

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки 15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств
 Отделение школы (НОЦ) Отделение автоматизации и робототехники

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Система противоаварийной защиты азотно-кислородной установки

УДК 004.896:661.98-049.65

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ТМ01	Чэнь Ян		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Курганов Василий Васильевич	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Былкова Татьяна Васильевна	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД ШБИП	Антоневич Ольга Алексеевна	К.б.н.		

По разделу на иностранном языке

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОИЯ ШБИП	Сидоренко Татьяна Валерьевна	К.п.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Суходоев Михаил Сергеевич	К.Т.Н.		

**ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП
15.04.04 «Автоматизация технологических процессов и производств»**

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК(У)-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
УК(У)-3	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
УК(У)-4	Способность к абстрактному мышлению, анализу, синтезу
УК(У)-5	Готовность действовать в нестандартных ситуациях, нести социальную и этическую ответственность за принятые решения
УК(У)-6	Готовность к саморазвитию, самореализации, использованию творческого потенциала
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способен формулировать цели и задачи исследования, самостоятельно изучать научно-техническую документацию своей профессиональной деятельности
ОПК(У)-2	Способен определить математическую и техническую сущность задач и провести их качественно-количественный анализ
ОПК(У)-3	Способен на основании статистических методов участвовать в проведении корректирующих и превентивных мероприятий, направленных на улучшение качества, интерпретировать и представлять результаты
ОПК(У)-4	Способен анализировать полученные результаты измерений на основе их физической природы и принимать обоснованные решения в области профессиональной деятельности
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способность разрабатывать (на основе действующих стандартов) методические и нормативные документы, техническую документацию в области автоматизации технологических процессов и производств, в том числе жизненному циклу продукции и ее качеству, руководить их созданием
ПК(У)-2	Способность руководить подготовкой заявок на изобретения и промышленные образцы в области автоматизированных технологий и производств, управляя процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством
ПК(У)-3	Обладает способностью разрабатывать технические задания на модернизацию и автоматизацию действующих производственных и технологических процессов и производств, технических средств и систем автоматизации, управления, контроля, диагностики и испытаний, новые виды продукции, автоматизированные и автоматические технологии ее производства, средства и системы автоматизации, управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством
ПК(У)-4	Обладает способностью проводить патентные исследования с целью обеспечения патентной чистоты и патентоспособности новых проектных решений и определения показателей технического уровня проектируемой продукции, автоматизированных и автоматических технологических процессов и производств, средств их технического и аппаратно-

	программного обеспечения
ПК(У)-5	Обладает способностью: составлять описание принципов действия и конструкции устройств, проектируемых технических средств и систем автоматизации, управления, контроля, диагностики и испытаний технологических процессов и производств общепромышленного и специального назначения для различных отраслей национального хозяйства, проектировать их архитектурно-программные комплексы
ПК(У)-6	Способность разрабатывать эскизные, технические и рабочие проекты автоматизированных и автоматических производств различного технологического и отраслевого назначения, технических средств и систем автоматизации управления, контроля, диагностики и испытаний, систем управления жизненным циклом продукции и ее качеством с использованием современных средств автоматизации проектирования, отечественного и зарубежного опыта разработки конкурентоспособной продукции, проводить технические расчеты по проектам, технико-экономический и функционально-стоимостной анализ эффективности проектов, оценивать их инновационный потенциал и риски
ПК(У)-7	Способность разрабатывать функциональную, логическую и техническую организацию автоматизированных и автоматических производств, их элементов, технического, алгоритмического и программного обеспечения на базе современных методов, средств и технологий проектирования

	<p>системе автоматизации и структурной схемы системы;</p> <p>5. Присвоение УПБ;</p> <p>6. Разработка приборных контуров защиты (SIF) системы ПАЗ воздухоразделительной установки;</p> <p>7. Выбор технических устройств для реализации контуров защиты;</p> <p>8. Расчет уровней полноты безопасности УПБ (SIL) приборных контуров защиты (SIF) системы ПАЗ воздухоразделительной;</p> <p>9. Реализация на основе БАЗИС;</p> <ul style="list-style-type: none"> - Структура; - Конструкция; - Алгоритм.
<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>1. Структура системы ПАЗ;</p> <p>2. Приборные контуры.</p>

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Былкова Татьяна Васильевна
Социальная ответственность	Антоневич Ольга Алексеевна
Раздел на иностранном языке	Сидоренко Татьяна Валерьевна

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

Назначение системы ПАЗ, Цели создания системы, Анализ рисков.

