


Рисунок 14 – Поражающее действие взрыва при полном разрушении испарителя метанола поз. V-4931 (сценарий С1)

**Краткое описание сценария аварии.**

Указанный сценарий аварии является наиболее опасным с точки зрения гуманитарного ущерба.

Разрушение аппарата сопровождается выбросом в окружающее пространство парогазовой смеси (формальдегид, метанол, водород) с формированием облака ТВС массой 70,1 кг.

Максимально возможная масса во взрывоопасных пределах составляет 22 кг и набирается при дрейфе облака в условиях инверсии (F) и при скорости ветра, равной 1 м/с, на 66-ой секунде с момента начала аварии (центр облака сместится за это время по ветру на 66 м).

Режим взрывного превращения – дефлаграция.

Максимальное развиваемое давление в эпицентре взрыва – 36,9 кПа.

**Вероятность реализации сценария аварии:**  $2,87E-07$  1/год.

**Расчетная методика:** Руководство по безопасности «Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей». Утверждено приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 31.03.2016 г. N

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	Копуч.	Лист	Недок	Подп.	Дата	МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ	Лист
							147

137. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств». Утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 11.03.2013 г. N 96.

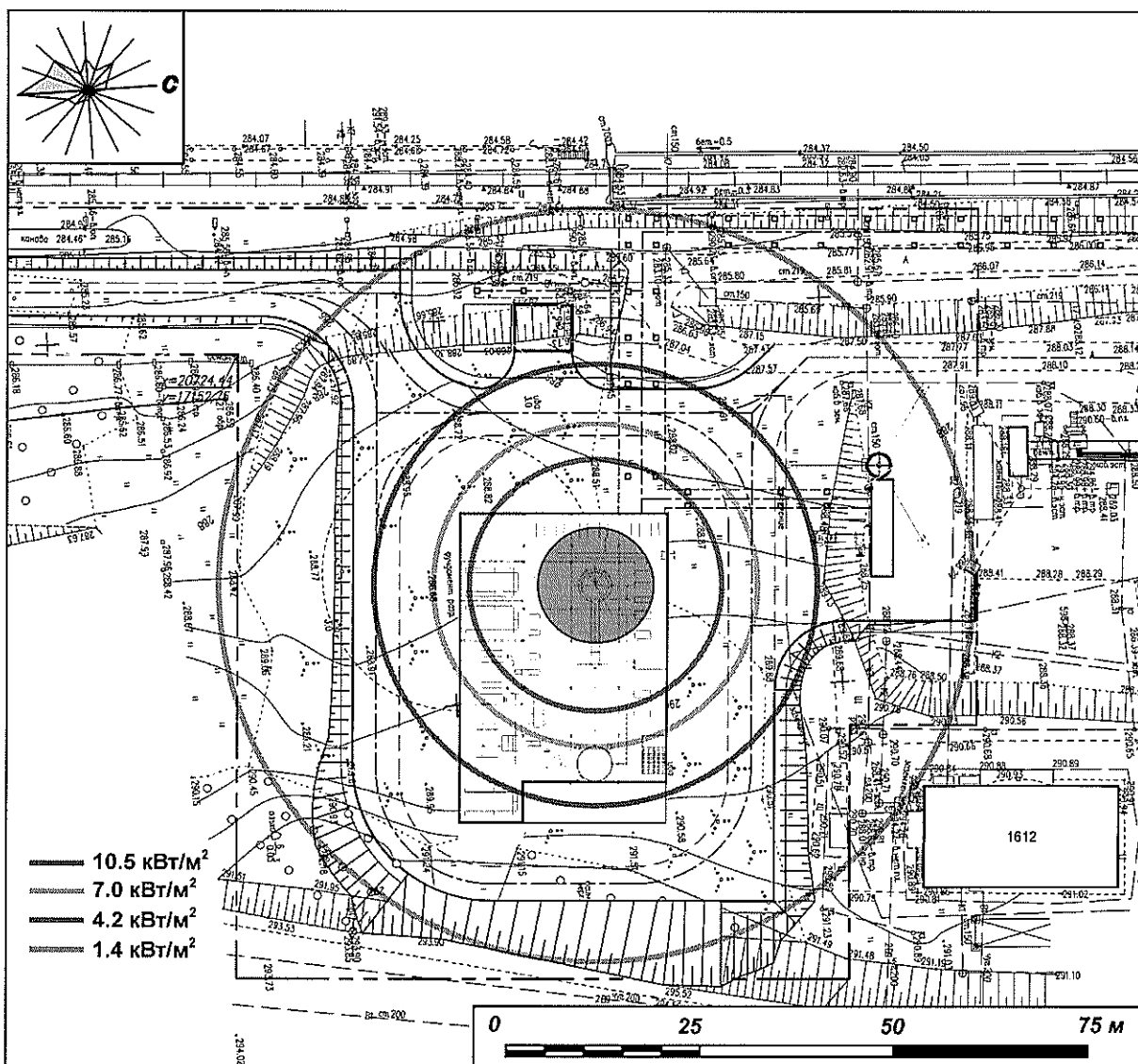


Рисунок 15 – Поражающее действие теплового излучения пожара пролива при полном разрушении абсорбера формалина поз. С-4981 (сценарий С3)

