

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

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности
Направление подготовки 20.03.01 Техносферная безопасность
Отделение контроля и диагностики

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Оценка риска возникновения аварийных ситуаций на предприятии нефтеперерабатывающей отрасли

УДК 614.842.6:665.63.012

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-1E41	Сергеев Кирилл Сергеевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Сечин А.А.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Подопригора И.В.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель	Гуляев М.В.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП 20.03.01 Техносферная безопас- ность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ларионова Е.В.	к.х.н.		

Томск – 2019 г.

Результаты освоения образовательной программы по направлению 20.03.01 Техносферная безопасность

Код ре- зуль- тата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВО, СУОС, крите- риев АИОР, и/или заинтересованных сторон
Общие по направлению подготовки		
P1	Способность понимать и анализировать социальные и экономические проблемы и процессы, применять базовые методы гуманитарных, социальных и экономических наук в различных видах профессиональной и социальной деятельности.	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-1, 2, ОПК-2). CDIO Syllabus (2.4, 4.1, 4.2.7, 4.7). Критерий 5 АИОР (п. 2.12)
P2	Демонстрировать понимание сущности и значения информационных технологий в развитии современного общества и для ведения практической инновационной инженерной деятельности в области техносферной безопасности	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (ОПК-1). CDIO Syllabus (3.2). Критерий 5 АИОР (п. 2.5)
P3	Способность эффективно работать самостоятельно, в качестве члена и руководителя интернационального коллектива при решении междисциплинарных инженерных задач с осознанием необходимости интеллектуального, культурного, нравственного, физического и профессионального саморазвития и самосовершенствования	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-3, 5, 6, 7, ОПК-1, ОПК-3, ОПК-5, ПК-8). CDIO Syllabus (2.4, 2.5, 3.1, 3.3, 4.2), Критерий 5 АИОР (п. 2.9, 2.12, 2.14)
P4	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе в целом, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности, в том числе на иностранном языке.	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-4, ОПК-4). CDIO Syllabus (3.2). Критерий 5 АИОР (п. 2.11)
P5	Способность применять основные законы естественнонаучных дисциплин, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования с целью выбора и оптимизации устройств, систем и методов защиты человека и природной среды от опасностей.	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-8, ОПК-1, ПК-5). CDIO Syllabus (1.1, 2.1). Критерий 5 АИОР (п. 2.1, 2.4, 2.6, 2.7, 2.8)
Профиль		
P6	Уметь выбирать, применять, оптимизировать и обслуживать современные системы обеспечения техносферной безопасности на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях, в том числе при реализации инновационных междисциплинарных проектов	Требования ФГОС ВО (ОПК-5, ПК-5, ПК-6, ПК-7). CDIO Syllabus (1.3, 2.1–2.5). Критерий 5 АИОР (п. 2.2, 2.4, 2.4, 2.6, 2.7, 2.8), требованиями проф.стандарта 40.056 Профессиональный стандарт «Специалист по противопожарной профилактике»
P7	Уметь организовать деятельность по обеспечению техносферной безопасности на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателя, в том числе при реализации инновационных междисциплинарных проектов	Требования ФГОС ВО (ПК-9, ПК-10, ПК-11, ПК-12, ОПК-3, 4, 5). CDIO Syllabus (1.3, 2.1–2.5, 3.1) Критерий 5 АИОР (п. 2.6, 2.12), требованиями проф.стандарта 40.056 Профессиональный стандарт «Специалист по противопожарной профилактике»
P8	Уметь оценивать механизм, характер и риск воздействия техносферных опасностей на человека и природную среду	Требования ФГОС ВО (ПК-12, ПК-16, ПК-17). CDIO Syllabus (1.3, 2.1–2.5). Критерий 5 АИОР (п. 2.2–2.8), требованиями проф.стандартов 40.056 «Специалист по противопожарной профилактике», 40.054 «Специалист в области охраны труда»
P9	Применять методы и средства мониторинга техносферных опасностей с составлением прогноза возможного развития ситуации	Требования ФГОС ВО (ПК-12, ПК-14, ПК-15, ПК-17, ПК-18). CDIO Syllabus (1.3, 2.1–2.5). Критерий 5 АИОР (п. 2.2–2.8)

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

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности
 Направление подготовки 20.03.01 Техносферная безопасность
 Отделение контроля и диагностики

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ Е.В. Ларионова
 01.04.2019 г.

**ЗАДАНИЕ
 на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
3-1E41	Сергееву Кириллу Сергеевичу

Тема работы:

Оценка риска возникновения аварийных ситуаций на предприятии нефтеперерабатывающей отрасли	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	24.01.2019 г. №411

Срок сдачи студентом выполненной работы:	30.05.2019 г.
--	---------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объектом исследования является оценка риска возникновения потенциально-возможных аварийных ситуаций на опасном производственном объекте предприятия нефтеперерабатывающего комплекса.</p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке;</i></p>	<p>Обзор литературы; Анализ потенциально-возможных аварийных ситуаций на опасном производственном объекте, методы их локализации и ликвидации; Моделирование аварийной ситуации, расчет возможных взрывоопасных зон и предложение рекомендаций по повышению устойчивости</p>

заключение по работе).	эксплуатации установки.
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	Таблицы, рисунки.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсобережение	Подопригора Игнат Валерьевич
Социальная ответственность	Гуляев Милий Всеволодович
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	01.04.2019 г.
---	---------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Сечин А.А.	К.Т.Н		01.04.2019 г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-1E41	Сергеев Кирилл Сергеевич		01.04.2019 г.

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

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности
 Направление подготовки 20.03.01 Техносферная безопасность
 Уровень образования бакалавриат
 Отделение контроля и диагностики
 Период выполнения весенний семестр 2018/2019 учебного года

Форма представления работы:

бакалаврская работа

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	30.05.2019 г.
--	---------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
15.04.2019 г.	Раздел «Литературный обзор»	20
29.04.2019 г.	Раздел «Расчетная часть»	40
13.05.2019 г.	Разработка разделов «Социальная ответственность» и «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	20
20.05.2019 г.	Оформление и представление ВКР	20

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Сечин А.А.	к.т.н.		01.04.2019

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП 20.03.01 Техносферная безопасность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ларионова Е.В.	к.х.н.		01.04.2019

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСО-
СБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
3-1Е41	Сергееву Кириллу Сергеевичу

Школа	ИШНКБ	Отделение школы (НОЦ)	ОКД
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	20.03.01 Техносферная безопасность

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Оклад руководителя – 35360 руб. Оклад студента – 12740 руб.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Премияльный коэффициент руководителя 30%; Премияльный коэффициент инженера 20%; Доплаты и надбавки руководителя 30%; Доплаты и надбавки инженера 20%; Дополнительной заработной платы 12%; Накладные расходы 16%; Районный коэффициент 30%.
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды - 28%

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Анализ конкурентных технических решений
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Формирование плана и графика разработки: - определение структуры работ; - определение трудоемкости работ; - разработка графика Гантта. Формирование бюджета затрат на научное исследование: - материальные затраты; - заработная плата (основная и дополнительная); - отчисления на социальные цели; - накладные расходы.
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	- Определение эффективности исследования

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценочная карта конкурентных технических решений
2. График Гантта
3. Расчет бюджета затрат НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения социально-гуманитарных наук	Подопригора И.В.	Кандидат экономических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-1Е41	Сергеев К.С.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа 3-1E41	ФИО Сергееву Кириллу Сергеевичу
-------------------------	---

Школа Уровень образова- ния	ИШНКБ Бакалавриат	Отделение школы Направление	ОКД 20.03.01 Техносферная без- опасность
--	-----------------------------	---------------------------------------	---

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования.	Объектом исследования является рабочее место аппаратчика установки УК и РП на центральном пункте управления Площадки производства мономеров.
---	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.	Рассмотреть специальные правовые нормы трудового законодательства; организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.
2. Производственная безопасность 2.1. Анализ потенциально возможных вредных и опасных факторов проектируемой производственной среды. 2.2. Разработка мероприятий по снижению воздействия вредных и опасных факторов	Проанализировать потенциально возможные вредные и опасные факторы, влияющие на аппаратчика в ходе рабочего процесса: <ul style="list-style-type: none"> – повышенный уровень шума на рабочем месте; – повышенная вибрация на рабочем месте; – неудовлетворительная освещенность рабочей зоны; – неудовлетворительный микроклимат; – опасность электропоражения; – взрывопожароопасность.
3. Экологическая безопасность	<ul style="list-style-type: none"> – Анализ отрицательного воздействия результатов производственной и хозяйственной деятельности. – Основные мероприятия по защите окружающей среды.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	<ul style="list-style-type: none"> – Анализ возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель отделения общетехнических дисциплин	Гуляев Милий Всеволодович			

Задание принял к исполнению студент:

Группа 3-1E41	ФИО Сергееву Кириллу Сергеевичу	Подпись	Дата
-------------------------	---	----------------	-------------

Реферат

Выпускная квалификационная работа на тему: «Оценка риска возникновения аварийных ситуаций на предприятии нефтеперерабатывающей отрасли» состоит из текстового документа, выполненного на 109 с., содержит 4 рис., 26 табл., 30 источников, 5 прил.

Ключевые слова: ОПАСНЫЙ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ОБЪЕКТ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС, АВАРИЙНАЯ СИТУАЦИЯ НА НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕМ ПРЕДПРИЯТИИ.

Объектом исследования является один из потенциально-опасных, требующих обязательного декларирования, объектов предприятия нефтехимической отрасли, а именно Площадка производства мономеров. В качестве предмета исследования выбраны – технологический процесс деметанизации пирогаза и установка по компримированию и разделению пирогаза.

Цель работы – провести оценку риска возникновения аварийных ситуаций на опасном производственном объекте предприятия нефтеперерабатывающего комплекса.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Провести анализ потенциально-возможных аварийных ситуаций, которые могут возникнуть на Площадке производства мономеров;
2. Изучить причины их возникновения;
3. Рассмотреть основные методы предотвращения возможных аварий;
4. Смоделировать потенциально-возможную аварийную ситуацию на установке;
5. Рассчитать массу смеси горючих газов, выделившихся в ходе технологического процесса по деметанизации пирогаза через неплотности соединений в штилевую погоду;
6. Выявить зоны возможного термического и барического поражения в результате взрыва образовавшегося облака.

В результате исследования были предложены мероприятия, направленные на предотвращение возможной аварийной ситуации.

Предложенные мероприятия позволят объекту эксплуатироваться на более безопасном уровне.

Степень внедрения: в разработке.

Область применения: Объекты нефте- и газоперерабатывающей отрасли, предусматривающие обращение горючих веществ в своих технологических процессах.

Экономическая эффективность/значимость работы заключается в снижении экономического ущерба предприятия в результате аварийной ситуации и предотвращение возможных расходов на диагностику неполадок установки.

В будущем планируется изучить возможность возникновения такого рода аварийных ситуаций на других установках по эксплуатации взрывоопасных веществ.

Обозначения, сокращения

ОПО – опасный производственный объект;

СУГ – сжиженные углеводородные газы;

ГВС – газо-воздушная смесь;

ГГ – горючие газы;

ПАЗ – система противоаварийной защиты;

ПМЛА – план мероприятий по локализации и ликвидации последствий аварии;

СИЗ – средства индивидуальной защиты;

ВВЗ – возможная взрывоопасная зона;

РСЧС - единая государственная система предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций.

Оглавление

Введение	14
1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР	16
1.1 Характеристика опасного производственного объекта и технологических процессов.....	16
1.2 Статистика аварийных ситуаций на аналогичных объектах	18
1.3 Анализ основных факторов и возможных причин, способствующих возникновению и развитию аварии.....	26
1.3.1 Классификация возможных опасностей на предприятиях нефтеперерабатывающего комплекса	26
1.3.2 Оценка риска возникновения аварий на технологических блоках...	30
1.4 Мероприятия, направленные на снижение риска возникновения аварийных ситуаций на предприятиях нефтеперерабатывающей и нефтехимической отрасли	38
1.4.1 Системы противоаварийной защиты.....	39
1.4.2 Прогнозирование и анализ возможных сценариев возникновения и развития аварии.....	41
1.4.3 Планы мероприятий по локализации и ликвидации последствий аварии	45
1.5 Достаточность количества сил и средств, используемых для локализации и ликвидации последствий аварий на ОПО.....	47
2. РАСЧЕТНАЯ ЧАСТЬ	51
2.1 Краткое описание технологической установки и технологического процесса.....	51
2.2 Характеристика взрывоопасных веществ, обращающихся в установке	52
2.3 Описание метеорологических условий, необходимых для возникновения проектируемой аварийной ситуации.....	53
2.4 Определение массы горючего облака газо-воздушной смеси	54
2.5 Определение состава и параметров облака ГВС	59

2.6	Определение радиусов ударной волны и теплового воздействия образовавшегося облака ГВС	61
2.7	Мероприятия и рекомендации для предотвращения возможной аварийной ситуации	65
3.	ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	68
3.1	Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	68
3.2	Технология QuaD	69
3.3	Планирование научно-исследовательских работ	71
3.3.1	Структура работ в рамках научного исследования	71
3.3.3	Определение трудоемкости выполнения работ	72
3.3.3	Разработка графика проведения научного исследования	73
3.4	Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	75
3.4.1	Расчет материальных затрат НТИ	76
3.4.2	Основная заработная плата исполнителей темы	76
3.4.3	Дополнительная заработная плата научно - производственного персонала	78
3.4.4	Отчисления во внебюджетные фонды	79
3.4.5	Накладные расходы	79
3.4.6	Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	80
3.5	Определение эффективности исследования	80
4.	СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	82
	Введение	82
4.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	83
4.1.1	Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства	83
4.1.2	Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	83

4.2 Производственная безопасность	84
4.2.1 Анализ потенциально возможных вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований.....	84
4.2.2 Разработка мероприятий по снижению воздействия вредных и опасных факторов	85
4.2.3 Шум.....	86
4.2.4 Вибрация.....	87
4.2.5 Обеспечение нормативного микроклимата	88
4.2.6 Обеспечение нормативного освещения	89
4.2.7 Пожаровзрывоопасность.....	90
4.2.8 Электробезопасность	93
4.3 Экологическая безопасность	95
Заключение	99
Список использованной литературы.....	100
Приложение А «Схема материального баланса технологических потоков производства мономеров»	103
Приложение Б «Схема установки УК и РП»	104
Приложение В «Дерево событий при частичной разгерметизации трубопровода, компрессора или аппарата с горючим газом (паром)».....	105
Приложение Г «Схемы образовавшегося облака и областей его барического и термического воздействия после взрыва»	106
Приложение Д «Блок-схема анализа вероятных сценариев возникновения и развития аварии».....	109

Введение

Начиная со второй половины прошлого века в России и ряде других развитых стран было положено начало интенсивному росту строительства предприятий нефтеперерабатывающей и нефтехимической отраслей промышленности и незамедлительное повышение их концентрации. Усложнение технологических процессов и производств, а также высокая плотность опасных производственных объектов повлекли за собой резкое увеличение количества обращающихся на таких объектах легковоспламеняющихся и горючих жидкостей и газов. Как следствие - это привело к ухудшению взрывопожароопасной обстановки и росту числа крупных техногенных аварий. Рассматриваемые в работе объекты нефтеперерабатывающей и нефтехимической отраслей относятся к группе самых высокорисковых. Аварии на таких объектах потенциально способны нанести непоправимый ущерб не только компании, но и превратить регион в зону экономического и экологического бедствия. Современные аварии отличаются катастрофическими масштабами, огромным ущербом для экологии и экономики страны, а также показателями высокой смертности и производственного травматизма.

Любой современный объект экономики, представляющий предприятия нефтеперерабатывающей и нефтехимической отраслей представляет собой сложный комплекс, состоящий из технологических установок, ориентированных на выполнение конкретных технологических процессов и операций. На них перерабатывается различных видов углеводородное сырьё и производятся товарные нефтепродукты в больших количествах. Сырьём, продуктами и полуфабрикатами для оборудования и установок нефтепереработки являются смеси углеводородов, обладающие взрывопожароопасными свойствами. Взрывоопасность технологических установок нефтепереработки определяется не только физико-химическими свойствами углеводородов и их смесей, но также и параметрами технологического процесса.

За последнее время заметно растёт риск аварийности в нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности. Основополагающей про-

блемой обеспечения промышленной безопасности производственных объектов газо- и нефтепереработки является недостаточный темп реконструкции оборудования с истекшим сроком эксплуатации и технологического старения.

Технологический прогресс не стоит на месте, с каждым годом появляется все больше новых технологических процессов и совершенствуются уже действующие. Поэтому вопрос безопасности рабочего персонала, населения и окружающей среды как никогда становится и продолжает быть актуальным. Методы, ресурсы и проводимые мероприятия в области промышленной безопасности и охраны труда, как и инновации в производстве, совершенствуются, но до достижения абсолютных значений все еще очень далеко. В данной работе будут рассмотрены методы и мероприятия по снижению риска возникновения аварийных ситуаций на одном из крупнейших предприятий нефтеперерабатывающей отрасли Российской промышленности и проведен расчет и анализ одного из потенциально опасных возможных сценариев развития аварий.

1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1 Характеристика опасного производственного объекта и технологических процессов

Рассмотренный в работе объект экономики является дочерним предприятием крупнейшего Российского холдинга по переработке нефтепродуктов, а также передовым производителем полимеров – полипропилена и полиэтилена высокого давления.

Производственная структура предприятия включает в себя современный товарно-сырьевой парк, разгрузочно-погрузочный комплекс, предназначенный для работы с крупнотоннажными контейнерами, и систему паллетирования готовой продукции.

На базе предприятия функционирует ремонтно-механический комплекс, который позволяет осуществлять полноценный производственный цикл проведения ремонтных и монтажных работ от поступления материала, изготовления запасных частей до их последующего применения для ремонта технологического оборудования.

Доставка сырья осуществляется по путям РЖД. Базовое сырье (сжиженные газы и бензины) поступают на пиролизные установки по выработке мономеров – этилена и пропилена, которые следуют на полимерные производства.

Основная площадка предприятия находится в 10-12 км севернее областного центра.

С южной стороны к производству примыкает база строительной индустрии, восточнее – Теплоэлектроцентраль. Общая площадь земельного участка промышленной площадки составляет порядка 700 Га, плотность застройки - 17%.

Границы санитарно-защитной зоны (СЗЗ) находятся от территории промышленной площадки по всем направлениям на расстоянии 1000 м.

На предприятии учтено 12 потенциально-опасных производственных объектов:

- 1) Площадка производства полипропилена (II класс опасности);
- 2) Сырьевой склад производства полипропилена (II класс опасности);
- 3) Площадка производства полиэтилена (II класс опасности);
- 4) Товарно-сырьевая база (II класс опасности);
- 5) Площадка установки хранения сырья и готовой продукции производства мономеров (I класс опасности);
- 6) Сеть газопотребления предприятия (III класс опасности);
- 7) Продуктопровод предприятия (III класс опасности);
- 8) Производственная площадка предприятия (IV класс опасности);
- 9) Участок трубопроводов теплосети (IV класс опасности);
- 10) Площадка хранения мазутного топлива (III класс опасности);
- 11) Участок подготовки воды установки теплопароснабжения (III класс опасности);
- 12) Площадка производства мономеров (II класс опасности);

Один из данных объектов мы будем рассматривать в данной работе более подробно, а именно: опасный производственный объект (ОПО) Площадка производства мономеров – этилена и пропилена (установленная мощность – 300 тыс. тонн и 140 тыс. тонн соответственно), полностью обеспечивающее сырьём производство полимеров: полипропилена (мощность - 140 тыс. тонн в год) и полиэтилена высокого давления (мощность - 270 тыс. тонн в год). Объект относится ко II (второму) классу опасности и является одним из наиболее опасных производственных объектов, эксплуатируемых предприятием.