Оценка потенциальных опасностей при работе с криопродуктами (кислород, азот).

Методология анализа опасностей методом HAZOP, Метод графа рисков.

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	24.02.2022
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Курганов Василий Васильевич	К.Т.Н.		24.02.2022

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ТМ01	Чэнь Ян		24.02.2022

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки (специальность) 15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств

Уровень образования Магистратура

Отделение школы (НОЦ) Отделение автоматизации и робототехники

Период выполнения _____ (осенний / весенний семестр 2021 /2022 учебного года)

Форма представления работы:

магистерской диссертации (бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	06.06.2022
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
31.05.2022	Основная часть	60
31.05.2022	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	20
31.05.2022	Социальная ответственность	20

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Курганов Василий Васильевич	к.т.н.		24.02.2022

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Суходоев Михаил Сергеевич	к.т.н.		24.02.2022

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
8ТМ01	Чэнь Ян

Школа	ИШИТР	Отделение (НОЦ)	ОАР
Уровень образования	магистратура	Направление/ специальность	15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	<i>В реализации проекта задействованы два человека: руководитель, инженер.</i>
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	<i>ГОСТ 14.322-83 Нормирование расхода материала. Основные положения; ГОСТ 5154199 Энергосбережение. Энергетическая эффективность. Состав показателей. Общие положения.</i>
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	<i>Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды 30 %</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	<i>Описание потенциальных потребителей, анализ конкурентных технических решений, SWOT-анализ</i>
2. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	<i>Определение структуры и трудоёмкости работ в рамках НТИ, разработка графика проведения НТИ, планирование бюджета НТИ</i>
3. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	<i>Расчёт интегрального показателя финансовой эффективности, интегрального финансового показателя, интегрального показателя ресурсоэффективности для всех видов исполнения НТИ.</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. «Портрет» потребителя результатов НТИ
2. Сегментирование рынка
3. Оценка конкурентоспособности технических решений
4. Диаграмма FAST
5. Матрица SWOT
6. График проведения и бюджет НТИ
7. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ
8. Потенциальные риски

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	31.01.2022
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Былкова Татьяна Васильевна	к.э.н.		31.01.2022

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ТМ01	Чэнь Ян		31.01.2022

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа 8TM01		ФИО Чэнь Ян	
Школа	ИШИТР	Отделение (НОЦ)	ОАР
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств

Тема ВКР:

Система противоаварийной защиты азотно-кислородной установки

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>Введение</p> <ul style="list-style-type: none"> – Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения. – Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации 	<p>Объект исследования: приборный контур защиты для технологического процесса разделения воздуха на азот и кислород.</p> <p>Область применения: противоаварийная автоматическая защита для воздуходелительного процесса.</p> <p>Рабочая зона: офис</p> <p>Размеры помещения: 14*6 м</p> <p>Количество и наименование оборудования рабочей зоны: рабочий стол и персональный компьютер.</p> <p>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне: разработка приборных контуров защиты и для указанных технологических параметров, расчёт уровней полноты безопасности, реализация алгоритма на основе ПЛК БАЗИС.</p>
<p>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</p>	
<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p>ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.</p> <p>Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018)</p>
<p>2. Производственная безопасность:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов – Расчет уровня опасного или вредного производственного фактора 	<p>Вредные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> – повышенный уровень шума; – недостаточная освещенность рабочей зоны; – отклонение параметров микроклимата в помещении. <p>Опасные:</p> <ul style="list-style-type: none"> – поражение электрическим током. <p>Требуемые средства коллективной защиты от выявленных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> – средства нормализации освещения производственных помещений (источники света). <p>Фактор по какому будет производиться расчет:</p> <ul style="list-style-type: none"> – недостаточная освещенность рабочей зоны.