**Краткое описание сценария аварии.**

Указанный сценарий аварии является наиболее опасным с точки зрения экономического ущерба.

Разрушение аппарата сопровождается выбросом в поддон безопасности 62,279 т формалина с образованием пожара пролива площадью 174 м<sup>2</sup>.

Эффективный диаметр пролива – 14,9 м.

Длина пламени – 15 м.

**Вероятность реализации сценария аварии:** 1,96E-09 1/год.

**Расчетная методика:** 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 11.04.2016 г. N 144. Методика определения расчетных

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Изм.	Копуч.	Лист	№ док	Подп.	Дата

МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ

Лист

148



величин пожарного риска на производственных объектах. Утверждена Приказом МЧС РФ №404 от 10.07.09 г.

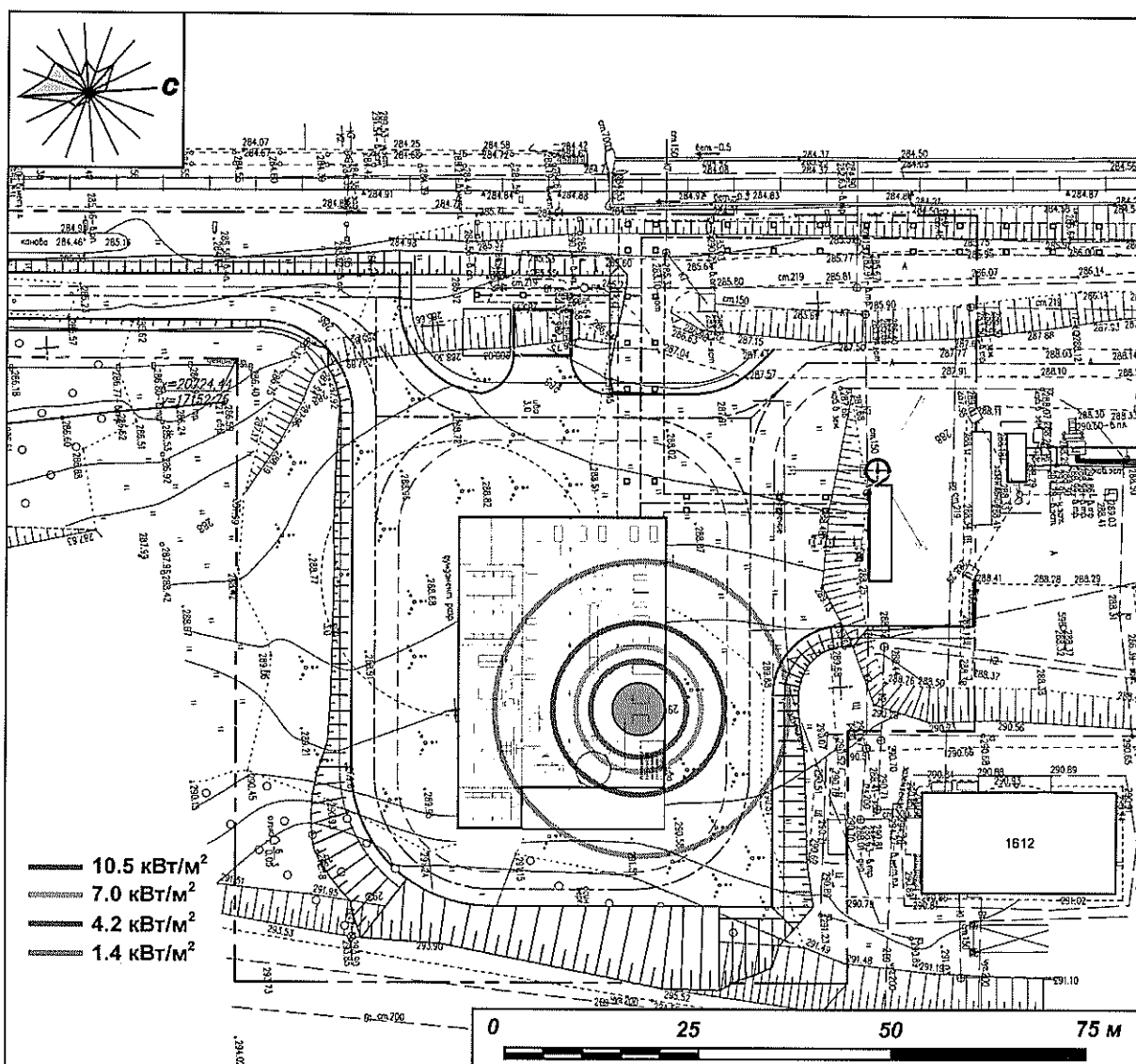


Рисунок 16 – Поражающее действие теплового излучения пожара пролива при разгерметизации насоса метанола поз. Р-4931 (сценарий С16, Ø 5 мм)

**Краткое описание сценария аварии.**

Указанный сценарий аварии является наиболее вероятным.

Разгерметизация насоса сопровождается истечением в поддон безопасности 73,6 кг метанола с образованием пожара пролива площадью 36,8 м<sup>2</sup>.

Эффективный диаметр пролива – 6,8 м.

Длина пламени – 6,1 м.

**Вероятность реализации сценария аварии:** 1,28E-05 1/год.

**Расчетная методика:** 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 11.04.2016 г. N 144. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах. Утверждена Приказом МЧС РФ №404 от 10.07.09 г.

Инд. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	Колуч.	Лист	Подок	Подп.	Дата

МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ

Лист

149

## 5 СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Федеральный закон № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов». Принят Государственной думой 20.06.1997 г., Утвержден Президентом Российской Федерации 21.07.97 г., с Изменениями.
2. Федеральный закон №123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности». Принят Государственной думой 04.07.2008 г., с Изменениями.