Основные направления деятельности, связанные с эксплуатацией опасного производственного объекта Площадка производства мономеров:

- получение пиролизного газа высокого состава путём высокотемпературного пиролиза бензинов, сжиженных углеводородных газов (СУГ) и рецикловой этановой фракции с последующим извлечением этилена и пропилена на производстве мономеров сопутствующих продуктов (водородной фракции, метановой фракции, бутилен-бутадиеновой фракции, пропановой

фракции, фракции углеводородов C_5 , пиролизного конденсата) из пирогаза с использованием методов неэкотемпературной, среднетемпературной и высокотемпературной ректификации;

- компримирования, последовательного захолаживания и разделения пирогаза на метановую, водородную, этан-этиленовую, пропан-пропиленовую фракции; гидрирования, осушки этан-этиленовой фракции (ЭЭФ) и далее выделения из ЭЭФ этана и товарного этилена; гидрирования пропан-пропиленовой фракции (ППФ) и далее выделения из ППФ пропана и товарного пропилена; дистилляции и гидрирования пироконденсата, получение фракций ЖПП (35-195 °С и 70-210 °С), фракций C_5 и фракций ЖПП (35-210 °С и 35-270 °С) .

Общая численность наибольшей смены на Площадке производства мономеров составляет 233 человека.

Режим работы двухсменный, 12-часовой. Режим работы производства - круглосуточный.

На открытой промышленной площадке производства мономеров постоянного пребывания обслуживающего персонала практически не предусматривается. Большинство рабочих мест распределены по производственным и административно-бытовым корпусам предприятия.

1.2 Статистика аварийных ситуаций на аналогичных объектах

Для объектов нефтехимического и нефтеперерабатывающего комплекса характерны такие аварийные ситуации, как:

- Полное или частичное разрушение технологических установок и аппаратов;
- Пожар пролива;
- Образование токсичных облаков высокой концентрации;
- Взрыв газо-воздушной смеси;
- Иные опасные ситуации.

Среди объектов нефтепереработки и нефтехимии в нашей стране все еще наблюдается высокий показатель аварийности, несмотря на ужесточение законодательной базы в сфере обеспечения промышленной и пожарной опасности. Степень этого показателя связана не только с ненадлежащим качеством технологического оборудования, подверженного механическому и коррозионному износу, но также высоким содержанием в исходном сырье сернистых соединений.

Для применения мероприятий по снижению возможных аварийных ситуаций на объектах нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности, прежде всего, необходимо выявить первопричину (источник) их появления. С этой целью был произведен анализ следующих аварийных ситуаций:

- пожары,
- взрывы,
- выбросы вредных веществ,

случившиеся на предприятиях нефтеперерабатывающей и нефтехимической отрасли по стране в период с 2009 по 2018 гг.

Объекты нефтехимии и нефтепереработки являются наиболее пожароопасными. Высокая степень пожарной опасности этих групп предприятий обусловлена, прежде всего, наличием большого объема опасных веществ и соединений, обращающихся в технологическом процессе. Аварийная разгерметизация технологического оборудования на комплексах по переработке углеводородного сырья потенциально может привести к взрывам и масштабным пожарам. Поэтому крайне важно оценить возможную частоту возникновения чрезвычайной ситуации, которая, в свою очередь, определяется методом аналитического обзора ранее произошедших аварий [1].

Судя по статистике произошедших аварий на нефтеперерабатывающих и нефтехимических комплексах за последние несколько лет, число аварийных ситуаций и пострадавших в них людей заметно снижается, но показатели все еще далеко от идеальных и явно уступают аналогичным показате-

лям предприятий США и Европы. Несмотря на заметные сдвиги в сторону уменьшения общего количества пострадавших в аварийных ситуациях за последние 10 лет, показатели все еще значительно превышают аналогичные показатели развитых стран в этой области.

Ключевыми вероятными сценариями, представляющими опасность для объекта экономики и окружающей среды, являются взрыв газо-воздушной смеси, пожар пролива и аварийная загазованность. Так, за период с 2009 по 2018 г. по стране произошло 126 аварийных ситуаций, в том числе 65 пожаров (51 % от общего количества чрезвычайных происшествий), 46 взрывов (37 %), 15 выбросов опасных веществ (12 %). В таблице 1 представлена подробная статистика аварий, произошедших за 2009-2018 гг. на предприятиях нефтехимической и нефтеперерабатывающей отрасли.

Таблица 1 – Статистика чрезвычайных происшествий за 2009-2018 гг.

Год	Вид и количество чрезвычайных происшествий						Всего
	Пожар	%	Взрыв	%	Выброс	%	
2009	14	64	5	23	3	14	22
2010	6	46	5	38	2	15	13
2011	5	38	6	46	2	15	13
2012	4	25	9	56	3	19	16
2013	1	5	16	80	3	15	20
2014	11	100	0	0	0	0	11
2015	6	100	0	0	0	0	6
2016	9	75	3	25	0	0	12
2017	4	57	1	14	2	29	7
2018	5	83	1	17	0	0	6
Итого	65	51	46	37	15	12	126

Кроме того, ежегодно по всему миру на объектах нефтеперерабатывающего комплекса происходит до 1500 аварий, 4 % которых, судя по статистике, сопровождаются массовой гибелью людей; ежегодный материальный ущерб от произошедших аварий превышает сумму в 100 млн. долл. Аварийность предприятий непрерывно растет [2].

В таблице 2 представлены данные по несчастным случаям со смертельным исходом на объектах нефтеперерабатывающей и нефтехимической отраслей за последние 10 лет.

Таблица 2 – Статистика смертельных случаев в нефтеперерабатывающей и нефтехимической отраслях

Причина поражения	Количество смертельных исходов	%
Термическое воздействие	63	72
Отравление вредными выбросами	4	5
Взрывная волна	10	11
Обрушение	2	2
Падение с высоты	6	7
Разрушение технических устройств	1	1
Прочее	2	2
Всего	88	100

Всего за период с 2009 по 2018 гг. произошло 126 аварийных ситуаций, из которых 98 с летальными исходами (Рисунок 1).

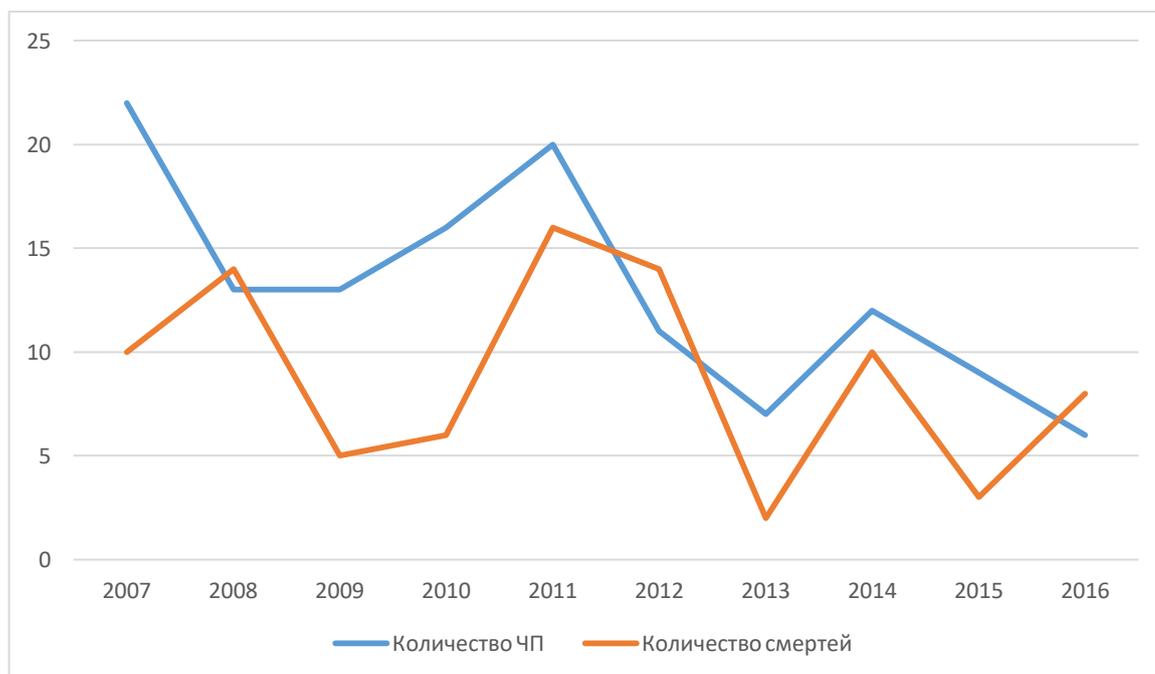


Рисунок 1 – Сравнительная диаграмма количества чрезвычайных происшествий и случаев со смертельным исходом

Основными поражающими факторами в случаях со смертельным исходом оказались ожоги, которые составили 72 %. На втором месте наиболее вероятной причиной гибели людей стало отравление вредными выбросами – 11 %. 6 человек погибли при падении с высоты (7 %), 5 % людей погибли при взрыве, 2 % приходится на обрушения промышленных и административных зданий и технологических конструкций, 1 % смертей составляют разрушение

технологических аппаратов, и 2 % это прочие факторы поражения. Данные представлены ниже в виде диаграммы на Рисунке 2.

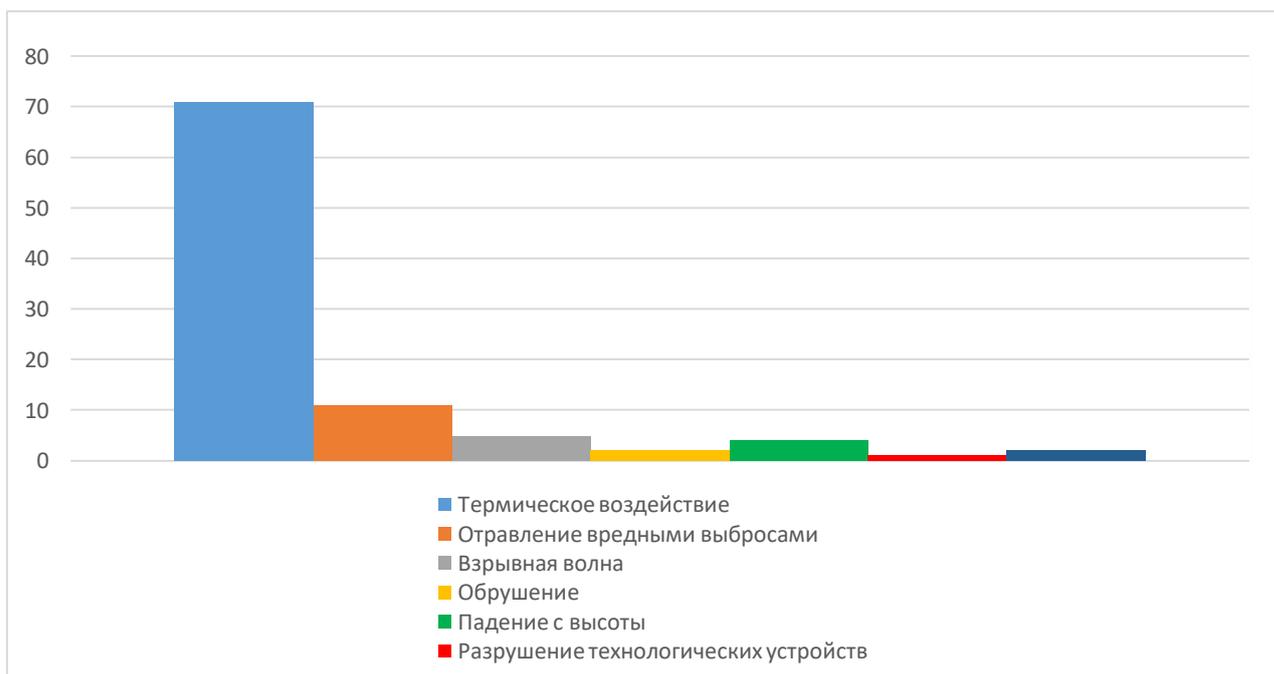


Рисунок 2 – Распределение поражающих факторов аварийных ситуаций

Взрыв топливовоздушной смеси и аварийная загазованность на открытых участках технологических установок происходят после аварийного выхода опасного вещества из аппаратов с последующим его скоплением в атмосфере и с предстоящим контактом с источником зажигания.

Опираясь на анализ причин возникновения чрезвычайных ситуаций, можно сделать вывод, что в преобладающей величине этих случаев фактором возникновения аварий являются нарушения технологического процесса, механический и коррозионный износ оборудования, брак при его ремонте и монтаже, низкая конструктивная прочность. Кроме того, основополагающую роль играет человеческий фактор – нарушение правил промышленной и эксплуатационной безопасности, негативное вмешательство в технологический процесс.

Анализируя результаты расследований причин аварийных ситуаций за последнее время (2014-2018 гг.), можно сделать вывод, что неудовлетворительное состояние технических устройств, узлов и агрегатов является основной причиной. К тому же, немалая часть аварий на объектах нефтеперера-

ботки и нефтехимии происходит из-за нарушения правил промышленной и пожарной безопасности. Еще одной из частых причин возгораний являются образование парогазового облака высокой концентрации взрывоопасного вещества и розлив нефтепродукта вследствие аварийной разгерметизации оборудования. Статистические данные по этим сферам представлены в Таблице 3.

Таблица 3 – Анализ основных причин аварий

Причины аварий	2018	2017	2016	2015	2014
Неудовлетворительное состояние технических устройств, оборудования, аппаратов	67%	43%	71%	50%	45%
Нарушение правил техники безопасности и пожарной безопасности при проведении ремонтных работ	17%	29%	25%	17%	19%
Недостаточно качественные уплотнения на коммуникациях	16%	28%	4%	33%	36%

Для возникновения и развития взрывопожароопасной ситуации необходимо наличие «треугольника горения», в который входят горючее вещество, окислитель и источник зажигания. Присутствие горючего вещества на объектах нефтепереработки и нефтехимии, в основном, связано с утечками из технологических установок, узлов, трубопроводов и аппаратов, которые происходят по таким причинам, как:

- нарушение правил пожарной и промышленной безопасности (33 %);
- некачественный ремонт и монтаж оборудования (22 %);
- коррозионный износ оборудования (8 %);
- отсутствие защиты от статического электричества и грозовых разрядов (3 %);
- нарушение правил ведения технологического режима (1 %);
- износ сальниковых уплотнений, фланцевых соединений и запорной арматуры (1 %);
- иные причины (2 %) [3, 4].

К основному технологическому оборудованию предприятий нефтеперерабатывающего и нефтехимического комплекса можно отнести:

- Колонные аппараты;

- Технологические печи;
- Сосуды, находящиеся под давлением;
- Компрессоры;
- Насосы;
- Резервуары и цистерны для хранения продуктов нефтепереработки и углеводородного сырья;
- Холодильники;
- Сепараторы;
- Технологические трубопроводы; [5-7]

Взрывопожароопасность технологического оборудования и установок в значительной степени зависит от параметров технологического режима, его аппаратного оформления, климатических особенностей, а также от наличия систем противопожарной и аварийной защиты. Следовательно, количество аварий для различных типов установок будет различаться. Ранжирование аварий, произошедших в период с 2009 по 2018 гг. на предприятиях нефтеперерабатывающей и нефтехимической отрасли по стране по видам технологического оборудования приведено в Таблице 4.

Таблица 4 – Статистика аварийных ситуаций по видам технологического оборудования

Оборудование	Количество аварий, %
Технологические трубопроводы	31,2
Насосы	18,9
Ёмкости (сепараторы, реакторы и т.п.)	15,0
Технологические печи	11,4
Колонные аппараты	11,2
Резервуары и резервуарные парки	3,8
Прочее оборудование	8,5

Наличие разветвленной сети технологических трубопроводов, присутствие значительного объёма опасных веществ в технологическом оборудовании и аппаратах, а также высокая плотность застройки и загроможденность делают технологические установки открытого типа гораздо более потенциально подверженными возникновению аварийных ситуаций, нежели закрытые производственные здания [8]. Причины аварийных взрывопожароопасных ситуаций на открытых технологических установках объектов нефтепе-

рерабатывающей и нефтехимической промышленности приведены на рисунке 3.

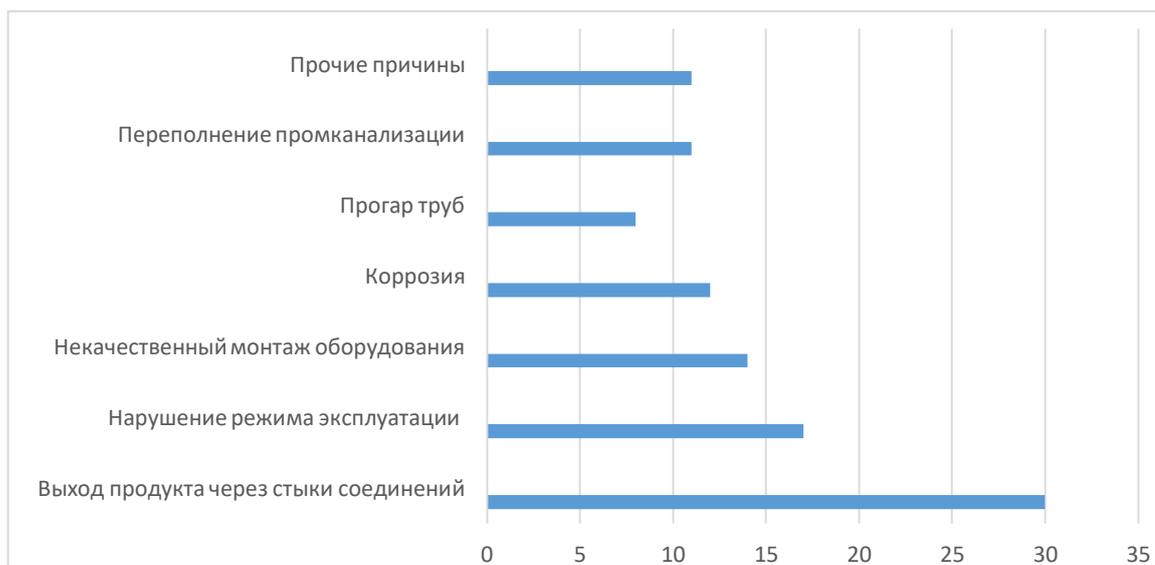


Рисунок 3 – Причины аварий на открытых установках

Итак, за период с 2009 по 2018 гг. по стране произошло 126 аварийных ситуаций на объектах нефтехимического и нефтеперерабатывающего комплекса, в том числе 98 случаев с летальными исходами. Основной причиной произошедших аварий явилось нарушение правил охраны труда и промышленной безопасности (33 % от общего числа аварий). Больше всего аварий было зафиксировано на технологических трубопроводах (31,2 % от общего числа аварий).

Характерными нарушениями требований промышленной безопасности явились:

- Отсутствие систем управления технологическими процессами и систем противоаварийной автоматической защиты (ПАЗ);
- Неудовлетворительная организация и проведение работ по техническому обслуживанию и ремонту технологического оборудования, зданий, сооружений, в том числе работ повышенной опасности;
- Несвоевременное проведение экспертизы промышленной безопасности технических устройств, а также эксплуатация при отклонении регламентированных параметров при ведении технологических процессов;

- Отсутствие аттестации в области промышленной безопасности руководителей и специалистов; неудовлетворительное ведение эксплуатационной документации (после проведения ремонтов и испытаний);
- Неудовлетворительная организация и осуществление производственного контроля за соблюдением требований промышленной безопасности на опасных производственных объектах.

1.3 Анализ основных факторов и возможных причин, способствующих возникновению и развитию аварии

1.3.1 Классификация возможных опасностей на предприятиях нефтеперерабатывающего комплекса

Все возможные опасные события, способные привести к возникновению и развитию аварии условно можно разделить на 3 группы:

- общие эксплуатационные опасности (перебои в подаче сырья, электроэнергии, инертного газа, воды и пара, воздуха для технологических целей и приборов КИПиА);
- опасности, связанные с внешними воздействиями (опасности, связанные с деятельностью соседних производств или объектов (техногенные опасности), с движением транспорта, а также природные опасности, акты саботажа и диверсии);
- специфические эксплуатационные опасности (отказы технологического оборудования, насосов, вентиляторов, средств контроля и управления параметрами технологического процесса, ошибочные действия или бездействие персонала, в том числе утечки из трубопроводов и оборудования) [22].