<p>3. Экологическая безопасность:</p>	<p>Воздействие на селитебную зону: не происходит; Воздействие на литосферу: анализ воздействия объекта на литосферу, гидросферу и атмосферу: утилизация отходов, связанные с выходом из строя ПК, люминесцентных ламп и др; Воздействие на гидросферу: анализ воздействия объекта на литосферу, гидросферу и атмосферу: утилизация отходов, связанные с выходом из строя ПК, люминесцентных ламп и др; Воздействие на атмосферу: анализ воздействия объекта на литосферу, гидросферу и атмосферу: утилизация отходов, связанные с выходом из строя ПК, люминесцентных ламп и др.</p>
<p>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p>	<p>Возможные ЧС: пожар в помещении. Наиболее типичная ЧС: пожар в помещении.</p>
<p>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</p>	
<p>22.02.2022</p>	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД ШБИП	Антоневич Ольга Алексеевна	к.б.н.		22.02.2022

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ТМ01	Чэнь Ян		22.02.2022

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 181 страница текста, 37 рисунков, 41 таблица, 63 источника литературы, 7 приложений.

Ключевые слова: воздуходелительная установка, противоаварийная автоматическая защита, уровень полноты безопасности, приборный контур защиты, средняя вероятность отказа по запросу.

Объектом исследования является система противоаварийной защиты для опасного производственного объекта «воздуходелительная установка».

Цель настоящей работы состоит в разработке основных технических решений по созданию этой системы.

В выпускной работе проведен анализ опасностей для воздуходелительной установки методом HAZOP, рассмотрены этапы создания системы противоаварийной автоматической защиты, назначены требуемые уровни полноты безопасности для выбранных контуров безопасности и проведен выбор оборудования.

Спроектированы приборные контуры безопасности для выбранных технологических параметров, разработаны алгоритмы управления и мнемосхемы для демонстрации работ алгоритмов.

Для выполнения данной работы были использованы следующие программные пакеты:

- текстовый редактор Microsoft Office 2016;
- online Diagram Software;
- программное обеспечение CoDesys 2.3;
- программный пакет MasterSCADA 3.12.

Оглавление

Термины и определения.....	16
Обозначения и сокращения.....	18
Введение.....	20
1 Описание воздуходелительной системы и системы ПАЗ.....	24
1.1 Описание технологического процесса разделения воздуха.....	24
1.2 Назначение системы ПАЗ.....	26
1.3 Цели создания системы.....	27
2 Анализ рисков.....	28
2.1 Оценка потенциальных опасностей при работе с криопродуктами (кислород, азот).....	29
2.2 Методология анализа опасностей методом HAZOP.....	31
3 Присвоение уровня полноты безопасности.....	36
3.1 Метод графа рисков.....	39
3.2 Определение УПБ для персоналов.....	43
3.2.1 Параметр последствий.....	43
3.2.2 Параметр экспозиции.....	44
3.2.3 Параметр избежания.....	44
3.2.4 Интенсивность запросов для рассматриваемой ФБ.....	44
3.3 Определение УПБ для актива.....	44
3.3.1 Параметр последствий.....	44
3.3.2 Параметр экспозиции.....	44

3.3.3	Параметр избежания.....	44
3.3.4	Интенсивность запросов для рассматриваемой ФБ.....	44
4	Разработка приборных контуров безопасности.....	46
4.1	Приборный контур защиты в общем виде.....	46
4.2	Приборные контуры защиты для каждого параметра.....	47
4.2.1	Приборный контур защиты для параметров QIS1261 и QIS1262...	47
4.2.2	Приборный контур защиты для параметра PИТ 1499.....	48
4.2.3	Приборный контур защиты для параметра ТИ 412.....	50
4.2.4	Приборный контур защиты для параметра ТИ 514.....	51
5	Выбор технических средств для реализации контуров в соответствии с требованиями УПБ.....	53
5.1	Общие требования к системе ПАЗ.....	53
5.2	Архитектурные ограничения и требования к техническому обеспечению	53
5.3	Выбор оборудования для системы ПАЗ.....	54
5.3.1	ПЛК БАЗИС-100.....	55
5.3.2	Электромагнитное реле PSR-PS20-1NO-1NC-24DC-SC-2700356...	57
5.3.3	Источник постоянного тока QUINT4-PS/1AC/24DC/20.....	59
5.3.4	Многооборотный привод SA.2 с AC 01.2-SIL/ACExC 01.2-SIL.....	60
5.3.5	Выбор конечного выключателя.....	62
5.3.6	Выбор газоанализатора для параметров QIS1261 и QIS1262.....	63
5.3.7	Выбор датчика давления для параметра PИТ 1499.....	65
5.3.8	Выбор датчиков температуры.....	67