3. Федеральные нормы и правила «Общие требования к обоснованию безопасности опасного производственного объекта». Утв. Приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору № 306 от 15.07.2013 г.
4. РД 03-14-2005. Порядок оформления декларации промышленной безопасности опасных производственных объектов и перечень включаемых в нее сведений. Утв. приказом Ростехнадзора 29.11.05 (с изменениями на 15 августа 2017 года).
5. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности химически опасных производственных объектов». Утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 21.11.2013 г. N 559.
6. 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 11.03.2013 г. N 96.
7. 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 11.04.2016 г. N 144.
8. Руководство по безопасности «Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей». Утверждено приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 31.03.2016 г. N 137.
9. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах, утв. Приказом МЧС РФ №404 от 10.07.09 г.
10. Предупреждение крупных аварий. Практическое руководство: Вклад МБТ в международную программу по безопасности в химической промышленности, разработанную при участии ЮНЕП, МБТ и ВОЗ. Под ред. проф. д-ра техн. наук Э. В. Петросянца. Пер. с английского.: Женева, Международное бюро труда, 1992.
11. Теория и практика анализа риска. В. С. Сафонов и др. М. 1996 г.
12. Manual of Industrial Hazard Assessment Techniques. (Методика всемирного банка оценки опасности промышленных производств).
13. Frank P. Lees Loss Prevention in the Process Industries. Butter worth Heinemann. 1996. V1,V2.
14. Pietersen C.M. Consequence of accidental releases of hazardous material. – J. Loss Prev.Proc. Ind, 1990, v.3, p.136-155.
15. Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis. – New-York: AIChE/CCPS, 1989.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №							МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ	Лист
			Изм.	Копуч.	Лист	№док	Подп.	Дата		150