Общие эксплуатационные опасности

Анализ технологической документации производства показывает, что безошибочные действия при аварийных ситуациях, возникающих при перебоях в подаче электроэнергии, инертного газа, воды, пара, воздуха КИП, при условии исправности систем безопасности (блокировок) и регулирования,

позволяют остановить производство без возникновения аварии. Поведение персонала в таких случаях определяется «Планом мероприятий по локализации и ликвидации аварии (ПМЛА)» и «Инструкцией по аварийной остановке установки при прекращении подачи оборотной воды, сырья, пара, электроэнергии, воздуха КИП» [22].

Опасности, связанные с внешним воздействием природного и техногенного характера

На производстве возможно возникновение аварийных ситуаций от внешних воздействий природного и техногенного характера. К таким воздействиям относят:

- грозовые разряды (возможна аварийная разгерметизация оборудования, возникновение аварийной ситуации, сопровождающейся взрывами, пожарами);
- смерч, ураган и т.п. (возможны разрушения различной степени, в зависимости от силы катаклизма, повреждение и разгерметизация оборудования (особенно колонного) и выброс опасных веществ);
- тепловое воздействие солнечных лучей в течение длительного времени ((только в летний период) возможно повышение давления внутри оборудования и аварийная разгерметизация);
- снежные заносы и температура ниже минус 40 °С (возможны нарушение работы, выход процессов из-под контроля, обрушение кровель, эстакад, разгерметизация оборудования);
- весенние паводки и ливневые дожди (возможны нарушения в работе канализации, размыв фундамента, разгерметизация оборудования и выброс опасных веществ);
- специально спланированная диверсия (возможна аварийная ситуация любого масштаба, в том числе федерального);
- попадание в зону действия поражающих факторов аварий, произошедших на соседних объектах (возможна аварийная разгерметизация оборудования);

Опасности, связанные с движением транспорта, природными явлениями, актами саботажа и диверсиями могут привести к очень серьезным последствиям, вплоть до полного разрушения объекта. Это связано с тем, что они определяются, в основном, мероприятиями организационного и социального характера, оценить которые с приемлемой точностью в настоящее время не предоставляется возможным [22].

Специфические эксплуатационные опасности

Опасности, относящиеся к этой группе, в зависимости от конкретных условий их реализации могут привести к авариям различного вида с самыми различными по своим масштабам последствиями.

На производстве возможно попадание горючего облака внутрь помещения (например, через приточную вентиляцию), что при наличии там электрооборудования во взрывонезащищенном исполнении приведет к взрыву и разрушению помещения.

Горение газопаровоздушного облака может послужить иницирующим импульсом для возникновения пожаров на территории производства.

Пожар пролива создает тепловую нагрузку, которая может привести к травмированию персонала и повреждению оборудования, особенно находящегося в очаге горения. По истечении 10-15 минут воздействия пламени наступает потеря несущей способности маршевых лестниц, выходят из строя узлы управления коренными задвижками, происходит выгорание прокладок и разгерметизация фланцевых соединений, растет давление внутри аппаратов из-за повышения температуры в них и нарушается целостность конструкций аппарата. При этом в зависимости от ряда факторов, проявившихся в начальной стадии (характер разрушения аппарата, площадь разлива продукта, тепловой режим и т.п.) возможно развитие аварии по эффекту «домино» [22].

Наличие на производстве узлов, работающих под сильно отличающимися давлениями, приводит к тому, что существует возможность разрушения аппаратов и трубопроводов в результате физического взрыва, для которого

необходимо возникновение в аппаратах давлений, значительно превышающих расчетные.

Наиболее опасной аварией на установке компримирования и разделения пирогаза может быть авария по сценарию С-К-ГГ-П-В – Полная разгерметизация колонны с горючим газом → выброс горючего газа без мгновенного воспламенения → образование облака ГВС взрывоопасной концентрации + источник зажигания → взрыв облака ГВС → барическое поражение людей, оборудования, зданий и сооружений.

Факторы, способствующие возникновению и развитию аварии:

- Наличие крупногабаритных емкостей создает опасность аварийного выброса большого количества опасных веществ (пропилен, жидкие продукты пиролиза) при аварийной разгерметизации системы;
- Трубопроводные системы являются источником повышенной опасности из-за большого количества сварных соединений, запорной и регулирующей арматуры, жестких условий работы (температура среды, высокое давление) и значительных объемов веществ перемещаемым по ним;
- Коррозионная активность некоторых веществ (особенно при наличии влаги) создает дополнительную опасность разгерметизации системы;
- Ведение технологических процессов при высоких температурах и под высоким давлением создает дополнительную повышенную опасность выброса опасных веществ [22].

Возможные причины аварии:

- Нарушение режимов эксплуатации;
- Физический износ;
- Коррозия;
- Температурные деформации;
- Отказ систем контроля и автоматизации;
- Ошибки персонала;
- Дефекты оборудования, сварных швов, приборов контроля;
- Нарушение правил проведения огневых работ;

- Умышленные действия людей;
- Некачественный ремонт;
- Ошибки при проектировании, строительстве и монтаже (демонтаже);
- Аварии на соседних объектах;
- Опасные природные явления;
- Отказ насосов и компрессоров [21].

Способы и средства локализации и ликвидации аварии:

- 1) Отключение аварийной колонны ближайшей доступной запорной арматурой;
- 2) Аварийное освобождение колонны от продукта – сброс на факел и в дренажную емкость;
- 3) Аварийная остановка узла (установки);
- 4) Оповещение об аварии;
- 5) Вызов спецслужб;
- 6) Использование обслуживающим персоналом СИЗОД;
- 7) Вывод из установки работников сторонних организаций и лиц, не участвующих в ликвидации аварии [21].

1.3.2 Оценка риска возникновения аварий на технологических блоках

Для выбранных опасных событий проводится качественная и количественная оценка возможных последствий.

Рассматриваются следующие аварии:

- взрывы парогазовых облаков на открытом пространстве;
- взрыв паровоздушных смесей в помещении;
- факельное горение струи;
- горение парогазового облака в виде «огненного шара»;
- пожары проливов;
- образование и распространение взрывоопасных облаков.

Оценка количества выбросов опасных веществ

Масса выбросов определяется из следующих предпосылок:

- а) в выбросе участвует все содержимое разрушаемого аппарата (участка трубопровода) с учетом свойств выбрасываемого вещества и разрушаемого оборудования;
- б) происходит одновременно выброс веществ по прямому и обратному потокам к месту разрушения из смежного оборудования в течение времени, необходимого для перекрытия потоков. Продолжительность выброса из трубопроводов определяется временем перекрытия запорной арматуры [20].

При определении интенсивности поступления технологических сред по прямому и обратному потокам к учитывается аппаратное оформление процесса – наличие и тип регулирующей и запорной арматуры на линиях по прямому потоку и наличие обратных (скоростных) клапанов на линиях по обратному потоку. При необходимости проводятся расчеты интенсивности истечения технологических сред с использованием инженерных методов расчета, изложенных в технической литературе [9, 10, 11].

Как правило, для оценки характера возможных последствий определяется масса выброса отдельно по парогазовой фазе (ПГФ) и отдельно по жидкой фазе (ЖФ). Одновременно для рассматриваемых аварийных ситуаций оценивается длительность выброса отдельно по ПГФ и ЖФ.

В зависимости от рассматриваемого вида поражающего фактора аварии, оценка массы опасных веществ, участвующих в его создании проводится следующим образом.

В общем случае, для оборудования, содержащего перегретые, выше температуры кипения, опасные вещества, количество парогазовой фазы (ПГФ) в выбросе принимается равным сумме массы ПГФ, выброшенной из оборудования, массы ПГФ, испарившейся из пролива в течение не более 5 минут. При этом учитывается характер пролива (свободный или ограниченный) [9].

Интенсивность испарения паров q (кг/сек) определяется по формуле:

$$q = 10^{-6} \cdot \eta \cdot \sqrt{m} \cdot P_1 \cdot S, \quad (1)$$

где η – коэффициент, соответствующий скорости воздуха 1 м/с и расчетной температуре;

m – молекулярная масса испаряющегося вещества, кг/моль;

P_1 – давление насыщенных паров вещества при комнатной температуре, КПа;

S – площадь пролива, м².

При определении массы вещества, участвующей в образовании ВВЗ, учитывается масса ПГФ, выброшенная из оборудования и масса ПГФ, испарившаяся из пролива в течение 5 минут. При определении массы вещества, участвующей во взрыве, принимается, что она равна 0.1 от массы ПГФ, участвующей в образовании ВВЗ.

При оценке количества испарившейся жидкости предполагается, что выброс происходит в сухую, ровную забетонированную поверхность при наиболее неблагоприятных погодных условиях (скорость ветра 1 м/с, температура воздуха 36 °С).

Масса вещества, участвующая во взрыве в помещении, принимается равной массе паров стехиометрической концентрации в его свободном объеме.

При определении массы вещества, участвующей в пожаре пролива принимается, что она равна массе выброса [9].

Взрывы газовых и парогазовых облаков в открытом пространстве

Для расчета параметров взрывных волн при детонации облаков используются данные по обработке экспериментальных результатов взрывов газовых облаков, полученных различными авторами [12].

$$\Delta P = \frac{80,8}{R} + \frac{222}{R^2} + \frac{121}{R^3}, \quad (2)$$

где ΔP – избыточное давление во фронте ударной волны, кПа;

R – безразмерное расстояние от эпицентра взрыва до заданной точки, определяемое по формуле:

$$R = \frac{r}{C_m^{1/3}}, \quad (3)$$

где r – расстояние от эпицентра взрыва до заданной точки, м;

C_m – тротильный эквивалент, кг, определяемый по формуле:

$$C_m = m \cdot \frac{q_1}{q_m}, \quad (4)$$

где m – масса вещества, участвующая во взрыве, кг;

q_1 и q_m – удельная теплота сгорания горючего компонента парогазовой среды и удельная энергия взрыва тротила, кДж/кг.

При оценке величины m принимается, что она, как правило, равно 0,1 от массы выброса парогазовой фазы ($M_{\text{ПГФ}}$).

По известному давлению во фронте ударной волны определяется степень поражения людей ударными волнами. Предельные параметры поражения людей берутся из [13] и приводятся в Таблице 5.

Таблица 5 – Поражение людей ударной волной

Степень травмирования	Значение избыточного давления на фронте ударной волны
Сильные травмы с частым смертельным исходом	>100
Сильная контузия всего организма, повреждение внутренних органов и мозга, тяжелые переломы конечностей с возможным смертельным исходом	100-60
Серьезные контузии, повреждение органов слуха, ушибы и вывихи конечностей	60-40
Легкая общая контузия организма, временное повреждение слуха, ушибы и вывихи конечностей	40-20

Возможность разрушения объектов различного назначения и конструкций при воздействии на них ударных волн различной интенсивности определяется по их устойчивости к создаваемым нагрузкам из работы [14], частичная выборка из которых приведена в Таблице 6.

Таблица 6 – Степень разрушения элементов объекта при различных избыточных давлениях (кПа) в ударной волне

Элементы объекта	Разрушения			
	слабое	среднее	сильное	полное
<i>Производственные, административные здания и сооружения</i>				
Здания из сборного железобетона	10-20	20-30	-	30-60
Кирпичные бескаркасные производственно-вспомогательные здания с перекрытием из железобетонных сборных конструкций	10-20	20-35	35-45	45-60
Складские кирпичные помещения	10-20	20-30	30-40	40-50
Административные многоэтажные здания с металлическим или железобетонным каркасом	20-30	30-40	40-50	50-60
Кирпичные малоэтажные здания (1-2 этажа)	8-15	15-20	25-35	35-45
Остекление обычное	0,5-1	1-1,5	1,5-3	-
<i>Некоторые виды оборудования</i>				
Открытые распределительные устройства	15-25	25-35	-	-
Контрольно-измерительная аппаратура	5-10	10-20	20-30	-
<i>Коммунально-энергетические сооружения и сети</i>				
Газгольдеры и наземные резервуары для ТСМ	15-20	20-30	30-40	40
Наземные металлические резервуары и емкости	30-40	40-70	70-90	90
Трансформаторные подстанции закрытого типа	30-40	40-60	60-70	70-80
Трубопроводы на эстакадах	20-30	30-40	40-50	-
<i>Средства транспорта</i>				
Легковые автомобили	10-20	20-30	30-50	50
Автобусы и спецтехника	15-20	20-45	45-55	60-80
Подвижной ж/д состав	30-40	40-80	80-100	100-200

Взрыв парогазовых смесей с воздухом внутри помещения

Для оценки параметров взрывных волн при взрывах в помещениях (в оборудовании) используются данные по обработке экспериментальных результатов взрывов газовых облаков.

При этом принимается, что во взрыве участвует масса опасного вещества m на условиях:

$$m = m_2 \quad \text{при } m_2 < m_{2.cm}$$

$$m = m_{2.cm} \quad \text{при } m_2 \geq m_{2.cm}, \text{ где}$$

m_2 – содержание паров продукта в свободном объеме помещения (в оборудовании);

$m_{2.cm}$ = стехиометрическое содержание паров в свободной объеме помещения (в оборудовании).

Для вычисленных параметров ударной волны возможность разрушения объектов различного назначения и конструкций определяется по их устойчивости к создаваемым нагрузкам по [13]. Предельные параметры для возможности поражения людей при взрывах определены так же из [13].

Горение (пожар) пролива

Оценка интенсивности теплового излучения, времени горения, и высоты пламени пожара пролива проводится в соответствии с методиками, описанными в [14,15].

Из этих же работ берутся и предельно допустимые интенсивности теплового излучения.

Горение парогазового облака в виде «огненного шара»

Оценка интенсивности теплового излучения и времени существования «огненного шара» проводится в соответствии с методикой, описанной в [14]. За массу вещества, участвующего в образовании огненного шара, принимается сумма массы ПГФ, выброшенной из оборудования и массы ПГФ, образовавшейся из-за вскипания перегретой жидкости. Предельно допустимые дозы теплового излучения при воздействии на человека, а также предельные параметры для зажигания различных материалов берутся из [14].

Формирование возможных взрывоопасных зон (ВВЗ)

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

В зависимости от конкретных условий возможно образование ВВЗ различных типов:

- стационарные зоны с практически постоянными размерами, образующиеся при длительном испарении горючих веществ из проливов или при длительном истечении паров или газов с постоянной скоростью;
- нестационарные зоны, образующиеся при мгновенном «залповом» выбросе парогазовой фазы из оборудования и характеризующиеся дрейфом взрывоопасных облаков;
- зоны, образованные комбинацией первых двух типов.

На практике время формирования ВВЗ ограничено временем встречи облака горючих газов или паров с источником зажигания. Если источник зажигания появляется на ранней стадии формирования облака, то опасность его характеризуется ранее рассмотренными явлениями: детонационным сгоранием и огненным шаром, для которых возможна количественная оценка последствий.

На более поздних этапах развития облака, когда снижается первоначальная турбулентность облака и происходит его размывание за счет атмосферных процессов, более вероятными становятся режимы сгорания без формирования сильных ударных волн. При этом возможно поражение людей, находящихся непосредственно в ВВЗ, 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 ВВЗ 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 ВВЗ чревато опасностью воспламенения парогазовых выбросов на значительном расстоянии от места первоначального выброса.

Характеристики ВВЗ определяются расчетным путем по моделям рассеяния нейтрального газа (без учета силы тяжести), описанным в [16].

Оценки проводятся для следующих условий: инверсия, лето, наземный выброс, скорость ветра – 1 м/с, ландшафт – индустриальный район с большими препятствиями.

Для залповых выбросов горючих веществ рассматривается рассеяние массы опасного вещества, перешедшего в атмосферу за время, не превышающее 5 минут. При этом определяются характеристики дрейфующего нестационарного облака: «длина следа» облака на земле в направлении ветра, длительность существования облака.

Для аварий с непрерывным поступлением опасных веществ в атмосферу в течение продолжительного пролива (испарение пролива, истечение газов) размеры взрывоопасной зоны определяются не столько массой выброшенного в атмосферу вещества, сколько интенсивностью выброса и его продолжительностью. Для непрерывного поступления вещества в атмосферу используется модель с точечным источником заданной интенсивности. При этом определяются характеристики стационарного облака: длина облака, количество опасного вещества в той части облака, где его концентрация превышает НКПР. За массу вещества, участвующего в аварии, принимается количество опасного вещества в той части облака, где его концентрация превышает НКПР [22].

Для аварий смешанного типа и аварий с существенно нестационарным характером выброса (например, истечение газа в течение времени, недостаточного для установления стационарного облака) используется, как правило, консервативный подход: такой выброс рассматривается, как мгновенный.

Определение вероятности возникновения и развития аварии

Для событий, выделенных в процессе исследования опасности, определяется вероятность их возникновения с использованием метода «деревьев отказов» [17]. При этом отказы отдельных видов оборудования, приборов и устройств и/или их надежность определяются в соответствии с [14, 18, 19], а также при помощи научно-технической и справочной литературы [20, 21]. В «Расчетно-пояснительной записке к плану мероприятий по локализации и

ликвидации аварийных ситуаций» приведены значения вероятности, соответствующие среднему значению доверительного интервала показателей эксплуатационной надежности.

Для определения условной вероятности P того или иного исхода в «дереве событий» на каждом этапе строится соответствующее «дерево событий».

«Дерево отказов» состоит из сочетаний негативных исходных событий, ведущих к возникновению конечного события – опасных ситуаций или аварий в системе, устанавливаемых с помощью причинно-следственных связей. События, составляющие «дерево отказов» и отдельные его ветви, соединяются между собой логическими знаками [22].

В «деревьях отказов» присутствуют следующие события:

- 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 событий;
- 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 событий при выполнении условий, связанных с отказами или несрабатыванием систем паровой защиты и т.д.).

«Дерево отказов» представляется в графическом виде. Расчет вероятности аварии выполняется поэтапно – снизу-вверх, по каждой группе событий [17].

1.4 Мероприятия, направленные на снижение риска возникновения аварийных ситуаций на предприятиях нефтеперерабатывающей и нефтехимической отрасли

Объекты нефтепереработки и нефтехимии относятся к категории

опасных производственных объектов (ОПО). Аварии на таких объектах потенциально способны нанести непоправимый ущерб не только компании, но и превратить регион в зону экономического и экологического бедствия. Соответственно, для предотвращения возможного возникновения аварийной ситуации применяется ряд мероприятий и комплексов, направленных на решение вопросов безопасности.

1.4.1 Системы противоаварийной защиты

Ведущую роль в обеспечении безопасности нефтеперерабатывающих комплексов отводят системам противоаварийной защиты (ПАЗ), дающим возможность проводить регулярный мониторинг наиболее значимых и уязвимых зон объекта, а в случае возникновения критической ситуации – предпринимать необходимые действия для предотвращения возможных последствий.

Изначально, эти системы выполняли функции защитных блокировок, которые, при выходе параметров технологического процесса за критические значения, обеспечивали его перевод в стадию «безопасного протекания». Как правило, функционал сводился к остановке технологического процесса.

Необходимость применения систем ПАЗ устанавливается «Общими правилами взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств», утвержденных приказом Ростехнадзора №96 от 11.03.2013 (п. 3.10, п. 3.12, п. 3.20, п. 6.3, п. 6.2).

Как мы уже выяснили, целью систем ПАЗ является предупреждение самой возможности возникновения аварии при несанкционированном переходе рабочих параметров технологического процесса к критическим показателям. Потенциально, при возникновении нештатной ситуации, системы обеспечивают защиту не только оборудования и аппаратуры от возможных повреждений, но и рабочий персонал и, конечно, окружающую среду, а также не позволяют ситуации нештатной перейти на уровень аварийной.

На сегодняшний день, функциональный потенциал этих систем из элементарного аварийного останова развился в широчайший спектр возможностей, применяемых в любых областях промышленности и инженерной практики.