6 Проверочные расчеты PFD_{avg} для подтверждения заявленного УПБ контуров безопасности.....	69
6.1 Расчеты УПБ (SIL) приборного контура защиты QIS1261 и QIS1262.....	70
6.2 Расчеты УПБ (SIL) приборного контура защиты PIT 1499.....	71
6.3 Расчеты УПБ (SIL) приборного контура защиты TI 412 и TI 514.....	72
7 Программная реализация приборных контуров защиты.....	74
7.1 Разработка структуры системы ПАЗ.....	74
7.2 Разработка алгоритмов управления системой ПАЗ.....	75
7.3 Программная реализация алгоритмов.....	77
7.4 Результат тестирования.....	80
8 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	82
8.1 Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ.....	82
8.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....	82
8.1.2 Анализ конкурентных технических решений.....	83
8.1.3 FAST-анализ.....	86
8.1.4 SWOT-анализ.....	92
8.2 Планирование управления научно-техническим проектом.....	98
8.2.1 Структура работ в рамках научного исследования.....	98
8.2.2 Определение трудоемкости выполнения работы.....	99
8.2.3 Разработка графика проведения научного исследования.....	104
8.2.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ).....	108

8.3	Определение ресурсной финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	117
8.4	Заключение по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение».....	120
9	Социальная ответственность.....	122
9.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	122
9.1.1	Правовые нормы трудового законодательства.....	122
9.1.2	Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны...	123
9.2	Производственная безопасность.....	125
9.2.1	Повышенный уровень шума.....	126
9.2.2	Недостаточная освещенность рабочей зоны.....	127
9.2.3	Отклонение показателей микроклимата.....	130
9.2.4	Поражение электрическим током.....	131
9.3	Экологическая безопасность.....	132
9.4	Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	133
9.5	Заключение по разделу «Социальная ответственность».....	134
	Заключение.....	136
	Список публикаций.....	137
	Список используемых источников.....	138
	Приложение А (Обязательное) Матрица оценки рисков.....	144
	Приложение Б (Обязательное) Протоколы анализа опасностей и работоспособности технологической части (АОР/HAZOP).....	148

Приложение В (Обязательное) Протоколы исследования опасности и работоспособности контуров безопасности, оценка требуемого SIL.....	151
Приложение Г (Обязательное) Технологические параметры и показатели системы управления.....	154
Приложение Д (Обязательное) Структура системы ПАЗ.....	157
Приложение Е (Обязательное) Программный код для реализации алгоритмов на языке ST.....	159
Приложение Ё (Справочное) Раздел на иностранном языке.....	162

Термины и определения

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

воздухоразделительные установки: Установки для разделения воздуха на компоненты, а именно на: кислород, азот, аргон, неон, ксенон, криптон и т.д.;

опасный производственный объект: Производственный объект, при эксплуатации которого высок риск аварий или иных инцидентов (аварийные ситуации);

противоаварийная автоматическая защита: Аппаратно-программный комплекс, который используется в критических приложениях для перевода системы в безопасное состояние;

система противоаварийной автоматической защиты: Система методов и устройств, которые предназначены для быстрого прекращения развития аварии;

HAZOP (англ. HAZARD and OPERABILITY , Опасность и Работоспособность): Процесс детализации и идентификации проблем опасности и работоспособности системы, выполняемый группой специалистов;

уровень полноты безопасности: Дискретный уровень, принимающий одно из четырех возможных значений и определяющий требования к полноте безопасности для функций безопасности ПАЗ. Уровень полноты безопасности, равный 4, характеризует наибольшую полноту безопасности; уровень, равный 1, отвечает наименьшей полноте безопасности. Полнота безопасности – это средняя вероятность того, что система ПАЗ успешно выполнит требуемые функции безопасности при всех заданных условиях в течение заданного времени;

приборная система безопасности: Система, применяемая в промышленных процессах, предназначена для предотвращения или смягчения воздействия опасных событий путем приведения процессов в безопасное состояние, когда нарушаются регламентированные условия работы;

приборный контур защиты: Один из слоев комплекса, отвечающего за

безопасность технологического процесса. Это логическая контрольно-измерительная система, которая обнаруживает ненормальные события в технологическом процессе (АС) и инициирует автоматические действия по размыканию энергии, срабатыванию клапанов и останову технологического объекта для приведения нарушения технологического режима к безопасному уровню;

контрольно-измерительные приборы и автоматика: Обобщающее название всех средств измерений (СИ) физических величин веществ, контрольно-измерительных приборов, используемых для автоматизации процессов и производств;

контрольно-измерительный прибор: Средство измерения, предназначенное для получения значений измеряемой физической величины в установленном диапазоне;

средняя вероятность отказа по запросу: Вероятность, значение которой показывает среднюю вероятность несрабатывания функции безопасности после подачи сигнала на ее включение;

резервирование: Эффективный метод повышения надёжности объекта путём введения избыточности.