16. Белов П.Г. Системный анализ и моделирование опасных процессов в техно-сфере: Учеб. пособие для студентов высших учебных заведений. – М.: Изда-тельский центр «Академия», 2003. – 512 с.
17. Горский В.Г., Моткин Г.А., Петрунин В.А., Терещенко Г.Ф., Шаталов А.А., Швецо-ва-Шиловская Т.Н. Научно-методические аспекты анализа аварийного риска. — М.: Экономика и информатика, 2002. –260 с.
18. Елохин А. Анализ и управление риском: Теория и практика. М. 2000.
19. Защита объектов народного хозяйства от оружия массового поражения: Спра-вочник / Г.П. Демиденко, Е.П. Кузьменко, П.П. Орлов; Под ред. Г.П. Демиденко. Киев: Высш. шк., 1989. 287 с.
20. ГОСТ Р. 12.3.047-2012. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля.
21. ГОСТ Р 22.10.02-2016. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Менеджмент риска чрезвычайной ситуации. Допустимый риск чрезвычайных ситуаций.
22. ГОСТ 12.1.004-91. ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования.
23. ГОСТ 12.1.010-76. ССБТ. Взрывобезопасность. Общие требования.
24. ГОСТ 12.1.044-89 (ИСО 4589-84) ССБТ. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения.
25. ГОСТ ISO 12100-2013. Безопасность машин. Принципы конструирования. Оценки риска и снижения риска.
26. ГОСТ 27.310-95 Анализ видов, последствий и критичности отказов. Основные по-ложения.
27. ГОСТ Р 51901.11-2005 (МЭК 61882:2001) «Менеджмент риска. Анализ риска тех-нологических систем».
28. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия, термины и опреде-ления.
29. Стратегические риски ЧС: оценка и прогноз. Материалы 8 Всероссийской науч-но-практической конференции по проблемам защиты населения и территорий от ЧС. 15-16 апреля 2003 г. / МЧС России. –М.: Триада, Лтд, 2003.
30. РД 03-496-02. Методические рекомендации по оценке ущерба от аварий на опасных производственных объектах. Утв. Госгортехнадзором России 29.10.02 № 63.
31. Е. Дж. Хенли, Х. Кумамото. Надежность технических систем и оценка риска. Пер. с англ. Под ред. В.С. Сыромятникова.
32. Международный стандарт МЭК 1025, 1990г. Анализ диагностического дерева отказов (FTA).
33. Международный стандарт МЭК 812, 1985г. Техника анализа надежности систем. Метод анализа вида и последствий отказов (FMEA).
34. Справочник по надежности. Пер. с англ. Под ред. Б.Р.Левина. В 3-х томах. М.:Мир, 1969.
35. СТО Газпром 2-2.3-351-2009. «Методические указания по проведению анализа риска для опасных производственных объектов газотранспортных предприятий ОАО «Газпром».
36. ГОСТ 12.1.004-91. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожарная безопасность. Общие требования (с Изменением N 1).
37. Взрывные явления. Оценка и последствия: В 2-х кн. Кн.1. пер. с англ. /Бейкер У. и др.; под ред. Я. Б. Зельдовича, Б. Е. Гельфанда. – М.: Мир, 1986.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №							МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ	Лист
			Изм.	Копуч.	Лист	№ док	Подп.	Дата		151

38. Probabilistic Risk Assessment, Procedures Guide for NASA Managers and Practitioners NASA Headquarters, Washington, DC 20546.
39. Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий. – под редакцией Кочеткова К.Е., Котляревского В.А., Забегаева А.В. -М., АСВ, 1995 -кн.1, 320 с.; 1996 -кн.2, 384 с.; 1998 -кн.3,416 с.; 1998 -кн.4, 208 с.
40. Руководство по безопасности «Методика моделирования распространения аварийных выбросов опасных веществ». Утверждено приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 20 апреля 2015 г. N 158.
41. Методика оценки последствий химических аварий (Методика «Токси». Редакция 2.2). Согласована Госгортехнадзором России. –М.: НТЦ «Промышленная безопасность», 2001.
42. Справочник по теплообменным расчетам. В. Р. Кулинченко. К.: Техника, 1990.
43. Интернет-портал <https://rp5.ru>.
44. Свидетельство о регистрации в Государственном реестре опасных производственных объектов ПАО «Метафракс» № А48-10023.
45. Международный стандарт МЭК 1025, 1990г. Анализ с использованием деревьев отказов.
46. Pasquill F. Atmospheric Diffusion, N.-Y.:J. Wiley, 1974, 429 p.
47. Руководство по безопасности «Методы обоснования взрывоустойчивости зданий и сооружений при взрывах топливно-воздушных смесей на опасных производственных объектах». Утверждено приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 03.06.2016 г. N 217.
48. Пособие по обследованию и проектированию зданий и сооружений, подверженных воздействию взрывных нагрузок. АО «ЦНИИПромзданий». Москва, 2000 г.
49. Меньшиков В.В., Швыряев А.А., Захарова Т.В. Анализ риска при систематическом загрязнении атмосферного воздуха опасными химическими веществами: Учебное пособие. М.: Изд-во Химич. ф-та МГУ, 2003. – 120 с.
50. Декларация промышленной безопасности опасных производственных объектов ПАО «Метафракс».
51. Уведомление о внесении сведений в реестр заключений экспертизы промышленной безопасности №239 от 28.01.2014 г.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №							Лист
			МФ10-05/19-П-АРА.ТЧ						
Изм.	Копуч.	Лист	Недок	Подп.	Дата				