Функции современных систем противоаварийной защиты:

- Автоматическое измерение технологических переменных, необходимых для безопасного управления технологическим процессом;
- Своевременное обнаружение потенциально опасных изменений параметров состояния объекта и системы его автоматизации;
- Автоматическая предаварийная сигнализация (сообщения диспетчеру, местная и пультовая индикация);
- Автоматическое срабатывание средств ПАЗ, прекращающих развитие нештатной ситуации (останов насосов, компрессоров, конвейеров, шнеков, открытие/закрытие отсекателей, задвижек и др.);
- Процедуры контролируемого последовательного останова процессов, аппаратуры и оборудования, для которых единовременный останов всех систем приведет к аварии;
- Алгоритмы пусковых и предпусковых операций с проверкой выполнения необходимых для следующего шага условий;
- Дистанционное управление средствами ПАЗ дистанционно с пульта, если это предусмотрено технологическим регламентом;
- Контроль действий рабочего персонала и блокировка заведомо ошибочных операций, способных привести к аварийной ситуации («защита от дурака»);
- Регулярная самодиагностика системы;
- Проверка внешних электрических цепей и технических средств, используемых системой;
- Проверка срабатывания средств ПАЗ по сигналам из электросхем, от выключателей, от реле и др., информирование о сбое в случае невозможности выполнения отданной команды;

- Введение деблокировочных ключей для пуска процесса (технологические деблоки) и для обслуживания (сервисные деблоки), автоматизированный сброс ключей (взведение блокировок) по выходу процесса на необходимый режим работы или по иным заданным условиям;
- Непрерывный автоматический учет алгоритма событий (SOE), влияющих на обеспечение безопасности технологического процесса, включая потенциально опасные изменения считываемых переменных, выходные сигналы системы, команды рабочего персонала, изменения состояния ключей и диагностические сообщения; обеспечение высокого разрешения по таймингу с целью определения причины возможной нештатной ситуации;
- Автоматическое включение резервного оборудования в тех случаях, когда они определены технологическим регламентом производства;
- Непрерывное считывание актуальной информации от автоматических средств газового анализа на объекте; включение вентиляционных систем, водяных завес и иных средств предотвращения развития аварии, если это необходимо;
- Защита от несанкционированного доступа;

1.4.2 Прогнозирование и анализ возможных сценариев возникновения и развития аварии

Источником (местом) возникновения аварии на ОПО может служить любое используемое в технологическом процессе оборудование с опасным веществом.

Под сценарием развития аварии понимается последовательность отдельных логически связанных событий, обусловленных конкретным инициирующим событием, приводящим к конкретным опасным последствиям. Для построения такой последовательности необходимо провести описание следующих событий: фазы инициирования аварии, инициирующего события аварии, аварийного процесса и чрезвычайной ситуации; потерь при аварии [26].

Фаза инициирования аварии – это период времени, в течение которого происходит накопление отказов оборудования (например, накопление скрытых дефектов, появление усталостных трещин, раковин, неисправность предохранительных устройств, низкое качество проводимых ремонтных работ), отклонений от технологического регламента (например, скачкообразное повышение давления, возникновение неконтролируемых химических реакций), ошибок персонала (например, нарушение правил безопасной эксплуатации) и внешних воздействий (например, отключение электроэнергии, механическое воздействие), совокупность которых приводит к возникновению инициирующего события аварии [24].

Иницирующее событие аварии состоит в разгерметизации системы хранения и/или переработки, отпуска опасных веществ.

Аварийный процесс – процесс, при котором сырье, промежуточные продукты, продукция предприятия и отходы производства, установленное на производственной площадке оборудование вовлекаются в результате возникновения инициирующего события аварии в не предусматриваемые технологическим регламентом процессы (прежде всего физико-химические), взрывы, пожары, токсические выбросы, разливы и т.д.; создают поражающие факторы ударные, осколочные, тепловые и токсические нагрузки для персонала объекта, населения и окружающей среды, а также для самого промышленного предприятия [24].

Каждая аварийная ситуация может иметь несколько стадий развития, при сочетании определенных условий может быть приостановлена, перейти в следующую стадию развития или на более высокий уровень.

Каждая авария, также, может иметь несколько стадий развития и при определенных условиях может быть приостановлена или перейти на более высокий уровень.

Для каждой стадии развития устанавливается соответствующий уровень («А», «Б», «В»).

- На уровне «А» авария характеризуется её развитием в пределах одного

опасного производственного объекта или его составляющей.

- На уровне «Б» авария характеризуется её выходом за пределы опасного производственного объекта или его составляющем и развитием её в пределах границ предприятия.

- На уровне «В» авария характеризуется развитием и выходом её поражающих факторов за пределы границ предприятия. Аварии уровня «В» не рассматриваются в планах мероприятий по ликвидации и локализации аварий предприятия.

В Приложении Д приведена блок-схема анализа вероятных сценариев возникновения и развития аварий на рассматриваемом объекте.

Характер возникающих на объекте аварий с точки зрения возможности их развития, связан с выбросами из технологического оборудования опасных веществ, в конечном счете определяется их физическими свойствами и количествами.

С целью анализа различных сценариев, отражающих как наиболее вероятные, так и наиболее опасные события на декларируемом объекте, рассмотрены последствия аварий как с частичной, так и с полной разгерметизацией оборудования.

В соответствии с принятой МЧС РФ концепцией безопасности населения и производственного персонала максимальная гипотетическая авария (МГА) сопровождается [26]:

- полным аварийным раскрытием наиболее крупного оборудования технологической установки;
- разлитием на подстилающую поверхность или выбросом в атмосферу всего содержимого разрушенного оборудования.

На составляющих объекта возможны типовые сценарии развития аварий для следующих групп оборудования:

1. Ёмкостное оборудование (в т.ч. смесители, фильтры, отстойники и т.д.);
2. Сепараторы;

3. Колонны (в т.ч. реакторы);
4. Печи;
5. Теплообменное оборудование (холодильники, подогреватели, рибойлеры и т.д.);
6. Насосы;
7. Подземные ёмкости;
8. Компрессоры.

Исходя из этих предпосылок и, принимая во внимание результаты анализа, а также Руководство по безопасности «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах», утвержденное приказом Ростехнадзора от 11.04.2016 № 144, приведем несколько примеров возможных сценариев развития аварии на рассматриваемом ОПО Площадка производства мономеров:

- Полная (частичная) разгерметизация теплообменника с горючим газом (ЛВЖ) → выброс горючего газа (ЛВЖ) без мгновенного воспламенения → образование облака ГВС (ТВС) взрывоопасной концентрации + источник зажигания → взрыв облака ГВС (ТВС) → барическое (термическое) поражение людей, оборудования, зданий и сооружений;
- Полная (частичная) разгерметизация теплообменника с горючим газом (ЛВЖ) → выброс горючего газа (ЛВЖ) без мгновенного воспламенения → образование облака ГВС (ТВС) взрывоопасной концентрации → экологическое загрязнение;
- Полная (частичная) разгерметизация колонны с горючим газом (ЛВЖ) → выброс горючего газа (ЛВЖ) без мгновенного воспламенения → образование облака ГВС (ТВС) взрывоопасной концентрации + источник зажигания → взрыв облака ГВС (ТВС) → барическое (термическое) поражение людей, оборудования, зданий и сооружений;
- Взрыв внутри колонны с горючим газом (ЛВЖ) → образование «огненного шара» → барическое и термическое поражение людей, повреждение соседнего оборудования;

И так далее, пока не будут проработаны и описаны все возможные сценарии развития аварийных ситуаций касательно каждого вида оборудования на производстве, несущего потенциальную опасность.

Каждому отдельному сценарию присваивается уникальный код, который формируется из номера блока, обозначения оборудования (например, Е – емкостное оборудование), обозначения опасного вещества (например, ГГ – горючие газы), характера разгерметизации оборудования (П – полная, Ч – частичная), обозначения стадии развития аварии (например, ПП – пожар пролива). Пример кода аварии выглядит так: «С – К – ЛВЖ – Ч – П». Все возможные коды группируются и хранятся в проектной документации отдела промышленной безопасности и блока производства [24].

Масса опасного вещества, участвующего в аварии, складывается из массы опасного вещества, находящегося в аварийном оборудовании и массы опасного вещества, поступающей от смежного оборудования за время перекрытия потока.

Поступление опасного вещества от смежного оборудования принято, как максимальный поток в течение времени, необходимого для отключения смежного оборудования: при наличии автоматической отсечной арматуры – времени срабатывания ПАЗ, при отключении ручной запорной арматуры на границе блока – 300 с (5 мин.).

Для каждой установки аналогичным образом составляется таблица, в которой рассчитывается и учитывается количество опасного вещества, участвующего в аварии и создании поражающих факторов. Далее происходит расчет вероятных зон действия конкретных поражающих факторов для конкретного сценария аварии. Данные заносятся в таблицу и хранятся в проектной документации производства и отдела промбезопасности [22].

1.4.3 Планы мероприятий по локализации и ликвидации последствий аварии

В целях обеспечения готовности к действиям по локализации и лик-

видации последствий аварии организация, эксплуатирующая опасный производственный объект, подлежащий обязательному декларированию, обязана планировать и осуществлять мероприятия по локализации и ликвидации последствий аварий на опасном производственном объекте [23]. Это требование крайне актуально для таких ОПО, как предприятия нефтеперерабатывающей и нефтехимической отрасли.

Объекты нефтеперерабатывающего и нефтехимического комплекса, в технологических процессах которых предусмотрено обращение большого количества опасных веществ, определенных классификацией Федерального закона №116, не могут иметь полную защиту от возникновения чрезвычайных ситуаций, связанных с выбросами токсичных веществ в различных агрегатных состояниях, сгоранием и возгоранием паровых облаков, а также взрывами. С целью минимизации потенциального ущерба на потенциально опасном объекте экономики должен быть разработан план мероприятий по локализации и ликвидации аварийных ситуаций (ПМЛА). Общие требования к составу и содержанию ПМЛА определены Федеральным законодательством и постановлениями Ростехнадзора, МЧС и Правительства РФ, а конкретно:

- Статьей 10 Федерального закона «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 21.07.1997 № 116-ФЗ;
- Постановлением Правительства РФ от 26.08.2013 № 730 «Об утверждении положения о разработке планов мероприятий по локализации и ликвидации последствий аварий на опасных производственных объектах».

ПМЛА включает:

1. Прогнозирование и поэтапный анализ сценариев развития аварийных ситуаций;
2. Оценку достаточности планируемых или принятых мер, противостоящих возникновению и развитию аварийных ситуаций;
3. Анализ действий личного состава (персонала) и аварийно-спасательных служб и формирований по локализации и ликвидации аварийных ситуаций на надлежащих стадиях их развития.

Основной сложностью при разработке алгоритма действий персонала и аварийно-спасательных формирований является определение сценариев наиболее опасных аварий, т.к. действия личного состава при локализации и ликвидации последствий аварий должны быть отработаны с максимальной возможной четкостью. Определение наиболее опасных сценариев развития аварий представляет собой трудновыполнимую объемную задачу вследствие значительного количества технологического оборудования, находящегося на объектах нефтепереработки и нефтехимии (сотни аппаратов, узлов и агрегатов), а также обширного ассортимента опасных веществ, обращающихся в установках (сотни наименований и соединений) [24].

Анализ результатов, полученных при разработке последовательности действий персонала в аварийной ситуации делает возможным уделить основное внимание предупреждению наиболее опасных аварий на ранних этапах их развития, когда правильные и своевременные действия персонала могут локализовать аварию и не дать ей выйти на следующий уровень, например, за пределы опасного производственного объекта [24].

1.5 Достаточность количества сил и средств, используемых для локализации и ликвидации последствий аварий на ОПО

Для определения достаточности количества сил и средств, используемых для локализации и ликвидации последствий аварий на ОПО необходимо учесть результаты расчета зон воздействия поражающих факторов для наиболее опасного сценария развития аварии.

При реализации наиболее опасных по своим последствиям сценариев развития аварий, зоны поражения не выйдут за пределы предприятия.

В соответствии с [25] авария на рассматриваемом ОПО может классифицироваться, как ЧС определенного уровня и в своем развитии может переходить с одного уровня на другой. Координацию действий, привлекаемых к ликвидации аварии сил, а также деятельности органов управления РСЧС на каждом из уровней осуществляет координирующий орган единой государ-

ственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (РСЧС),

В целях концентрации усилий по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций, координации деятельности всех служб потенциально опасных объектов производственного и социального значения, во исполнение [26] на рассматриваемом объекте экономики специальным приказом создана комиссия по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций и обеспечению пожарной безопасности (КЧС и ПБ), утверждено специальное положение.

В соответствии с требованием статьи 10 [27], а также в соответствии с подпунктом р) пункта 5 «Положения о лицензировании эксплуатации взрывопожароопасных и химически опасных производственных объектов I, II и III классов опасности», утвержденного постановлением Правительства РФ от 10.06.2013 № 492, организация, эксплуатирующая ОПО, обязана заключать с профессиональными аварийно-спасательными службами или с аварийно-спасательными формированиями договоры на обслуживание, а в случаях, предусмотренных настоящим Федеральным законом, другими федеральными законами и принимаемыми в соответствии с ними иными нормативными правовыми актами Российской Федерации, создавать собственные профессиональные аварийно-спасательные службы или профессиональные аварийно-спасательные формирования, а также нештатные аварийно-спасательные формирования из числа работников.

Обеспечение безопасности на объектах рассматриваемого в работе предприятия осуществляется подразделениями квалифицированной подрядной организации в области обеспечения безопасности и укомплектовано оборудованием согласно табеля технического оснащения.

Организация аттестована на право ведения следующих видов спасательных работ:

- газоспасательные работы (в том числе работы по локализации (ликвидации) аварийных разливов нефти и нефтепродуктов на суше и на внутренних водах).

Из числа работников предприятия сформировано и аттестовано в установленном порядке на газоспасательные работы нештатное аварийно-спасательное формирование (НАСФ).

Работы по обеспечению пожарной безопасности объектов предприятия выполняются пожарной частью, имеющей лицензию на осуществление деятельности по тушению пожаров в населенных пунктах, на производственных объектах инфраструктуры, по тушению лесных пожаров. ПЧ укомплектована и оснащена всем необходимым для обеспечения пожарной безопасности оборудованием согласно перечню оснащения.

По сигналу об аварии, переданному ответственным за оповещение по прямой телефонной связи во все производственные помещения предприятия и продублированного включением сирен на территории предприятия, рабочие и служащие надевают средства защиты в зависимости от сложившейся обстановки. Начальники цехов (смен) и отделов по распоряжению руководителя работ по локализации и ликвидации аварии по возможности производят остановку технологического процесса в строгом соответствии с инструкциями по безопасной остановке производства, имеющихся в каждом цехе и осуществляют вывод рабочих и служащих из зоны возможного поражения в безопасные районы. По распоряжению ответственного за оповещение перекрываются все проходные и въездные ворота, они работают только на выпуск рабочих и служащих, автотранспорта с территории предприятия.

Технологическое оборудование расположено на наружных установках. Все электродвигатели оборудования имеют взрывозащитное исполнение для соответствующих категорий и групп взрывоопасных смесей.

Предусмотрен автоматический контроль и сигнализация достижения 5-50% нижнего предела распространения пламени взрывоопасных паров и газов.

В производственных помещениях предусмотрена общеобменная вентиляция.

Все сбросы от предохранительных устройств направляются на факел.

Выполнено обвалование вокруг изотермических хранилищ продуктов нефтепереработки.

Для тушения пожаров и охлаждения оборудования предусмотрены:

- стационарные лафетные стволы (установки);
- пожарные гидранты;
- кольца водяного орошения;

Установки оборудованы первичными средствами пожаротушения, а именно: огнетушителями марок ОУ-5, ОУ-80, ОП-100; асбестовыми одеялами, песком, кошмой.

Имеющиеся в распоряжении силы средства достаточны для локализации и ликвидации возможных аварий на рассматриваемом ОПО.

2. РАСЧЕТНАЯ ЧАСТЬ

2.1 Краткое описание технологической установки и технологического процесса

Установка компримирования и разделения пирогаза является важнейшим блоком технологического процесса производства мономеров. Она выполняет функции компримирования, последовательного захолаживания и разделения пирогаза на метановую, водородную, этан-этиленовую, пропан-пропиленовую фракции; гидрирования, осушки этан-этиленовой фракции (ЭЭФ) и далее выделения из ЭЭФ этана и товарного этилена; гидрирования пропан-пропиленовой фракции (ППФ) и далее выделения из ППФ пропана и товарного пропилена; дистилляции и гидрирования пироконденсата, получение фракций ЖПП (35-195 °С и 70-210 °С), фракций C₅ и фракций ЖПП (35-210 °С и 35-270 °С).

Пирогаз, а точнее пироконденсат (жидкая фаза), минуя несколько теплообменников и конденсационных емкостей, поступает на ректификационную колонну К-10 в качестве питания четырьмя разными потоками (соответственно, четырьмя разными температурами среды, концентрацией и структурой материального баланса). Колонна-деметанизатор (К-10) предназначена для выделения метановой фракции. Кубовый продукт отводится в качестве питания на следующую колонну. Газообразная метановая фракция с верха колонны поступает в трубное пространство теплообменника Т-45, где частично конденсируется этиленом-хладоагентом. Газожидкостная смесь метановой фракции из теплообменника поступает во флегмовую емкость Е-29, оттуда подается в качестве орошения на колонну К-10.

В радиусе 5 метров (рассматриваемая область) интересующей нас колонны К-10, соответственно находятся: 4 трубы, питающие колонну, 4 теплообменника, конденсационная емкость, 4 трубы, отводящие продукты переработки от колонны и сама колонна. Именно эти виды оборудования мы и будем принимать в дальнейших расчетах как исходные данные.

Схема установки представлена в Приложении Б.

«Дерево отказов» для установки в следствие частичной разгерметизации оборудования представлено в Приложении В.

2.2 Характеристика взрывоопасных веществ, обращающихся в установке

На рассматриваемых технологических потоках (30, 32, 34, 36), примыкающих к ректификационной колонне К-10, выбранной для проведения расчетов образования облака взрывоопасной ГВС в застойных зонах установки, количество обращающихся веществ следует статистике материального баланса, представленного в Приложении А.

Анализируя данные по материальному балансу интересующих нас технологических процессов, взрывоопасное облако газовой смеси, образованное истечением газа через неплотности фланцевых соединений, клапанов и запорно-регулирующей арматуры, соответственно, будет состоять преимущественно из этилена (70%), пропилена (20%) и этана (10%). Физико-химические свойства данных веществ представлены в Таблице 7.

Таблица 7 – Физико-химические свойства опасных веществ, представляющих наибольшую концентрацию в облаке ГВС

Свойство	Название вещества		
	Этилен (C ₂ H ₄)	Пропилен (C ₃ H ₆)	Этан (C ₂ H ₆)
Молярная масса (M), г/моль	28,05	42,08	30,07
Плотность (ρ), г/см ³	0,001178	0,00174	0,001342
Температура вспышки (T _{всп}), °С	136,1	108	152
Температура самовоспламенения (T _{свспл}), °С	475,6	410	472
НКПВ, %	2,3	2	5
ВКПВ, %	34	11	15
ПДК в атмосфере, мг/см ³	3	100	300

2.3 Описание метеорологических условий, необходимых для возникновения проектируемой аварийной ситуации

Так как облако ГВС представляет собой смесь газов, то влияние погодных условий на возникновение аварийной ситуации имеет решающее значение. При типичной для нашей географической полосы метеорологической обстановке, а точнее регулярным ветрам (в том числе порывистым) образование и существование облака смеси горючих газов маловероятно, а скорее, невозможно, но, анализируя данные, предоставленные Томским центральным гидрометоцентром, относительно направления и силы ветра, необходимо принять во внимание постоянное присутствие штилевой безветренной погоды (скорость ветра $<0,5$ м/с) и общее процентное соотношение таких погодных условий относительно количества дней определенного месяца. В дальнейшем рассмотрении развития аварийной ситуации мы будем принимать наиболее опасный вариант продолжительности штиля – 3 суток (72 часа).