Обозначения и сокращения

В данной работе применены следующие сокращения:

ВРУ – воздухоразделительные установки;

ПАЗ – противоаварийная автоматическая защита;

СПАЗ – система противоаварийной автоматической защиты;

ТЗ – техническое задание;

HAZOP – англ. HAZARD and OPERABILITY, Опасность и Работоспособность;

УПБ (SIL) – уровень полноты безопасности (SIL - Safety Integrity Level);

ПСБ (SIS) – приборная система безопасности (Safety Instrumented System);

SIF – приборный контур защиты;

ФБ – функция безопасности;

КИПиА – контрольно-измерительные приборы и автоматика;

ХОПО – химический опасный производственный объект;

ОУ – управляемое оборудование;

Э/Э/ПЭ – электрической (Э), электронной (Э), программируемой электронной (ПЭ);

ЗРА – запорно-регулирующая (трубопроводная) арматура;

БКОО – блок комплексной очистки и осушки;

НГО – нефтегазовая область;

КИП – контрольно-измерительный прибор;

SFF – минимальная доля безопасного отказа;

PFDavg – средняя вероятность отказа по запросу;

HFT – аппаратная избыточность для обеспечения функции безопасности;

ПЛК – программируемый логический контроллер;

RS-485 – (англ. Recommended Standard 485), EIA-485 (англ. Electronic Industries Alliance -485) — стандарт физического уровня для асинхронного интерфейса;

ШИМ – широтно-импульсная модуляция;

ПИД (PID) – пропорционально-интегрально-дифференцирующий;
TÜV – организации по техническому надзору (нем. Technischer
Überwachungsverein, сокращённо TÜV);

МЭК – международная электротехническая комиссия;

АЦП – аналого-цифровой преобразователь;

УО – управляемое оборудование;

АРМ – автоматизированное рабочее место;

ИМ – исполнительные механизмы;

ФСД – функционально-стоимостная диаграмма;

НТИ – научно-техническое исследование;

ТЗР – транспортно-заготовительный расход;

ПЭВМ – персональная электронно-вычислительная машина;

ЭВМ – электронно-вычислительная машина;

НТД – нормативно-техническая документация.

Введение

Автоматизация технологических процессов и производств является одним из определяющих факторов эффективности производства, повышения производительности труда, снижения затрат и себестоимости продукции. Данный факт очень сложно опровергнуть, тем более связь автоматизации и критериев эффективности производства очевидна. Автоматизация процессов не должна являться самоцелью, а уровень автоматизации должен иметь под собой здравый экономический расчет. Это означает, что технологический процесс и уровень его автоматизации должны соответствовать друг другу. Этот субъективный вывод, как и вывод о необходимости автоматизации, сделаны на основании следующего.

1. Автоматизация производства это достаточно дорогое удовольствие особенно для небольших предприятий. Более того сам экономический эффект от внедрения часто «размазан» во времени и создаётся впечатление о бесполезности проводимых модернизаций. Однако не всегда следует искать экономический эффект от внедрения каких-либо новаций или автоматизации. Например, улучшение условий труда наёмных работников трудно оценить экономически, если заработная плата и штат не изменились. Более того, речь может идти о потерянной выгоде, снижении прибыли собственника и т. д. Но и собственник и наёмный рабочий понимают, что без новаций, без движения вперёд, предприятие не выдержит конкуренции, либо не выйдет на заданные рубежи качества продукции. Сплоченность коллектива, взаимовыручка, высокий моральный дух монетизируются в длительном безаварийном режиме работы установки или производства, снижении количества травмоопасных случаев и заболеваний, в т. ч. сезонных и профессиональных.

2. Крупные необдуманные вложения в автоматизацию могут вообще не окупиться, если при этом был слабо проработан спрос на продукцию, логистика на поставку сырья и самой продукции и т. д.

3. Уровень подготовки работников коллектива должен соответствовать уровню знаний, предъявляемых со стороны системы автоматизации. Если в

этом вопросе наблюдается несоответствие, то дальнейшая эксплуатация установки, без кардинальных изменений в коллективе, будет невозможна.

Действительно, связь между автоматизацией и эффективностью производства проследить не сложно и она всегда есть. Другое дело, когда речь заходит о безопасности производства.

«Безопасность – состояние защищенности жизненно важных интересов личности, общества и государства от внутренних и внешних угроз, отсутствие недопустимого риска, связанного с возможностью нанесения ущерба» [1].

Безопасность производства следует рассматривать в контексте с таким вопросом как опасный производственный объект (ОПО).

Понятие ОПО описывается в Федеральном законе № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» [2].

Какие производственные объекты являются ОПО?

Производственный объект считается опасным, если он соответствует хотя бы одному из критериев, изложенным в Приложении 1 к этому закону [2].

После включения объекта в реестр опасных производственных объектов, который ведёт Ростехнадзор, объект становится обязательным для контроля со стороны Ростехнадзора.

К сожалению, безопасность эта та область, на которую собственник с большим нежеланием тратит собственные средства, и после проверок Ростехнадзора появляются Предписания, которые очень часто связаны с вопросами промышленной безопасности на объекте.

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена устранению замечаний Ростехнадзора, возникших в результате проверки опасного производственного объекта «воздухоразделительная установка». В соответствии с замечаниями на ОПО «воздухоразделительная установка» должна быть внедрена система противоаварийной защиты (ПАЗ).

Воздухоразделительная установка (ВРУ) - установка, разделяющая воздух на составляющие, а именно: Кислород, Азот, Аргон, Неон, Ксенон, Криптон и т.д.

Цель настоящей работы составлена на разработку основных технических решений по созданию системы ПАЗ на ОПО «воздухоразделительная установка».

Для взрывоопасных технологических процессов должны предусматриваться системы ПАЗ, предупреждающие возникновение аварии при отклонении от предусмотренных технологическим регламентом на производство продукции предельно допустимых значений параметров процесса во всех режимах работы и обеспечивающие безопасную остановку или перевод процесса в безопасное состояние по заданной программе.

Согласно действующим нормативным документам, проектирование систем ПАЗ должно основываться на результатах анализа опасности процесса, за которым следует оценка рисков, связанных с возможностью отказа контуров безопасности. Процедуры и методы выполнения этих требований для систем ПАЗ для непрерывных производственных процессов отражены в ГОСТ Р МЭК 61511-1-2018 «Безопасность функциональная. Системы безопасности приборные для промышленных процессов».

В целом, заказчикам систем ПАЗ рекомендуется разделить работу на два этапа.

- проведение анализа опасностей и рисков.
- выполнение работ по системе ПАЗ.

Выполнение работ по системе ПАЗ состоит из следующих этапов:

- разработка технического задания;
- разработку технорабочего проекта системы;
- поставка оборудования и программного обеспечения;
- монтажные работы на площадке Заказчика;
- пусконаладочные работы по системе ПАЗ;
- оформление исполнительной документации.

Задачи, которые необходимо решить для достижения поставленной цели:

- провести HAZOP – анализ для выявления опасностей;
- выявить риски и присвоить уровни полноты безопасности УПБ (SIL);

- разработать инструментальные контура безопасности;
- провести выбор оборудования в соответствии с требованиями УПБ;
- разработать структуру системы ПАЗ;
- разработать схемы и алгоритмы.

1 Описание воздуходелительной системы и системы ПАЗ

1.1 Описание технологического процесса разделения воздуха

Различные газы, которые входят в состав атмосферы, могут быть переведены в жидкое или даже твердое состояние методом повышения давления и соответствующего снижения температуры.

Такие методы представляют собой следующим образом, сначала преобразовать воздух в жидкое состояние, а затем проведем для него перегонку или ректификацию (фракционирование). Два момента важны для воздуходеления. Во-первых, компоненты воздуха образуют не химическое соединение, а физическую смесь, во-вторых, температуры кипения различных составляющих воздуха значительно отличаются.

Процесс воздуходеления разделяется в три этапа.

- подготовка и очистка воздуха;
- преобразование очищенного воздуха в жидкое состояние (сжижение);
- разделение жидкой смеси на отдельные компоненты методом ректификации.