Наиболее вероятным представляется возникновение аварийной ситуации, связанной с образованием и взрывом горючего облака ГВС, в сухую, безветренную, жаркую погоду (так как горючие свойства взрывоопасных веществ ингибируются в следствие низкой температуры). При таких климатических характеристиках авария будет не только наиболее вероятна, но и наиболее опасна, следуя правилам составления сценария развития возможной чрезвычайной ситуации.

Итак, характеристики метеорологической обстановки при рассматриваемой аварийной ситуации следующие:

- Месяц: Июль;
- Температура воздуха: 26 °С;
- Штиль продолжительностью 72 часа;
- Направление ветра: С-З;

- Стойкая засушливая погода без осадков в течение 10 дней;
- Время: 15:00;
- Ландшафт: индустриальный район с небольшими препятствиями;
- Рабочий персонал дежурной смены находится на ЦПУ, посторонних на объекте не замечено.

2.4 Определение массы горючего облака газо-воздушной смеси

Для определения количества газовой смеси, покинувшей оборудование установки за расчетный период, будем пользоваться методиками [28], [29] и [30].

Соответственно, нам необходимо знать количество возможных неплотностей интересующего нас оборудования, в пределах заданного радиуса.

К источникам утечек газа в атмосферу через неплотности оборудования, ЗРА, клапанов относятся:

- уплотнения неподвижные фланцевого типа (на трубопроводах, арматуре, крышках люков и лазов аппаратов и т.п.);
- уплотнения подвижные (на вращающихся валах насосов и компрессоров);
- уплотнения и затворы ЗРА (штоков и валов регулирующих клапанов, заслонок и задвижек);
- устье свечи.

Проанализировав технологические чертежи и технические регламенты к каждому виду оборудования, составим Таблицу 8 для определения количества возможных источников несанкционированного выброса газа в атмосферу отдельно по каждому виду оборудования.

Таблица 8 – Количество фланцевых соединений, клапанов и ЗРА отдельно для каждого вида рассматриваемого оборудования

№ п/п	Вид оборудования	Кол-во	Кол-во фланцевых соединений		Кол-во единиц ЗРА		Кол-во клапанов	
			Газ	Конденсат	Газ	Конденсат	Газ	Конденсат
1	Трубы, питающие колонну	4	-	2	-	1	-	-
2	Теплообменник	4	7	11	1	1	1	1
3	Ёмкость конденсационная	1	4	10	2	2	1	1
4	Трубы для про-дуктов колонны	4	-	3	-	1	-	-
5	Ректификационная колонна	1	27	17	2	10	-	-

Валовый выброс углеводородов (потери природного газа) через неподвижное уплотнение фланцевого типа для одного аппарата за расчетный период $M_{фл}$, т, вычисляют по формуле [28, 29]:

$$M_{фл} = A \cdot b_{фл} \cdot \tau \cdot a \cdot 10^{-3}, \quad (5)$$

где A - величина утечки газового потока через одно неподвижное уплотнение фланцевого типа, кг/ч (определяют по Таблице 9);

$b_{фл}$ - количество фланцев, уплотнений в аппарате;

τ - продолжительность работы аппарата в году в течение расчетного периода, ч;

a - доля уплотнений, потерявших герметичность (определяют по таблице 11.1);

10^{-3} - коэффициент пересчета "м³" в "тыс. м³".

Валовый выброс углеводородов (потери природного газа) через сальники и уплотнения ЗРА за расчетный период $M_{ЗРА}$, т, вычисляют по формуле

$$M_{ЗРА} = A \cdot b_1 \cdot b_2 \cdot \tau \cdot a \cdot 10^{-3}, \quad (6)$$

где A - величина утечки газа для фланцевых соединений и сальниковых уплотнений, кг/ч (определяют по Таблице 10);

b_1 - количество единиц запорной арматуры;

b_2 - количество фланцев на одном запорном устройстве [28, 29].

Выделения газового конденсата за счет утечек через соединения фланцевого типа и уплотнения запорно-регулирующей арматуры $M_{ут}$, т/год, вычисляют в соответствии с РД 153-39-019 [13] по формуле:

$$M_{ут} = \sum_1^{\partial_{фл}} q_{фл} \cdot b_{фл} \cdot a_{фл} \cdot \tau_{фл} \cdot 10^{-3}, \quad (7)$$

где $q_{фл}$, q_c - соответственно величина утечки конденсата через одно фланцевое соединение и одно сальниковое уплотнение, мг/с (принимают по Таблице 12);

$b_{фл}$, b_c - соответственно число фланцевых соединений и сальниковых уплотнений;

$a_{фл}$, a_c - соответственно доля уплотнений фланцевых соединений и сальниковых уплотнений, потерявших герметичность (принимают по Таблице 9);

$\tau_{фл}$, τ_c - соответственно время работы фланцевых соединений и сальниковых уплотнений в течение года, ч;

10^{-3} - коэффициент пересчета "кг" в "т" [28, 29].

Таблица 9 – Утечки газа через неподвижные и подвижные соединения согласно РД 51-31323949-05 и РД 39-142

Наименование оборудования	Расчетная величина утечки		Расчетная доля уплотнений, потерявших свою герметичность, доли единицы (общее число уплотнений данного типа принято за 1) - a
	q , мг/с	A , кг/ч	
Фланцевые соединения			
Парогазовые потоки	0,20	0,00073	0,030
Легкие углеводороды, двухфазные потоки	0,11	0,00040	0,050
Тяжелые углеводороды	0,08	0,00029	0,020
Запорно-регулирующая арматура (ЗРА)			
Газовая среда	5,83	0,02100	0,293
Легкие углеводороды, двухфазные среды	3,61	0,01300	0,365
Тяжелые углеводороды	1,83	0,00660	0,070
Предохранительные клапаны			
Парогазовые потоки	37,78	0,13600	0,460
Легкие жидкие углеводороды	24,45	0,08800	0,250
Тяжелые углеводороды	30,84	0,11100	0,350

Определим потери газа для каждого вида оборудования.

1) Трубы, питающие колонну (4 шт.):

$$M_{\text{ут.фл.}} = 0,11 \cdot 2 \cdot 0,05 = 0,011 \text{ мг/с};$$

$$M_{\text{ут.ЗРА}} = 3,61 \cdot 1 \cdot 0,365 = 1,318 \text{ мг/с};$$

$$M_{\text{общ}} = (0,011 + 1,318) \cdot 4 = 5,316 \text{ мг/с} = 0,0191376 \text{ кг/ч.}$$

2) Теплообменник (4 шт.):

Для жидкой фазы:

$$M_{\text{ут.фл.}} = 0,11 \cdot 11 \cdot 0,05 = 0,06 \text{ мг/с};$$

$$M_{\text{ут.ЗРА}} = 3,61 \cdot 12 \cdot 0,365 = 2,3 \text{ мг/с};$$

$$M_{\text{ут.кл.}} = 24,45 \cdot 1 \cdot 0,250 = 6,1125 \text{ мг/с};$$

$$M_{\text{общ}} = (0,06 + 2,3 + 6,1125) \cdot 4 = 8,7725 \text{ мг/с} = 0,031581 \text{ кг/ч.}$$

Для парогазовой фазы:

$$M_{\text{ут.фл.}} = 0,0004 \cdot 7 \cdot 0,05 = 0,00014 \text{ кг/ч};$$

$$M_{\text{ут.ЗРА}} = 0,013 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 0,365 = 0,0095 \text{ кг/ч};$$

$$M_{\text{ут.кл.}} = 0,088 \cdot 1 \cdot 0,250 = 0,022 \text{ кг/ч}$$

$$M_{\text{общ}} = (0,00014 + 0,0095 + 0,022) \cdot 4 = 0,46856 \text{ кг/ч.}$$

3) Конденсационная ёмкость (1 шт.):

Для жидкой фазы:

$$M_{\text{ут.фл.}} = 0,11 \cdot 10 \cdot 0,05 = 0,055 \text{ мг/с};$$

$$M_{\text{ут.ЗРА}} = 3,61 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 0,365 = 5,27 \text{ мг/с};$$

$$M_{\text{ут.кл.}} = 24,45 \cdot 1 \cdot 0,250 = 6,1125 \text{ мг/с};$$

$$M_{\text{общ}} = 0,055 + 5,27 + 6,1125 = 11,4375 \text{ мг/с} = 0,041175 \text{ кг/ч.}$$

Для парогазовой фазы:

$$M_{\text{ут.фл.}} = 0,0004 \cdot 4 \cdot 0,05 = 0,00008 \text{ кг/ч};$$

$$M_{\text{ут.ЗРА}} = 0,013 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 0,365 = 0,1899 \text{ кг/ч};$$

$$M_{\text{ут.кл.}} = 0,088 \cdot 1 \cdot 0,250 = 0,022 \text{ кг/ч}$$

$$M_{\text{общ}} = 0,00008 + 0,1899 + 0,022 = 0,2221 \text{ кг/ч.}$$

4) Трубы, отводящие продукты пиролиза из колонны (4 шт.):

$$M_{\text{ут.фл.}} = 0,0004 \cdot 6 \cdot 0,05 = 0,00006 \text{ кг/ч};$$

$$M_{\text{ут.ЗРА}} = 0,013 \cdot 1 \cdot 3 \cdot 0,365 = 0,014235 \text{ кг/ч};$$

$$M_{\text{общ.}} = (0,00006 + 0,014235) \cdot 4 = 0,05718 \text{ кг/ч.}$$

5) Для ректификационной колонны:

Для жидкой фазы:

$$M_{\text{ут.фл.}} = 0,11 \cdot 17 \cdot 0,05 = 0,0335 \text{ мг/с};$$

$$M_{\text{ут.ЗРА}} = 3,61 \cdot 10 \cdot 2 \cdot 0,365 = 26,353 \text{ мг/с};$$

$$M_{\text{общ}} = 0,0335 + 26,353 = 26,3865 \text{ мг/с} = 0,0949914 \text{ кг/ч.}$$

Для парогазовой фазы:

$$M_{\text{ут.фл.}} = 0,0004 \cdot 27 \cdot 0,05 = 0,00054 \text{ кг/ч};$$

$$M_{\text{ут.ЗРА}} = 0,013 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 0,365 = 0,1898 \text{ кг/ч};$$

$$M_{\text{общ}} = 0,00054 + 0,1898 = 0,19034 \text{ кг/ч.}$$

б) Общая масса утечек газа с оборудования в заданном радиусе:

$$M_{\text{ут.общ}} = 0,0191376 + 0,031581 + 0,46856 + 0,041175 + 0,2221 + 0,05718 + 0,0949914 + 0,19034 = 1,125 \text{ кг/ч.}$$

Масса газа (облака ГВС), выделившегося из оборудования за 3 суток (72 часа) штилевой погоды: $M_{\text{обл.}} = 1,125 \cdot 72 = 81 \text{ кг} = 0,081 \text{ т}$.

2.5 Определение состава и параметров облака ГВС

- Определение НКПВ и ВКПВ смеси:

Так как облако ГВС состоит из трех (и более) веществ, необходимо определить НКПВ и ВКПВ для смеси газов. Для этого воспользуемся формулой Ле-Шателье:

$$\varphi_{\text{H(В)}} = \frac{100}{\frac{\varphi_1}{\varphi_{\text{H1(В1)}}} + \frac{\varphi_2}{\varphi_{\text{H2(В2)}}} + \frac{\varphi_3}{\varphi_{\text{H3(В3)}}}}, \quad (8)$$

где $\varphi_{\text{H(В)}}$ – концентрационные пределы распространения пламени смеси;

$\varphi_{\text{H1(В1)}}$ – НКПР (ВКПР) каждого компонента смеси.

$$\varphi_{\text{H}} = \frac{100}{\frac{70}{2,3} + \frac{20}{2,0} + \frac{10}{3,2}} = 2,3\%;$$

$$\varphi_{\text{В}} = \frac{100}{\frac{70}{34} + \frac{20}{11,1} + \frac{10}{12,5}} = 21,5\%.$$

Поскольку облако ГВС представляет собой неоднородную смесь горючих газов и воздуха, стоит отметить, что опасная концентрация будет присутствовать не по всему объему облака, а в относительном «центре», где движение воздушных потоков и присутствие воздуха значительно меньше, нежели по краям, то есть НКПВ будет меняться по «нарастающей» от отличной от нуля концентрации с краю до взрывоопасной в середине.

- Определение объема и плотности газа в облаке:

На основании уравнений Клайперона, плотность любого газа при температуре может быть рассчитана по формуле:

$$\rho_{\text{Г}} = \rho_0 \cdot \frac{T_p \cdot p}{T \cdot p_0} = \frac{M}{22,4} \cdot \frac{273 \cdot p}{T \cdot p_0}, \quad (9)$$

где M – молярная масса газа, образывающего облако ГВС (31 кг/моль);

$p_0 = p = 10^5$ – атмосферное давление, кПа;

T – температура окружающей среды ($26 \text{ }^\circ\text{C} = 299 \text{ K}$).

Таким образом: $\rho_{\text{Г}} = 1,26 \text{ кг/м}^3$.

Зная плотность, можно определить объем газового облака:

$$V = m/\rho = 81 / 1,26 = 64 \text{ м}^3.$$

Чтобы понимать габариты взрывоопасного облака, можно определить зону, ограниченную НКПР.

- Расстояния, ограничивающие область концентрации, превышающих НКПР, рассчитывают по формуле [14]:

$$X_{\text{НКПР}} = 14,6 \cdot \left(\frac{m_{\text{Г}}}{\rho_{\text{Г}} \cdot C_{\text{НКПР}}}\right)^{0,33}, \quad (10)$$

$$Z_{\text{НКПР}} = 0,33 \cdot \left(\frac{m_{\text{Г}}}{\rho_{\text{Г}} \cdot C_{\text{НКПР}}}\right)^{0,33}, \quad (11)$$

где $m_{\text{Г}}$ – масса горючего газа, поступившего в пространство, кг;

$\rho_{\text{Г}}$ – плотность газа в расчетной температуре, кг/м³;

$C_{\text{НКПР}}$ – нижний концентрационный предел воспламенения смеси горючих газов, %.

Таким образом:

$$X_{\text{НКПР}} = 14,6 \cdot \left(\frac{81}{2,82 \cdot 2,3}\right)^{0,33} = 43,8 \text{ м};$$

$$Z_{\text{НКПР}} = 0,33 \cdot \left(\frac{81}{2,82 \cdot 2,3}\right)^{0,33} = 0,99 \text{ м}.$$

Принимая во внимание направление воздушных потоков (Северо-Запад), можно сделать вывод, что облако будет иметь форму «эллипса» длиной следа 43,8 метра и высотой 99 см. Облако будет дрейфовать по территории Производственной площадки пока не будет рассеяно естественным движением воздушных потоков, либо, в худшем случае, станет эпицентром взрыва. Схематичное расположение возможного облака ГВС относительно источника выброса показано графически в Приложении Г.

2.6 Определение радиусов ударной волны и теплового воздействия образовавшегося облака ГВС.

Так как температура самовоспламенения веществ, образующих облако ГВС, слишком высока для реализации этого процесса при нормальных условиях, для возникновения аварийной ситуации необходим контакт с источником зажигания.

Поскольку мы рассматриваем модель аварийной ситуации в сухую, безветренную погоду, то вариант с возникновением источника зажигания природного характера (разряд молнии) привлекать не будем.

Предполагаемые источники зажигания:

1) Ошибка персонала.

Не редко серьезные аварийные ситуации возникают в следствие халатности или небрежного отношения рабочего персонала к технологическому процессу и правилам промышленной безопасности. Так, например, цена одной выкуренной сигареты в неподходящем для этого месте может стоить человеческих жизней.

2) Сбой автоматики.

Еще чаще нештатные ситуации на объектах возникают в результате перебоев в работе электроники и автоматики, обеспечивающей работу установок. Принимая во внимание относительно низкую температуру вспышки основного, образующего облако, вещества (этилена), можно сделать вывод, что достаточно одной искры в пространстве облака ГВС для возникновения взрыва с возможными тяжелыми последствиями.

3) Разряд статического электричества.

Опасность статического электричества давно доказана, для детонации облака ГВС достаточно даже небольшого потенциала (например, с тела человека).

4) Диффузное отражение солнечных лучей от отражающей поверхности.

Поскольку аварийная ситуация, которую мы моделируем, происходит летом в жаркую сухую погоду, без осадков во второй половине дня, то нужно также принять во внимание опасность воспламенения возможных горючих материалов (будь то мусор или сухая трава) путем направленного отражения солнечных лучей.

1. *Определим режим взрывного превращения облака ГВС.*

По Таблице 10 определим класс пространства, окружающего место аварии.

Таблица 10 – Характеристика классов пространства, окружающего место аварии

№ класса	Характеристика пространства
1	Наличие труб, полостей и т.д.
2	Сильнозагроможденное пространство: наличие замкнутых объемов, высокая плотность размещения технологического оборудования, лес, большое количество повторяющихся препятствий
3	Сильнозагроможденное пространство: отдельно стоящие технологические установки, резервуарный парк
4	Слабозагроможденное пространство и свободное пространство

Класс пространства – 2.

Основную массу облака ГВС, согласно материальному балансу установки, составляют этилен и пропилен, соответственно они относятся ко 2 классу взрывоопасных веществ.

Определяем вероятный режим взрывного горения по Таблице 11.

Таблица 11 – Режимы взрывного превращения облаков ГВС

Класс топлива	Класс окружающего пространства			
	1	2	3	4
1	1	1	2	3
2	1	2	3	4
3	2	3	4	5
4	3	4	5	6

Класс взрывного превращения – 2.

2. *Определим радиусы зон разрушений от ударной волны.*

По Таблице 12 определим вспомогательные коэффициенты (a) для различных степеней разрушения промышленных зданий.

Таблица 12 – Вспомогательные коэффициенты (a) для определения размеров зон разрушений и растрекления промышленных зданий от ударной воздушной волны при авариях на пожаровзрывоопасных объектах

Степень разрушения	Режим взрывного превращения					
	1	2	3	4	5	6
Полная	1,71	1,66	1,58	1,52	1,42	1,32
Сильная	2,06	1,96	1,82	1,77	1,67	1,57
Средняя	2,26	2,21	2,02	1,97	1,82	1,77
Слабая	2,53	2,46	2,42	2,32	2,22	2,17
Расстекление	2,91	2,76	2,66	2,62	2,6	2,51

Радиусы зон разрушений определяем по формуле:

$$R_i = 10^{(0,321 \cdot \lg M + a)}, \quad (12)$$

где R_i – радиус зоны разрушения (полной, сильной, средней, слабой) или зоны растрекления, м;

M – масса топлива, участвующая в реакции, т;

a – вспомогательный коэффициент.

Таким образом:

$$R_{\text{полн.}} = 10^{(0,321 \cdot \lg 0,081 + 1,66)} = 19,96 \text{ м} \approx 20 \text{ м};$$

$$R_{\text{сильн.}} = 10^{(0,321 \cdot \lg 0,081 + 1,96)} = 39,81 \text{ м} \approx 40 \text{ м};$$

$$R_{\text{средн.}} = 10^{(0,321 \cdot \lg 0,081 + 2,21)} = 72,64 \text{ м} \approx 73 \text{ м};$$

$$R_{\text{слаб.}} = 10^{(0,321 \cdot \lg 0,081 + 2,46)} = 125,89 \approx 126 \text{ м}.$$

Схема радиусов воздействия ударной волны представлена в Приложении Г. Видно, что в эти области не попадают административные здания, в которых присутствует основная концентрация рабочего персонала, поэтому условным погибшим можем принять только рабочего, по чьей вине, возможно, произойдет воспламенение облака.

Однако, несмотря на то, что административные здания от ударной волны не пострадают, в область полных, сильных, средних и слабых разрушений попадает значительное количество технологических установок, которые, в следствие барического воздействия разрушатся и смогут повлечь за собой более катастрофичные последствия.

Избыточное давление на фронте ударной волны в условной точке определяем по формулам (2-4).