Воздух, прошедший ряд фильтров механической фильтрации, попадает в компрессор, где сжимается до давления цикла, далее воздух поступает в БКОО, где с помощью абсорбентов из него удаляются влага, двуокись углерода и углеводороды, после чего воздух попадает в теплообменники [8]. Одновременно остальные составляющие газы охлаждаются и сжижаются. Газы с самыми низкими температурами кипения дополнительно охлаждаются, расширяясь и отдавая свою энергию в детандере. В третьей секции воздух подвергается ректификации в колоннах, в результате чего большинство газов отделяется и замораживается [7]. После них он попадает в нижнюю ректификационную колонну, где ректифицирует на кубовую жидкость (~ 35 % O₂, 2 % Ar, остальное — азот) и газообразный азот с чистотой ~99,99 % [8]. Дальнейшая обработка может состоять в разделении газов с близкими температурами кипения и очистке кислорода [7].

Если установка получает помимо азота ещё и кислород, то кубовая жидкость подается в середину верхней ректификационной колонны, а жидкий азот в верх верхней ректификационной колонны. Из верха верхней ректификационной колонны отбирается газообразный азот, внизу собирается жидкий кислород. Жидкий кислород попадает в конденсатор-испаритель, который производит теплообмен с газообразным азотом нижней ректификационной колонны. Со временем в конденсаторе-испарителе накапливается неон и гелий, что предусматривает установку вентиля для стравливания этих газов [8].

Разделение основано на разнице температур кипения сжиженного азота (-196°C) и кислорода (-183°C). Если воздух перевести в жидкую фазу, а затем дать ему испариться, то низкокипящие компоненты (азот) перейдут в газовую фазу, которая будет обогащена азотом в паре и кислородом в жидкости.

Воздух очищается и осушается, освобождается от пыли, водяных паров и углекислого газа, чтобы избежать образования льда в процессе сжижения.

Сжижение воздуха основано на методе, при котором газ охлаждается путем совершения работы за счет адиабатического расширения. В адиабатическом состоянии, т.е. без теплообмена с окружающей средой, процесс расширения сопровождается уменьшением внутренней энергии системы и связанной с ней температуры.

Воздух сжимается в турбокомпрессоре производительностью до 25 000 м³/год и давлением нагнетания более 0,7 МПа (рисунок 1.1).

Воздух ректифицируется с испарением азота из кипящего воздуха, в результате чего получается смесь, содержащая 93% азота и 7% кислорода. Воздух практически полностью разделяется на эти компоненты путем двухкамерной ректификации в двухкамерной установке из нержавеющей стали. Установка производит 15 000 м³/год азота с чистотой 99,998% и 8 000 м³/год кислорода с чистотой 95%.

Воздухоразделительная установка может производить инертные газы в соответствии с их точками кипения и имеет дополнительные колонны для ректификации необходимых газов [9].