Таким образом, на границе области полных разрушений и области сильных разрушений, избыточное давление будет равно $\Delta P_{\text{полн.}} = 101 \text{ кПа}$, и для остальных границ зон: $\Delta P_{\text{силь.}} = 45 \text{ кПа}$, $\Delta P_{\text{сред.}} = 25 \text{ кПа}$, $\Delta P_{\text{слаб.}} = 10 \text{ кПа}$. Характеристика повреждений ударной волны по показателям избыточного давления указана в п. 1.3.2. Очевидно, что последствия взрыва станут иницирующим событием более серьезной аварии ввиду попадания в эти области значительного количества технологического оборудования и прямой угрозой для жизни человека.

3. Определим радиус теплового воздействия:

Параметры огненного шара:

- Радиус огненного шара определяем по формуле:

$$R_{\text{о.ш.}} = 3,2 \cdot (0,6 \cdot m)^{0,325} \quad (13)$$

$$R_{\text{о.ш.}} = 3,2 \cdot 0,6 \cdot 81^{0,325} = 11,3 \text{ м.}$$

- Время существования огненного шара определяем по формуле:

$$t_{\text{о.ш.}} = 0,85 \cdot (0,6 \cdot m)^{0,26} \quad (14)$$

$$t_{\text{о.ш.}} = 0,85 \cdot (0,6 \cdot 81)^{0,26} = 2,33 \text{ сек.}$$

- Тепловой поток (Q_0) на поверхности огненного шара составит 180 кВт/м^2 .
- Площадь, покрываемую огненным шаром, находим по формуле:

$$S_{\text{о.ш.}} = 3,14 \cdot R_{\text{о.ш.}}^2 \quad (15)$$

$$S_{\text{о.ш.}} = 3,14 \cdot 11,3^2 = 401 \text{ м}^2.$$

- Радиус зон, в которых от теплового воздействия погибнет 65% и 25% людей определяем по формуле:

$$X = R_{\text{о.ш.}} \cdot Q_0^{0,5} \left(\frac{t}{J}\right)^{3/8}, \quad (16)$$

где Q_0 – тепловой поток на поверхности огненного шара, кВт/м^2 ;

t – время существования огненного шара, с;

J – индекс дозы теплового излучения (кВт/м^2), определяемый по графику на Рисунке 4.

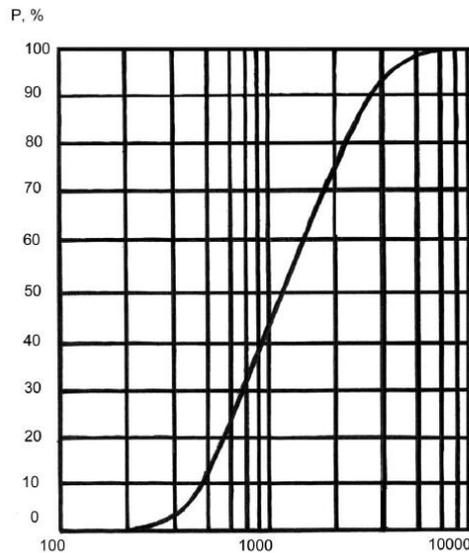


Рисунок 4 – Вероятность (P) поражения людей в зависимости от дозы теплового излучения

Соответственно:

$$J_{65} = 1500 \text{ кВт/м}^2, J_{25} = 500 \text{ кВт/м}^2;$$

$$X_{65} = 11,3 \cdot 180^{0,5} \cdot (2,33/1500)^{3/8} = 15 \text{ м};$$

$$X_{25} = 11,3 \cdot 180^{0,5} \cdot (2,33/500)^{3/8} = 21,5 \text{ м}.$$

Схема радиусов теплового воздействия взрыва облака ГВС представлена в Приложении Г. Здесь, как и после барического воздействия, не страдают административные здания, но технологические установки, находящиеся в радиусе поражения, будем считать поврежденными. Необходимо добавить, что появление человека в зоне воздействия так же является огромным риском для его жизни и здоровья.

2.7 Мероприятия и рекомендации для предотвращения возможной аварийной ситуации

Для обеспечения безопасности от возможного скопления газа в застойных зонах установки, под каждым видом оборудования в «шахматном порядке» установлены датчики ДВК, ориентированные на незамедлительное оповещение персонала на ЦПУ о разгерметизации оборудования с горючим газом при достижении 20% НКПР. Стоит отметить, что все горизонтальные поверхности на установке (ступени лестниц, полы и т.д.) выполнены в форме решетки для предотвращения скоплений газа на разных уровнях и пропуска-

ния его вниз, где датчики будут выявлять разгерметизацию при достижении опасной концентрации.

Но, как мы уже выяснили, с края облака концентрация горючего газа может быть значительно меньше не только НКПР, но и заданных условий срабатывания датчика. Поскольку движение воздушных потоков (пусть и небольшое) все же присутствует, основная часть облака с взрывоопасными параметрами смеси будет формироваться на некотором расстоянии от блока установки, а соответственно, и от датчиков. Поэтому, для выявления скопления горючих газов, будет рациональной установка датчиков ДВК не только непосредственно под оборудованием установки, но и по ее периметру и, если это возможно, на различном расстоянии от земли.

Одной из явных проблем является возможность «ложного» срабатывания датчика и применение затратных не только физически, но и финансово, мероприятий для выявления очага частичной разгерметизации оборудования и дегазации области срабатывания датчика, что, в нашем случае, является пустой тратой ресурсов.

Вопрос безопасности сводится к предотвращению скоплений горючих газов в возможных застойных зонах установки. Нужно добавить, что рельеф местности, на которой располагается потенциальный очаг питания облака ГВС должен исключать впадины, ямы и другие подобные неровности, так как именно там и будет формироваться смесь горючих газов опасной концентрации.

Рабочий персонал, обслуживающий установку в обязательном порядке должен быть проинформирован о потенциально-возможной аварийной ситуации, условиях ее возникновения и характере возможных последствий. Необходимо завести журнал учета активности воздушных потоков и делать пометки о силе и направлении ветра на территории эксплуатации установки. В случае штиля рекомендуется совершить обход с применением всех соответствующих мер безопасности в области предполагаемого образования об-

лака и определить с помощью ручного газоанализатора наличие или отсутствие такового.

Возможно, было бы эффективным использование искусственных установок наружной вентиляции для создания и распределения воздушных потоков (выдуванию ГГ) в условиях отсутствия таковых по естественным причинам (безветрие) в течение продолжительного времени. Достаточно лишь несколько датчиков, фиксирующих отсутствие движения воздуха за определенный интервал времени, которые будут передавать информацию на «вентиляторы», расположенные в условных точках установки. В свою очередь, «вентиляторы» автоматически включаются и предотвращают образование скоплений горючих газов в застойных зонах. Реализация такого рода агрегатов позволит предотвратить, также, ложные срабатывания датчиков ДВК и, тем самым, сэкономит предприятию не только эффективные ресурсы, но и может спасти чью-то жизнь.

3. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

3.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Установки, предназначенные для выполнения определенных технологических процессов на предприятиях нефтеперерабатывающей и нефтехимической отрасли, представляют собой сложный комплекс аппаратов, агрегатов и всевозможного вида оборудования, эксплуатирующегося на регулярной основе. Соответственно, всегда присутствует угроза возникновения аварийной ситуации в любом из блоков и на любом виде оборудования.

Необходимость проведения исследования по образованию облака горючей газовой смеси в застойных зонах установки по компримированию и разделению пирогаза на Площадке производства мономеров обусловлена принадлежностью данного вида производства к опасным производственным объектам (ФЗ-116), потенциальным риском для жизни и здоровья обслуживающего ее персонала и чрезвычайной дороговизной восстановления установки в случае возникновения чрезвычайной ситуации.

Суть исследования заключается в разработке мероприятий, обеспечивающих предупреждение возможного образования облака горючей газовой смеси в следствие истечения газа через фланцевые соединения, клапана, запорно-регулирующую арматуру и скопления взрывоопасного вещества в застойных зонах в радиусе работы установки по компримированию и разделению пирогаза на Площадке производства мономеров.

Потенциальными потребителями результатов проведенного исследования являются все предприятия нефтеперерабатывающей и нефтехимической отраслей.

3.2 Технология QuaD

Технология QuaD (QUality ADvisor) представляет собой гибкий инструмент измерения характеристик, описывающих качество новой разработки и ее перспективность на рынке и позволяющие принимать решение целесообразности вложения денежных средств в научно-исследовательский проект.

В основе технологии QuaD лежит нахождение средневзвешенной величины следующих групп показателей:

- 1) Показатели оценки коммерческого потенциала разработки: влияние нового продукта на результаты деятельности компании, перспективность рынка, пригодность для продажи, перспективы конструирования и производства, финансовая эффективность, правовая защищенность и др.
- 2) Показатели оценки качества разработки: динамический диапазон, вес, ремонтпригодность, энергоэффективность, долговечность, эргономичность, унифицированность, уровень материалоемкости разработки и др.

Для упрощения процедуры проведения QuaD оценка проводилась в табличной форме (Таблица 13).

В соответствии с технологией QuaD каждый показатель оценивался экспертным путем по стобалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 100 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме составили 1.

Таблица 13 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение (3/4)	Средневзвешенное значение (5x2)
1. Снижение воздействия на соседние объекты при аварии	0,25	90	100	0,9	0,225
2. Надежность технологического процесса	0,1	70	100	0,7	0,07
3. Безопасность обслуживания установки	0,15	80	100	0,8	0,12
4. Снижение воздействия на окружающую среду при аварии	0,1	80	100	0,8	0,08
5. Цена	0,2	90	100	0,8	0,16
6. Экономическая эффективность оценки риска	0,1	80	100	0,5	0,05
Итого	1	80	100	0,75	0,78

Оценка качества и перспективности по технологии QuaD определяется по формуле:

$$P_{cp} = \sum B_i \cdot B_i, \quad (17)$$

где P_{cp} – средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – средневзвешенное значение i -го показателя.

$$P_{cp} = \sum Vi \cdot Bi = (0.25 \cdot 90) + (0.1 \cdot 70) + (0.15 \cdot 80) + (0.1 \cdot 80) + (0.2 \cdot 80) + (0.1 \cdot 70) + (0.1 \cdot 50) = 22.5 + 7 + 12 + 8 + 16 + 7 + 5 = 77.5$$

3.3 Планирование научно-исследовательских работ

3.3.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в Таблице 14.

Таблица 14 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ работы	Содержание работ	Должность исполнителя
Подготовительный этап	1	Выбор и утверждение темы исследования	Научный руководитель, студент
	2	Составление календарного плана-графика выполнения ВКР	Научный руководитель, студент
Основной этап	3	Изучение литературы по теме исследования	Студент
	4	Сбор, анализ, систематизация информации по теме ВКР	Студент
	5	Написание теоретической части ВКР	Студент
	6	Подведение промежуточных итогов	Научный руководитель, студент
	7	Выполнение практической части ВКР	Студент
Заключительный этап	8	Оценка и анализ полученных результатов	Научный руководитель, студент
	9	Оформление ВКР	Студент

3.3.3 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения, ожидаемого (среднего) значения трудоемкости используется следующая формула:

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{mini}} + 2t_{\text{maxi}}}{5}, \quad (18)$$

где $t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

t_{mini} – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

t_{maxi} – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Ожидаемое (среднее) значение трудоемкости на выполнение 1-ого этапа работы:

$$t_{\text{ож.1}} = \frac{3 \times 1 + 2 \times 4}{5} = 2,2 \text{ чел. -дн}$$

Таким же образом считаем ожидаемое значение трудоемкости для остальных этапов.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес

зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65%.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}, \quad (19)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Продолжительность 1-ого этапа:

$$T_{p1} = \frac{2,2}{2} = 1 \text{ раб. дн.}$$

Таким же образом считаем трудоемкость для остальных этапов.

3.3.3 Разработка графика проведения научного исследования

Наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \times k_{\text{кал}}, \quad (20)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (21)$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

Коэффициент календарности в 2019 году составил:

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365-118} = 1,48$$

Продолжительность выполнения 1-ого этапа в календарных днях:

$$T_{\text{кл}} = 1 \times 1,48 = 1 \text{ кал. дн.}$$

Таким же образом считаем данный показатель для остальных 8 этапов. Полученные значения сведем в Таблицу 15.

Таблица 15 – Временные показатели проведения научного исследования

№	Название	Трудоёмкость работ			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях, T_{ki}
		t_{\min}	t_{\max}	$t_{\text{ож}i}$			
1	Выбор и утверждение темы исследования	1	4	2,2	Научный руководитель, студент	1	1
2	Составление календарного плана-графика выполнения ВКР	2	4	2,8	Научный руководитель, студент	1	1
3	Изучение литературы по теме исследования	7	14	9,8	Студент	10	15
4	Сбор, анализ, систематизация информации по теме ВКР	14	20	16,4	Студент	16	24
5	Написание теоретической части ВКР	7	14	9,8	Студент	10	15
6	Подведение промежуточных итогов	2	4	2,8	Научный руководитель, студент	1	1
7	Выполнение практической части ВКР	7	21	12,6	Студент	13	19
8	Оценка и анализ полученных результатов	2	4	2,8	Научный руководитель, студент	1	1
9	Оформление ВКР	14	28	19,6	Студент	20	30

На основе Таблицы 17 построен календарный план-график. График был построен для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта на основе таблицы с разбивкой по

месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования. При этом работы студента и руководителя выделены черным и серым цветом.

Таблица 16 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме: «Оценка риска возникновения аварийных ситуаций на предприятиях нефтеперерабатывающей отрасли»

№ работ	Вид работ	Исполнители	$T_{кл.}$ кал. дн.	Продолжительность выполнения работ												
				февр		март			апрель			май			ию	
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	
1	Выбор и утверждение темы исследования	Научный руководитель, студент	1													
2	Составление календарного плана-графика выполнения ВКР	Научный руководитель, студент	1													
3	Изучение литературы по теме исследования	Студент	15													
4	Сбор, анализ, систематизация информации по теме ВКР	Студент	24													
5	Написание теоретической части ВКР	Студент	15													
6	Подведение промежуточных итогов	Научный руководитель, студент	1													
7	Выполнение практической части ВКР	Студент	19													
8	Оценка и анализ полученных результатов	Научный руководитель, студент	1													
9	Оформление ВКР	Студент	30													

- Научный руководитель;

- Студент.

3.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением.

В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НТИ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

3.4.1 Расчет материальных затрат НТИ

Для выполнения данного научного исследования необходимы материалы, которые указаны в Таблице 17.

Таблица 17 – Материальные затраты НТИ

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (З _м), руб.
Бумага	лист	300	2	600
Ручка	шт.	1	100	100
Карандаш	шт.	1	50	50
Мультифора	шт.	30	2	60
Картридж	шт.	2	1000	2000
Итого:				2810

3.4.2 Основная заработная плата исполнителей темы

Заработная плата научного руководителя и студента включает основную заработную плату и дополнительную заработную плату:

$$Z_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}, \quad (22)$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата;

$Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата (15 % от $Z_{\text{осн}}$).

Основная заработная плата ($Z_{\text{осн}}$) научного руководителя и студента рассчитана по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} + T_p, \quad (23)$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника;

T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дн.;

$Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_M \cdot M}{F_d}, \quad (24)$$

где Z_M – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя; при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Таблица 18 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Научный руководитель	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней	104	104
- выходные дни	14	14
- праздничные дни		
Потери рабочего времени	28	28
- отпуск	14	7
- невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	205	212

Месячный должностной оклад работника определяется по формуле:

$$Z_M = Z_{тс} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p, \quad (25)$$

где $Z_{тс}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{пр}$ – премиальный коэффициент;

k_d – коэффициент доплат и надбавок;

k_p – районный коэффициент.

Месячный должностной оклад руководителя темы, руб.:

$$Z_M = 17000 \times (1 + 0,3 + 0,3) \times 1,3 = 35360$$

Месячный должностной оклад студента, руб.:

$$Z_M = 7000 \times (1 + 0,2 + 0,2) \times 1,3 = 12740$$

Среднедневная заработная плата научного руководителя, руб.:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{35360 \times 10,4}{205} = 1794$$

Среднедневная заработная плата студента, руб.:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{12740 \times 11,2}{212} = 673$$

Рассчитаем рабочее время:

Руководитель: $T_p = 4$ раб.дней

Студент: $T_p = 73$ раб.дней

Основная заработная плата научного руководителя составила:

$$Z_{\text{осн}} = 1794 \times 4 = 7176 \text{ руб.}$$

Основная заработная плата студента составила:

$$Z_{\text{осн}} = 673 \times 73 = 49129 \text{ руб.}$$

Таблица 19 – Расчет основной заработной платы научного руководителя и студента

Исполнители	$Z_{\text{гс}}$, руб.	$k_{\text{пр}}$	$k_{\text{д}}$	$k_{\text{р}}$	$Z_{\text{м}}$, руб.	$Z_{\text{дн}}$, руб.	$T_{\text{р}}$, раб. дн.	$Z_{\text{осн}}$, руб.
Научный руководитель	17000	0,3	0,3	1,3	35360	1794	4	7176
Студент	7000	0,2	0,2	1,3	12740	673	73	49129
Итого $Z_{\text{осн}}$								56305

3.4.3 Дополнительная заработная плата научно - производственного персонала

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \times Z_{\text{осн}}, \quad (26)$$

где $Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата, руб.;

$k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной зарплаты, 0,15;

$Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата, руб.

Таблица 20 – Дополнительная заработная плата исполнителей НТИ

Заработная плата	Научный руководитель	Студент
Основная зарплата	7176	49129
Дополнительная зарплата	1076	7369
Итого, руб.	64750	

3.4.4 Отчисления во внебюджетные фонды

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \times (З_{осн} + З_{доп}), \quad (27)$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На 2019 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность, в 2019 году вводится пониженная ставка – 28%.

$$З_{внеб} = 0,28 \cdot (53305 + 8445) = 16734 \text{ руб.}$$

3.4.5 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов. Их величина определяется по следующей формуле:

$$З_{накл} = (\text{сумма статей } \frac{1}{4}) \cdot k_{нр},$$

где $k_{нр}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы [27].

Величину коэффициента накладных расходов примем в размере 16%.

$$З_{накл} = (2810 + 56305 + 8445 + 16734) \cdot 0,16 = 13487 \text{ руб.}$$

3.4.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанные выше величины затрат научно-исследовательской работы представляет собой основу формирования бюджета затрат проекта. В Таблице 21 отражены сводные показатели, которые формируют бюджет затрат ВКР.

Таблица 21 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	Примечание
1. Материальные затраты НТИ	2810	Пункт 4.3.2
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	56305	Пункт 4.3.3
3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	8445	Пункт 4.3.4
4. Отчисления во внебюджетные фонды	16734	Пункт 4.3.5
5. Накладные расходы	13487	16% от суммы ст. 2-5
6. Бюджет затрат НТИ	97781	Сумма ст. 2-6

3.5 Определение эффективности исследования

В данной работе, посвященной разработке мероприятий по разработке рекомендаций по предотвращению возможных аварийных ситуаций, связанных с образование облака горючей газовой смеси в застойных зонах установки компримирования и разделения пирогаза, была определена структура работ в рамках научного исследования. Была определена трудоемкость выполнения работы, длительность выполнения работ в рабочих и календарных днях. Составлен календарный план-график выполнения ВКР, который показывает, что наиболее продолжительными этапами работы являются: «Изучение литературы по теме исследования», «Сбор, анализ, систематизация информации по ВКР», «Написание теоретической части ВКР», «Выполнение практической части ВКР» и «Оформление ВКР».

Был рассчитан бюджет научно-технического исследования. Были рассчитаны материальные затраты НТИ, основные и дополнительные заработные платы руководителя и студента, отчисления на социальные нужды и накладные расходы. Проведенный расчет стоимости НТИ показал, что общая стоимость составляет 97781 руб.

4. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Введение

Работа человека на производстве нередко приводит к получению различных травм и заболеваний. С целью предотвращения или уменьшения последствий опасных и вредных факторов существует наука об охране труда.

Установка компримирования и разделения пирогаза Площадки производства мономеров является частью основного технологического оборудования и должна обеспечивать надёжную и непрерывную работу в течение всего срока эксплуатации.

С целью поддержания установки в исправном и работоспособном состоянии на протяжении всего срока эксплуатации, предусмотрены следующие мероприятия:

- периодические осмотры устройства регулирования, оперативным персоналом один раз за смену;
- регулировочные мероприятия и осмотр устройства управления, оперативно-ремонтным персоналом ежемесячно;
- техническое обслуживание два раза в год;
- текущий ремонт один раз в год.

Работы по наладке и обслуживанию установки ведутся на технологическом оборудовании и вблизи него. Работы по наладке и обслуживанию устройства управления, находящегося в помещении центрального пункта управления, ведутся вблизи токоведущих частей, находящихся под напряжением.

Целью данного раздела является анализ вредных и опасных факторов при наладке и обслуживании установки компримирования и разделения пирогаза, и определение мероприятий по устранению действия вредных и опасных факторов, а также разработка мер по защите окружающей среды, предупреждению ЧС и ликвидации их последствий.

Рассмотрение данных вопросов отвечает требованиям международного стандарта ICCSR-26000:2011 к деятельности организаций в области социальной ответственности по тем разделам его модулей, по которым должны быть приняты указанные проектные решения.

4.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

4.1.1 Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства

Согласно ТК РФ, N 197 –ФЗ аппаратчик установки УК и РП имеет право на:

- рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда;
- обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний в соответствии с федеральным законом;
- отказ от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда, за исключением случаев, предусмотренных федеральными законами, до устранения такой опасности;
- обеспечение средствами индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя;
- внеочередной медицинский осмотр в соответствии с медицинскими рекомендациями с сохранением за ним места работы (должности) и среднего заработка во время прохождения указанного медицинского осмотра;

4.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Рабочее место оператора на ЦПУ должно соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.032-78. Оно должно занимать площадь не менее 4,5 м², высота помещения должна быть не менее 4 м, а объем – не менее 20 м³ на одного че-

ловека. Высота над уровнем пола рабочей поверхности, за которой работает оператор, должна составлять 720 мм. Оптимальные размеры поверхности стола 1600 x 1000 кв. мм. Под столом должно иметься пространство для ног с размерами по глубине 650 мм. Рабочий стол должен также иметь подставку для ног, расположенную под углом 15° к поверхности стола. Длина подставки 400 мм, ширина – 350 мм. Удаленность клавиатуры от края стола должна быть не более 300 мм, что обеспечит удобную опору для предплечий. Расстояние между глазами оператора и экраном видеодисплея должно составлять 40 – 80 см. Так же рабочий стол должен быть устойчивым, иметь однотонное неметаллическое покрытие, не обладающее способностью накапливать статическое электричество. Рабочий стул должен иметь дизайн, исключая онемение тела из-за нарушения кровообращения при продолжительной работе на рабочем месте.

Рабочее место аппаратчика УК и РП соответствует требованиям ГОСТ 12.2.032-78.

4.2 Производственная безопасность

Функциональные обязанности аппаратчика подразумевают использование электронной вычислительной машины (ЭВМ) и технологического контрольного оборудования, с точки зрения социальной ответственности целесообразно рассмотреть вредные и опасные факторы, которые могут возникать при работе с оборудованием, а также требования по организации рабочего места.

4.2.1 Анализ потенциально возможных вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований

Для выбора факторов использовался ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация». Перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды представлен в виде Таблицы 22.

Таблица 22 – Опасные и вредные факторы при выполнении работ по разработке программного модуля

Источник фактора, наименование вида работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-2015)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
1) Работа с ЭВМ 2) Работа с контрольным оборудованием	1. Повышенный уровень вибрации; 2. Неудовлетворительная освещенность рабочей зоны; 3. Повышенный уровень шума на рабочем месте; 4. Неудовлетворительный микроклимат.	1. Поражение электрическим током; 2. Взрывопожароопасность	СанПиН 2.2.2.542-96 СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 СанПиН 2.2.4.1191-03 СП 52.13330.2011 СанПиН 2.2.4.548-96 СН 2.2.4/2.1.8.562-96 ГОСТ 30494-2011

4.2.2 Разработка мероприятий по снижению воздействия вредных и опасных факторов

При эксплуатации установки компримирования и разделения пирогаза необходимо учитывать наличие и возможность воздействия следующих вредных производственных факторов:

- возникновение вибрации при работе оборудования.
- механические шумы и возникновение отраженного поля, возникающие при настройке и работе оборудования;
- отклонение показателей микроклимата;
- недостаточная освещенность рабочей зоны.

А также опасных:

- опасность поражения электрическим током;
- взрывопожароопасность;

4.2.3 Шум

Шум на производстве наносит большой ущерб, вредно действуя на организм человека и снижая производительность труда. Утомление рабочих и операторов из-за сильного шума увеличивает число ошибок при работе, способствует возникновению травм. Шум возникает вследствие упругих колебаний как установки в целом, так и отдельных её частей, в системе охлаждения. Причины возникновения этих колебаний – механические, аэродинамические, электрические явления, определяемые конструкцией и характером работы машин, а также неточностями, допущенными при их изготовлении и условиями эксплуатации.

На объекте исследования, а именно на установке УК и РП, технологический процесс протекает непрерывно, а это значит, что все оборудование, эксплуатируемое установкой, находится в режиме постоянного использования. Насосы, компрессоры, ректификационные колонны, теплообменники, контрольная аппаратура являются источниками шума и вибрации. Также возникает отраженное поле шума. В связи с этим возникает необходимость использования индивидуальных средств защиты от шума.

Уменьшение механического шума может быть достигнуто путём совершенствования технологического процесса. Своевременное проведение текущего обслуживания и ремонтов технологического оборудования, качественная балансировка вращающихся элементов машин также позволяет снизить шум.

Для защиты от шума по СанПиН 2.2.4/2.1.8.562 – 96 предусматриваются:

- обеспечение персонала индивидуальными средствами защиты по ГОСТ 12.4.011 – 89;
- установка звукоизолирующих кабин;
- звукоизолирующие кожухи и экраны;

В Таблице 23 приведены допустимые уровни звукового давления, измеренные в восьми октавных полосах со среднегеометрическими частотами.

Таблица 23 – Допустимые уровни звукового давления

Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами							
63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
95	81	82	78	75	73	71	69

Необходимые условия для снижения шума:

- Все оборудование, применяемое на установке, для снижения шума установлено на виброопорах.
- В обязательном порядке должны использоваться средства индивидуальной защиты.

Условия труда по вредному фактору превышения уровня шума на рабочем месте аппаратчика УК и РП соответствуют нормам по СОУТ.

4.2.4 Вибрация

Вредным производственным фактором является вибрация – механические колебания твердых тел, передаваемые организму человека. Они могут быть причиной расстройства сердечнососудистой и нервной системы, а также опорно-двигательной системы человека. Измерение вибрации производится прибором ВШВ–003–М2, снабженным датчиком вибрации, уровень вибрации, (согласно [ГОСТ 16921–71]) до 90 Дба. Нормативным документом, рассматривающим уровни шума для различных категорий рабочих мест, служебных помещений является ГОСТ 12.003–88.

Гигиенические нормы вибрации, воздействующей на человека на постоянном рабочем месте сведены в Таблице 24.

Таблица 24 – Гигиенические нормы вибрации

Вид вибрации	Среднеквадратичная вибростойкость (числитель), м/с*10 ⁻² , не более, и логарифмический уровень вибростойкости (знаменатель), дБ, в октановых полосах, со среднегеометрическими частотами, Гц.					
	2	4	8	16	31,5	63
Общая	<u>1,3</u>	<u>0,45</u>	<u>0,22</u>	<u>0,2</u>	<u>0,2</u>	<u>0,2</u>
технология	108	99	93	92	92	92

На установке УК и РП, равно как и источниками шума, так и источниками вибрации выступает вышеперечисленное технологическое оборудование.

Для защиты от вибрации по СанПиН 2.2.4/2.1.8.566 – 96 предусматриваются:

- обеспечение персонала индивидуальными средствами защиты по ГОСТ 12.4.011 – 89;
- виброизолирующие материалы под оборудование (пружины, резины и другие прокладочные материалы).

Необходимые условия для снижения уровня вибрации:

- Все оборудование, применяемое на установке, должно быть установлено на виброопорах.
- В обязательном порядке должны использоваться средства индивидуальной защиты.

Условия труда по вредному фактору превышения уровня вибрации на рабочем месте аппаратчика УК и РП соответствуют нормам по СОУТ.

4.2.5 Обеспечение нормативного микроклимата

Помещение ЦПУ характеризуется:

- наличием большого количества оборудования;
- повышенной температурой.

Оптимальные и допустимые нормы микроклимата в рабочей зоне производственных помещений представлены в Таблице 25.

Таблица 25 – Оптимальные и допустимые нормы микроклимата в рабочей зоне

Сезон года	Категория работ	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
		По ГОСТ 12.1.005 – 88	По ГОСТ 12.1.005 – 88	По ГОСТ 12.1.005 – 88
Холодный	Средней тяжести	17 – 19	40 – 60	0,3
Тёплый со значительным избытком тепла	Средней тяжести	20 – 22	40 – 60	0,2 – 0,5

Для обеспечения нормального микроклимата предусматривается, в соответствии с Сан ПиН 2.2.4.548 – 96(1), следующее:

- вентиляция приточно-вытяжная по СНИП 2.04.05 – 91* (28.11.91) установка центробежных вентиляторов. Кратность воздухообмена 1;
- установка систем воздушного отопления, совмещённых с вентиляцией;

Предусмотренные мероприятия обеспечивают параметры микроклимата в соответствии с нормами, представленными в таблице 15.

В соответствии с Сан ПиН 2.2.4.548 – 96(1) значения температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха устанавливаются, для рабочей зоны производственных помещений, в зависимости от категории тяжести выполняемой работы, величины явного избытка тепла, выделяемого в помещении и периода года.

Условия труда по вредному фактору неудовлетворительного микроклимата на рабочем месте аппаратчика УК и РП соответствуют нормам по СОУТ.

4.2.6 Обеспечение нормативного освещения

Безопасность на производстве в значительной мере зависит от освещения. Основная задача освещения на производстве – создание наилучших условий для зрения трудящихся. Эту задачу можно решить только осветительной системой, которая должна соответствовать требованиям, приведённым в СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Освещённость на рабочем месте должна соответствовать характеру зрительной работы. В данном случае работы от-

носятся к разряду IV Г. Требуемая норма освещения $E_{НОР}=200$ ЛК. Для создания $E_{НОР}$ применяется совмещенное освещение: естественное и общее люминесцентное освещение.

Для создания рациональных условий освещения важное значение имеет тщательный и регулярный уход за установками естественного и искусственного освещения. Необходимо следить за исправностью схем включения, регулярно заменять перегоревшие лампы. На предприятиях должно быть специально выделенное лицо, заведующее эксплуатацией освещения.

На производстве для защиты органов зрения от ультрафиолетового и инфракрасного излучения и слепящей яркости видимого света применяют защитные очки, щитки, шлемы.

Условия труда по вредному фактору недостаточного уровня освещенности рабочего места аппаратчика УК и РП соответствуют нормам по СОУТ.

4.2.7 Пожаровзрывоопасность

Объект исследования (ЦПУ) характеризуется большим количеством контрольного электрооборудования, которое может стать причиной возгорания или источником воспламенения.

Пожарная безопасность является одним из важнейших разделов охраны труда на производстве. Существенную роль в профилактике и предотвращении пожаров играет правильный выбор режима работы электрооборудования с учётом класса по пожароопасности, применения молниеотводов. Все производственные помещения по пожароопасности разделяются на пять основных категорий. При проведении исследований наиболее вероятной ЧС является возникновение пожара на ЦПУ. Пожарная безопасность должна обеспечиваться системами предотвращения пожара и противопожарной защиты, в том числе организационно-техническими мероприятиями.

Основные источники возникновения пожара:

- 1) Неработоспособное электрооборудование, неисправности в проводке, розетках и выключателях. Для исключения возникновения пожара по этим

причинам необходимо вовремя выявлять и устранять неполадки, а также проводить плановый осмотр электрооборудования.

- 2) Электрические приборы с дефектами. Профилактика пожара включает в себя своевременный и качественный ремонт электроприборов.
- 3) Перегрузка в электроэнергетической системе (ЭЭС) и короткое замыкание в электроустановке.

Под пожарной профилактикой понимается обучение пожарной технике безопасности и комплекс мероприятий, направленных на предупреждение пожаров.

Пожарная безопасность обеспечивается комплексом мероприятий:

- обучение, в т.ч. распространение знаний о пожаробезопасном поведении (о необходимости установки домашних индикаторов задымленности и хранения зажигалок и спичек в местах, недоступных детям);
- пожарный надзор, предусматривающий разработку государственных норм пожарной безопасности и строительных норм, а также проверку их выполнения;
- обеспечение оборудованием и технические разработки (установка переносных огнетушителей и изготовление зажигалок безопасного пользования).

В соответствии с ТР «О требованиях пожарной безопасности» для административного жилого здания требуется устройство внутреннего противопожарного водопровода.

Согласно ФЗ-123, НПБ 104-03 «Проектирование систем оповещения людей о пожаре в зданиях и сооружениях» для оповещения о возникновении пожара в каждом помещении должны быть установлены дымовые оптико-электронные автономные пожарные извещатели, а оповещение о пожаре должно осуществляться подачей звуковых и световых сигналов во все помещения с постоянным или временным пребыванием людей.

Помещение ЦПУ оснащено первичными средствами пожаротушения: огнетушителями ОУ-5 1шт., ОП-10, 2шт. (предназначены для тушения лю-

бых материалов, предметов и веществ, применяется для тушения ПК и орг-техники, класс пожаров А, Е.).

Таблица 26 – Типы используемых огнетушителей при пожаре в электроустановках

Напряжение, кВ	Тип огнетушителя (марка)
До 1,0	порошковый (серии ОП)
До 10,0	углекислотный (серии ОУ)

Согласно НПБ 105-03 помещение, предназначенное для контроля за технологическим процессом, относится к типу П-2а (Зоны, расположенные в помещениях, в которых обращаются твердые горючие вещества в количестве, при котором удельная пожарная нагрузка составляет не менее 1 мегаджоуля на квадратный метр).

Основными причинами пожара могут быть: перегрузка проводов, короткое замыкание, большие переходные сопротивления в электрических цепях, электрическая дуга, искрение и неисправности оборудования.

Согласно [5], пожарная профилактика обеспечивается: системой предотвращения пожара; системой противопожарной защиты; организационно – техническими мероприятиями. К мерам предотвращения пожара относятся: применение средств защитного отключения возможных источников загорания (защитного зануления); применение искробезопасного оборудования; применение устройства молниезащиты здания; выполнение правил (инструкций) по пожарной безопасности.

К мерам противопожарной защиты относятся: применение пожарных извещателей; средств коллективной и индивидуальной защиты от факторов пожара; системы автоматической пожарной сигнализации; порошковых или углекислотных огнетушителей, два ящика с песком 0,5 м³.

Организационно-технические мероприятия: наглядная агитация и инструктаж работающих по пожарной безопасности; разработка схемы действия администрации и работающих в случае пожара и организация эвакуации людей; организация внештатной пожарной дружины.

При обнаружении загорания рабочий немедленно сообщает по телефону в пожарную охрану, сообщает руководителю, приступают к эвакуации людей и материальных ценностей. Тушение пожара организуется первичными средствами с момента обнаружения пожара. Пострадавшим при пожаре обеспечивается скорая медицинская помощь.

При соблюдении всех мероприятий, направленных на обеспечение пожарной безопасности рабочего персонала ЦПУ, удастся предотвратить возможные риски для жизни и здоровья людей и минимизировать ущерб оборудованию в случае их возникновения.

4.2.8 Электробезопасность

Поскольку рабочее место аппаратчика УК и РП является центром управления технологическим процессом, присутствие объектов электропитания и электрообеспечения является здесь определяющим фактором для обеспечения электробезопасности всего рабочего персонала.

Электробезопасностью в соответствии с ГОСТ 12.1.009-76 называется система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от опасного и вредного воздействия на человека электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества.

Основные причины поражения электрическим током:

1. Случайное прикосновение к токоведущим частям, находящимся под напряжением в результате:

- ошибочных действий при проведении работ (несогласованность действий персонала при ремонте и обслуживании электроустановок);

- неисправность защитных средств, которыми пострадавший касался токоведущих частей.

2. Появление напряжения на металлических конструктивных токоведущих частях электрооборудования в результате:

- повреждения изоляции токоведущей части;

- падение провода на конструктивные части электрооборудования;
3. Появление напряжения на отключенных токоведущих частях в результате:
- ошибочное включение электроустановки;
 - разряда молнии в электроустановку;
4. Возникновение напряжения шага на участке земли, где находится человек в результате замыкания фазы на землю.

В соответствии с требованиями ПУЭ и ГОСТ 12.1.019-79 для защиты персонала от электропоражения предусмотрены следующие основные технические мероприятия:

- 1) ограждение токоведущих частей;
- 2) применение блокировок электрических аппаратов;
- 3) установка в РУ заземляющих разъединителей;
- 4) устройство защитного отключения электроустановок;
- 5) заземление или зануление электроустановок;
- 6) применение разделяющих трансформаторов и малых напряжений;
- 7) применение устройств предупредительной сигнализации;
- 8) защите персонала от электромагнитных полей;
- 9) использование индивидуальных средств защиты.

Защитные средства, используемые для монтажа, наладки и обслуживания установки УК и РП: указатель напряжения, инструмент с изолирующими ручками, перчатки диэлектрические, галоши диэлектрические, коврик диэлектрический.

Организационные мероприятия для обеспечения безопасности работ – это выполнение работ в электроустановках по наряду, распоряжению, в порядке текущей эксплуатации.

При соблюдении мероприятий, направленных на обеспечение безопасности рабочего персонала от воздействия электрического тока, электротравмирование на территории ЦПУ удастся предотвратить.

4.3 Экологическая безопасность

Научно-технический прогресс – основа концепции ускорения социально-экономического развития общества. Неизбежным следствием научно-технического прогресса является не только улучшение качества жизни человека, защищённость его от многих природных факторов, но и резко возрастающие антропогенные нагрузки на объекты окружающей среды и, в первую очередь, на её наиболее уязвимый компонент-биосферу.

Газообразные отходы, загрязняющие воздух помещения: естественные выделения – углекислый газ, пары воды, летучие органические соединения – ЛОС (альдегиды, кетоны), азотистые соединения; бытовая пыль. Перед выбросом воздух помещений подвергается обязательной очистке в фильтро-вентиляционных системах, что предотвращает атмосферу от загрязнения. Жидкие отходы – бытовые отходы, образующиеся в процессах влажной уборки помещений, при пользовании водопроводом, туалетом и т.п., сбрасываются в городскую канализацию и далее поступают в системы централизованной очистки на городских очистных сооружениях.

При обращении с твердыми отходами: бытовой мусор (отходы бумаги, отработанные специальные ткани для протирки офисного оборудования и экранов мониторов, пищевые отходы); отработанные люминесцентные лампы; офисная техника, комплектующие и запчасти, утратившие в результате износа потребительские свойства – надлежит руководствоваться Постановлением Администрации г. Томска от 11.11.2009 г. №1110 (с изменениями от 24.12.2014): бытовой мусор после предварительной сортировки складировать в специальные контейнеры для бытового мусора (затем специализированные службы вывозят мусор на городскую свалку); утратившее потребительские свойства офисное оборудование передают специальным службам (предприятиям) для сортировки, вторичного использования или складирования на городских мусорных полигонах. Отработанные люминесцентные лампы утилизируются в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 03.09.2010

№681. Люминесцентные лампы, применяемые для искусственного освещения, являются ртутьсодержащими и относятся к 1 классу опасности. Ртуть люминесцентных ламп способна к активной воздушной и водной миграции. Интоксикация возможна только в случае разгерметизации колбы, поэтому основным требованием экологической безопасности является сохранность целостности отработанных ртутьсодержащих ламп. Отработанные газоразрядные лампы помещают в защитную упаковку, предотвращающую повреждение стеклянной колбы, и передают специализированной организации для обезвреживания и переработки. В случае боя ртутьсодержащих ламп осколки собирают щеткой или скребком в герметичный металлический контейнер с плотно закрывающейся крышкой, заполненный раствором марганцевокислого калия. Поверхности, загрязненные боем лампы, необходимо обработать раствором марганцевокислого калия и смыть водой. Контейнер и его внутренняя поверхность должны быть изготовлены из не адсорбирующего ртуть материала (винипласта).

К сфере защиты ОС и рационального использования природных ресурсов относится и экономия ресурсов, в частности, энергетических. Реальным вкладом здесь может стать экономия электрической и тепловой энергии на территории предприятия. Во-первых, это улучшает экономические показатели деятельности предприятия (уменьшение расходов на электротепловую энергию). Во-вторых, экономия энергии означает уменьшение газа, мазута, угля, сжигаемого в топках котлов ТЭС и электроустановок (котельных) промпредприятий города Томска и области и одновременное уменьшение выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Несмотря на кажущуюся малость такого вклада в энергосбережение и в защиту атмосферного воздуха от загрязнения массовое движение в этом направлении, в том числе, в быту, принесет значимый эффект.

4.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Согласно ГОСТ Р 22.0.02-94 ЧС – это нарушение нормальных условий жизни и деятельности людей на объекте или определенной территории (акватории), вызванное аварией, катастрофой, стихийным или экологическим бедствием, эпидемией, эпизоотией (болезнь животных), эпифитотией (поражение растений), применением возможным противником современных средств поражения и приведшее или могущее привести к людским или материальным потерям».

С точки зрения выполнения проекта характерны следующие виды ЧС:

1. Пожары, взрывы;
2. Внезапное обрушение зданий, сооружений;
3. Геофизические опасные явления (землетрясения);
4. Метеорологические и агрометеорологические опасные явления;

Так как объект исследований представляет из себя пункт управления технологическим процессом с большим количеством контрольного оборудования, то наиболее вероятной ЧС в данном случае можно назвать пожар в комнате с аппаратным оборудованием. В аппаратной комнате применяется дорогостоящее оборудование, не горючие и не выделяющие дым кабели. Таким образом возникновение пожаров происходит из-за человеческого фактора, в частности, это несоблюдение правил пожарной безопасности. К примеру, замыкание электропроводки – в большинстве случаев тоже человеческий фактор. Соблюдение современных норм пожарной безопасности позволяет исключить возникновение пожара в аппаратной комнате.

- Согласно СП 5.13130.2009 предел огнестойкости аппаратной должен быть следующим: перегородки – не менее EI 45, стены и перекрытия – не менее REI 45. Т.е. в условиях пожара помещение должно оставаться герметичным в течение 45 минут, препятствуя дальнейшему распространению огня.

- Помещение аппаратной должно быть отдельным помещением, функционально не совмещенным с другими помещениями. К примеру, не допус-

кается в помещении серверной организовывать мини-склад оборудования или канцелярских товаров.

- При разработке проекта аппаратной необходимо учесть, что автоматическая установка пожаротушения (АУПТ) должна быть обеспечена электропитанием по первой категории (п. 15.1 СП 5.13130.2009).

- Согласно СП 5.13130.2009 в системах воздуховодов общеобменной вентиляции, воздушного отопления и кондиционирования воздуха защищаемых помещений следует предусматривать автоматически закрывающиеся при обнаружении пожара воздушные затворы (заслонки или противопожарные клапаны).

Заключение

Таким образом, в ходе представленной работы рассмотрен потенциально опасный объект предприятия нефтеперерабатывающего комплекса, а также основные технологические процессы и особенности работы на производстве мономеров. Кроме этого была достигнута цель работы, а именно – произведена оценка риска возникновения аварийных ситуаций на данном опасном производственном объекте.

Цель была достигнута при помощи выполнения следующих задач:

1. Проведен анализ потенциально-возможных аварийных ситуаций, которые могут возникнуть на Площадке производства мономеров;
2. Изучены основные причины возникновения аварий на установках по эксплуатации взрывоопасных веществ;
3. Рассмотрены основные методы предотвращения аварийных ситуаций на потенциально-опасных объектах нефтехимического комплекса;
4. Произведен расчет массы облака горючей смеси, выделившейся в ходе технологического процесса.
5. Рассчитаны и выявлены зоны возможного термического и барического поражения после взрыва образовавшегося облака ГВС;
6. Приведены рекомендации и мероприятия по повышению устойчивости эксплуатации установки.

Полученный результат говорит о потенциальной возможности возникновения аварийной ситуации, связанной с истечением горючих газов через неплотности соединений негерметичного оборудования с последующим взрывом. Любая ситуация, связанная с угрозой жизни и здоровью людей, разрушению установок и оборудования с последующей инициацией более серьезных последствий обязана быть на учете у предприятия, рассмотрена уполномоченными лицами и, как следствие, есть необходимость в разработке соответствующих инструкций и мероприятий по ее предупреждению. Принятие соответствующих мероприятий повысит уровень безопасности объекта, условий труда, а также снизит риск возникновения подобных аварий.

Список использованной литературы

1. Абросимов А. А. Экология переработки углеводородных систем. М.: Химия, 2002. 608 с.
2. Лебедева М. И., Богданов А. В., Колесников Ю. Ю. Аналитический обзор статистики по опасным событиям на объектах нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности // Интернет-журнал «Технологии техносферной безопасности». 2018. С. 8.
3. Хафизов И. Ф., Краснов А. В., Халитова Р. М. Основные причины аварий установок первичной переработки нефти и меры их предотвращения // Актуальные проблемы науки и техники – 2015: матер. VIII Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых. 2015. С. 214-215.
4. Хафизов И. Ф., Краснов А. В., Хафизова Э. Г. Усовершенствование методики, определения частоты возникновения пожара для зданий различного класса функциональной пожарной опасности // Нефтегазовое дело. 2012. № 3. С. 179.
5. Хафизов Ф. Ш., Краснов А. В., Мухин И. А. Частота реализации взрывоопасной ситуации для оценки риска внутри помещений // Нефтегазовое дело: электрон. науч. журн. 2015. № 5. С. 573-585. URL: http://ogbus.ru/issues/5_2015/ogbus_5_2015_p573-585_KhafizovFSh_ru.pdf.
6. Краснов А. В. Разработка методики определения расчетных величин пожарных рисков при взрывах сосудов под давлением: дис. канд. техн. наук. Уфа, 2013. 134 с.
7. Хафизов И. Ф., Бакиров И. К. Методика определения расчетных величин пожарных рисков на производственных объектах // Нефтегазовое дело: электрон. науч. журн. 2010. № 2. С. 42. URL: http://ogbus.ru/authors/HafizovIF/HafizovIF_2.pdf.
8. Швырков С. А., Семиков В. Л., Швырков А. Н. Анализ статистических данных разрушений резервуаров // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 1996. № 5. С. 39.
9. Справочник химика. В 5-ти томах. М.-Л.: Госхимздат, 1964-1966.

10. Джон Г. Перри, Справочник инженера-химика, т.1, Химия. Л. 1969.
11. Стрижевский И. И., Эльнатанов А. И., Факельные установки –М: Химия, 1979, 184с.
12. А. А. Борисов, Б. Е. Гельфанд, С. А. Цыганов, О моделировании волн давления, образующихся при детонации и горении газовых смесей. – Физика горения и взрыва №2, 1985.
13. Г. П. Демидко и др. Защита объектов народного хозяйства от оружия массового поражения: Справочник/. – Выща школа, 1989.
14. ГОСТ Р 12.3.047-98. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля.
15. Рекомендации по обеспечению пожарной безопасности объектов нефтепродуктообеспечения, расположенных на селитебной территории.- МВД РФ. ВНИИПО. М.- 1997г.
16. С. J. Н. van den Bosch, Yellow Book, Methods for the calculation of the physical effects – due to releases of hazardous materials (liquids and gases), Committee for the Prevention of Disasters, CPR-14E, The Hague, The Netherlands, Third edition, 1997.
17. Международный стандарт МЭК, 1025, 1990г. Анализ с использованием деревьев отказов.
18. Международный стандарт МЭК, 812, 1985г. Техника анализа надежности. Метод анализа вида и последствий отказов.
19. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия, термины и определения.
20. Справочник надежности. Пер. с англ. Под ред.Б. Р.Левина. В 3-х томах. М.:Мир, 1969.
21. Е.Дж.Хенли, Х. Кумамото. Надежность технических систем и оценка риска. Пер. С англ. Под ред. В.С. Сыромятникова.
22. Расчетно-пояснительная записка к Декларации промышленной безопасности производства «Подготовка сырья и готовой продукции», книга

8. Регистрационный номер, установленный ГУПСГПУННортехнадзором России, 01-04 (01).0226-11-РПН.

23. Постановление Правительства РФ от 30.07.2004 N 401 (ред. от 06.07.2018) «О Федеральной службе по экологическому, технологическому и атомному надзору».

24. Приказ Ростехнадзора от 26.12.12 № 781 «Об утверждении Рекомендаций по разработке планов локализации и ликвидации аварий на взрывопожароопасных и химически опасных производственных объектах».

25. Постановление Правительства РФ от 21.05.2007 № 304 «О классификации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера».

26. Постановление Правительства РФ от 30.12.2003 № 794 «О единой государственной системе предупреждения и ликвидации последствий аварий на объекте».

27. Федеральный закон от 21.07.1997 № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов».

28. РД 51-31323949-05-00 Методика определения технологических потерь газового конденсата на промысловых объектах ОАО «Газпром».

29. РД 39-142-00 Методика расчета выбросов вредных веществ в окружающую среду от неорганизованных источников нефтегазового оборудования.

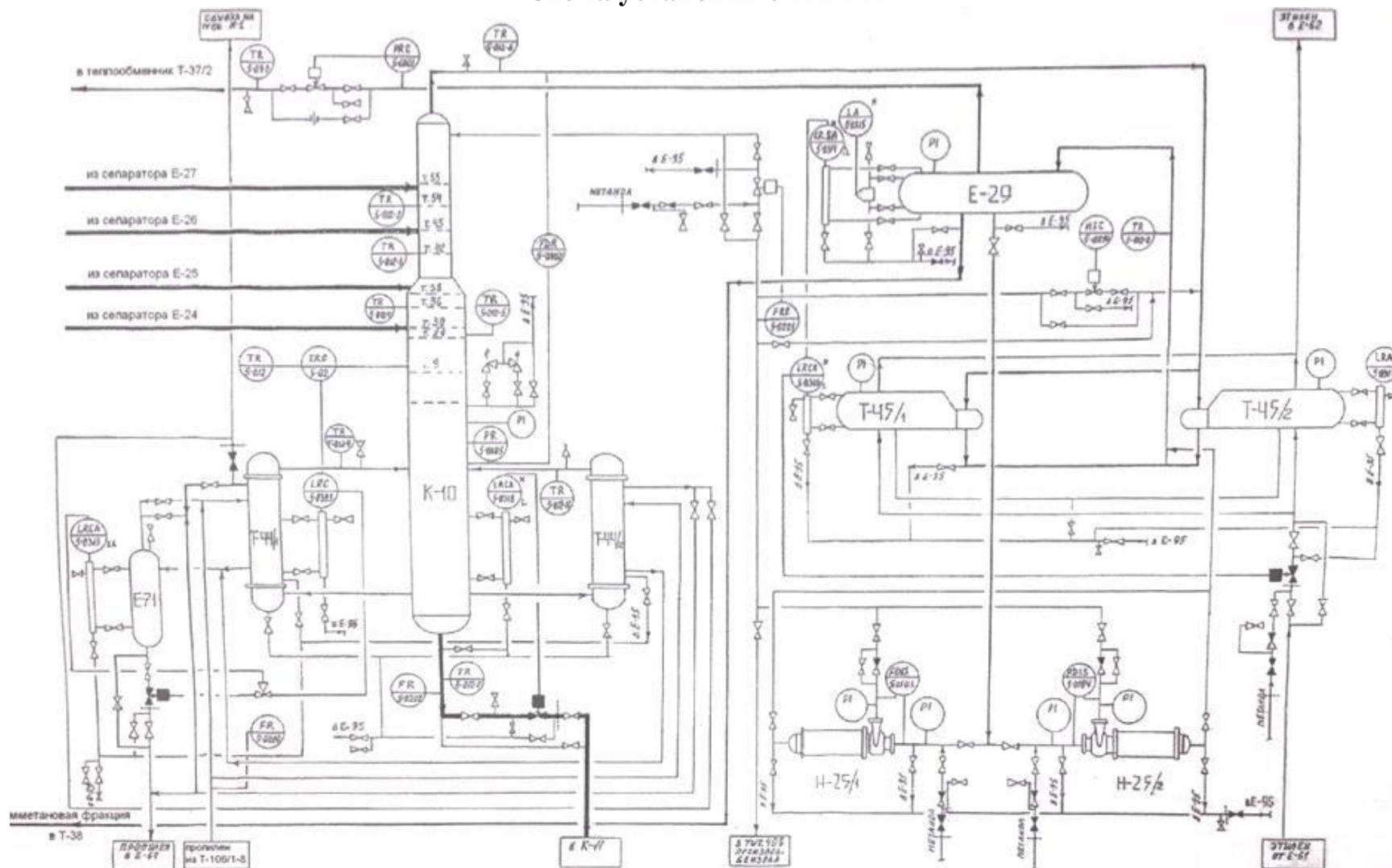
30. РД 153-39-019-97 Методические указания по определению потерь нефти на предприятиях нефтяных компаний Российской Федерации.

Приложение А

«Схема материального баланса технологических потоков производства мономеров»

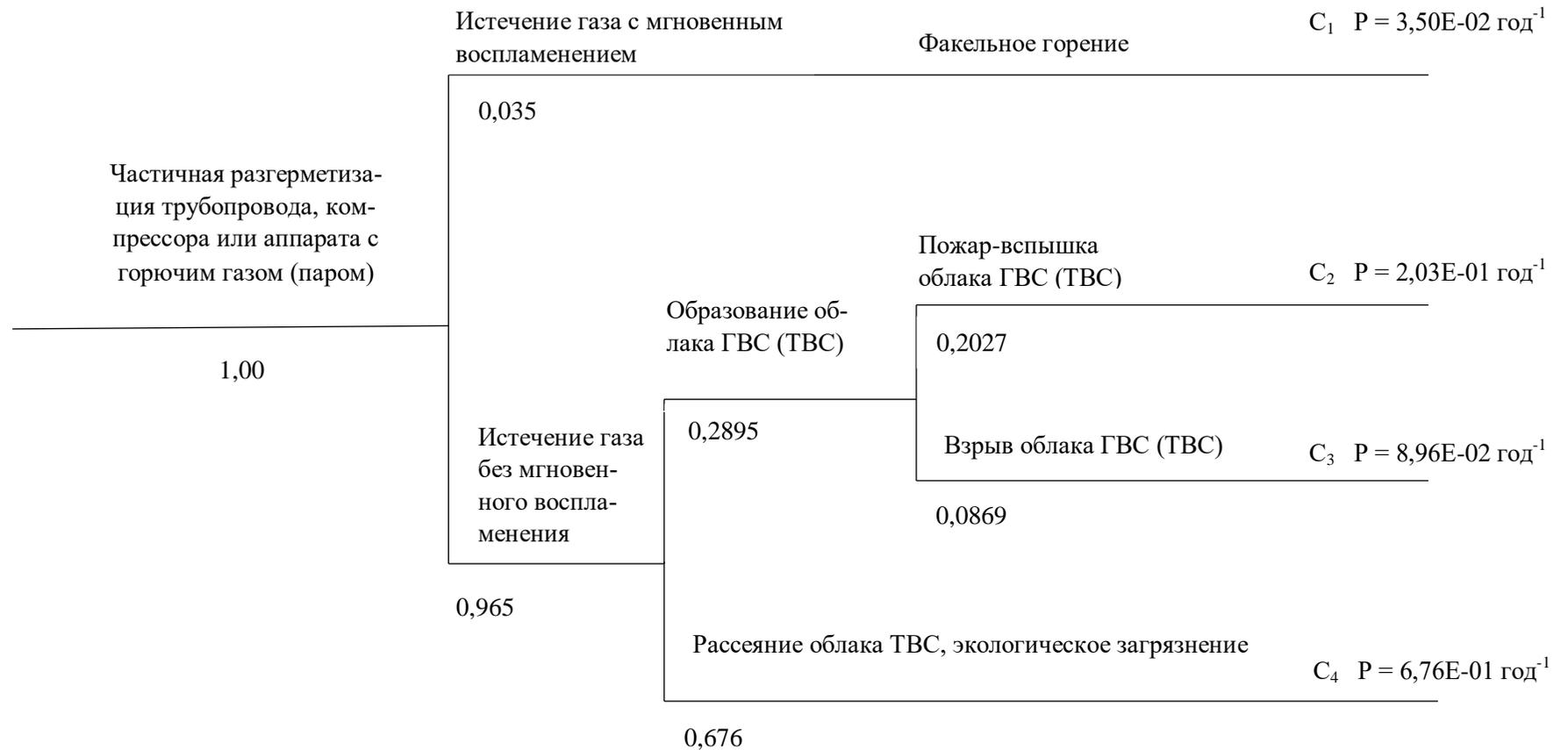
№ п./п	№ потока	Формула	30		32		34		36	
			кг/ч	% вес.	кг/ч	% вес.	кг/ч	% вес.	кг/ч	% вес.
1	Водород	H ₂	23,74	23,74	21,15	0,00-	6,46	0,08	7,36	0,11
2	Сернистый водород	H ₂ S	-	-	-	-	-	-	-	-
3	Оксись углерода	CO	7,41	7,41	32,11	0,12	21,74	0,28	53,13	0,78
4	Двуокись углерода	CO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-
5	Метан	CH ₄	3027,37	6,53	4593,78	16,47	2360,82	30,87	4830,16	70,98
6	Ацетилен (этин)	C ₂ H ₂	331,13	0,71	239,88	0,86	40,58	0,53	6,33	0,99
7	Этилен (этен)	C ₂ H ₄	17542,66	37,86	15857,83	56,86	4419,48	57,78	1769,29	26,00
8	Этан	C ₂ H ₆	5186,11	11,19	3519,87	12,62	654,25	8,55	134,65	1,98
9	Пропилен-1,2		456,77	0,99	76,99	0,28	2,20	0,03	0,04	-
10	Пропилен (пропен)	C ₃ H ₆	13521,46	29,18	3183,11	11,41	138,30	1,81	4,12	0,06
11	Пропан	C ₃ H ₈	423,79	0,91	85,13	0,31	3,01	0,04	0,07	-
12	Бутадиен-1,3		1992,59	4,30	113,64	0,41	0,77	0,01	-	-
13	Бутил (бутен-1)		2290,98	4,94	135,06	0,48	0,96	0,02	-	-
14	Бутан	C ₄ H ₁₀	221,95	0,48	11,97	0,04	0,08		-	-
15	Пентан	C ₅ H ₁₂	882,61	1,90	14,37	0,05	0,02		-	-
16	Гексан	C ₆ H ₁₄	61,69	0,13	0,31	-	-	-	-	-
17	Бензол	C ₆ H ₆	348,69	0,75	3,31	0,01	-	-	-	-
ИТОГО			46334,91	100	27888,54	100	7648,67	100	6805,16	100

«Схема установки УК и РП»



Приложение В

«Дерево событий при частичной разгерметизации трубопровода, компрессора или аппарата с горючим газом (паром)»



Приложение Г

«Схемы образовавшегося облака и областей его барического и термического воздействия после взрыва»



☆ - источник выброса газа;
○ - предполагаемое облако.



область полных разрушений

область сильных разрушений

область средних разрушений

область слабых разрушений



область огненного шара

область гибели 65% людей

область гибели 45% людей

Приложение Д

«Блок-схема анализа вероятных сценариев возникновения и развития аварии»