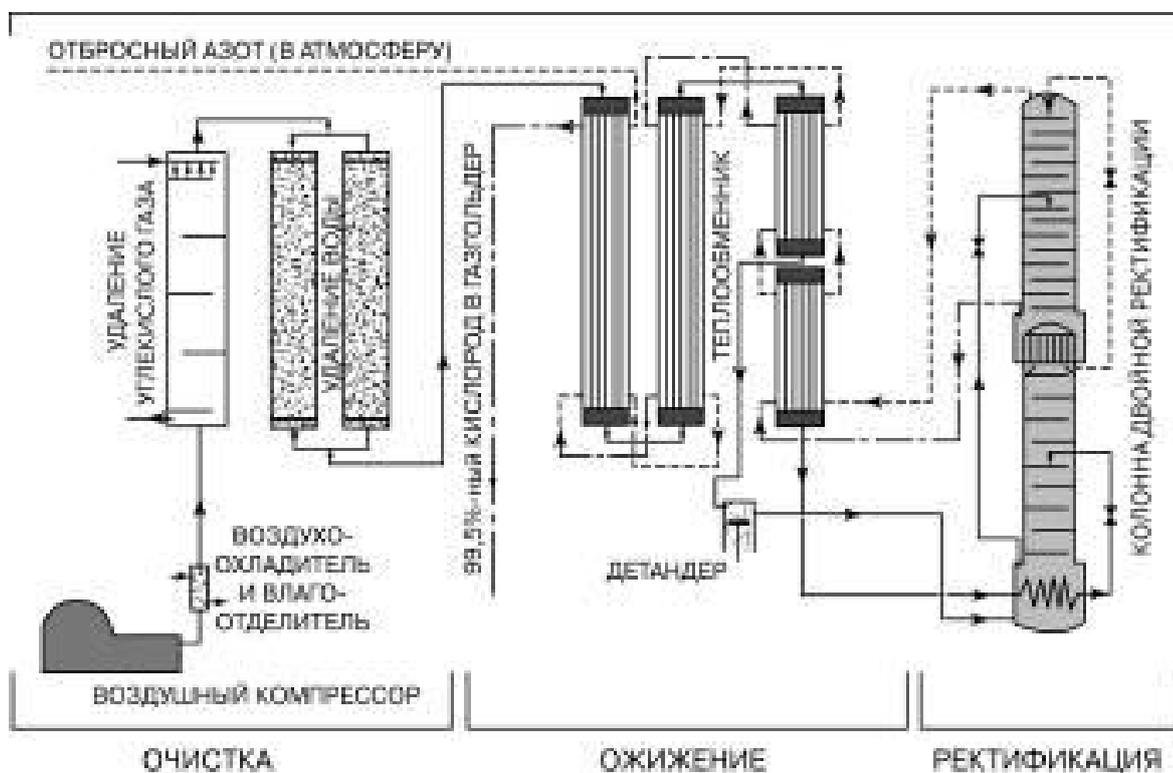


Рисунок 1.1 – Схема технологического процесса разделения воздуха на азот и кислород

1.2 Назначение системы ПАЗ

Система противоаварийной автоматической защиты предназначена для осуществления операций по контролю и защите технологического процесса от аварийных ситуаций (выход технологических параметров за установленные границы, отказ оборудования, нештатные ситуации) и переводе его в безопасное состояние в ходе получения азота и кислорода, проводимых с использованием воздухоразделительных установок.

Система должна решать следующие задачи:

- измерение технологических параметров;
- контроль отклонений параметров и состояния технологического оборудования;
- автоматическая защита и блокировки;
- ручное дистанционное управление;

- диагностика электрических цепей, технических средств и самодиагностика системы ПАЗ;

- защита от несанкционированного доступа;

- предаварийная сигнализация, визуализация и архивирование информации о ходе технологического процесса.

1.3 Цели создания системы

Система разрабатывается с целью:

- приведения объекта в соответствие с требованиями Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности;

- повышения уровня безопасности эксплуатации технологических установок;

- защиты технологического оборудования от отказов и аварий в процессе производства;

- улучшения степени информированности, условий и культуры труда персонала.

Критериями оценки выполнения целей создания системы должны являться:

- отсутствие травматизма на производстве;

- безаварийная работа технологического оборудования;

- минимизация последствий отказов и аварий оборудования;

- своевременное обеспечение оперативного и обслуживающего персонала всей необходимой информацией о работе воздуходелительных установок.

Достижение цели должно обеспечиваться благодаря:

- минимизации вероятности развития аварийных ситуаций, их распознавания и предотвращения;

- аппаратной и программной избыточности, резервирования критичных для функциональной безопасности компонентов системы.

2 Анализ рисков

В соответствии с пунктом 3.1.6 ГОСТ Р МЭК 61508-4-2012 [4] «Риск (risk) это сочетание вероятности события причинения вреда и тяжести этого вреда».

Стандарты МЭК (Международной Электротехнической Комиссии) IEC61508/61511, аналогами которых являются российские стандарты ГОСТ Р МЭК 61508/61511, не гарантируют абсолютной безопасности, а позволяют понизить риск до приемлемого уровня, то есть декларируют «свободу от неприемлемого риска».

Для анализа рисков используются различные методы оценки, в том числе и HAZOP, который подробно рассмотрен в настоящей работе. Целью таких исследований является разработка способов управления рисками. В этом смысле, управление риском есть процесс выявления (идентификации), анализа и выработки решений, которые позволят минимизировать отрицательные последствия в случае возникновения риска.

Оценка риска даёт ответ на следующие вопросы:

- перечень событий сопряжённых с риском;
- каковы последствия наступления этих событий;
- какова вероятность их наступления;
- какие мероприятия или технические решения могут минимизировать последствия этих событий.

В ходе анализа рисков какого-либо промышленного объекта (см. рисунок 2.1) определяются события, которые инициируют нежелательные последствия (отказы, аварии), исследуют процесс протекания этих событий, анализируют возможные последствия.

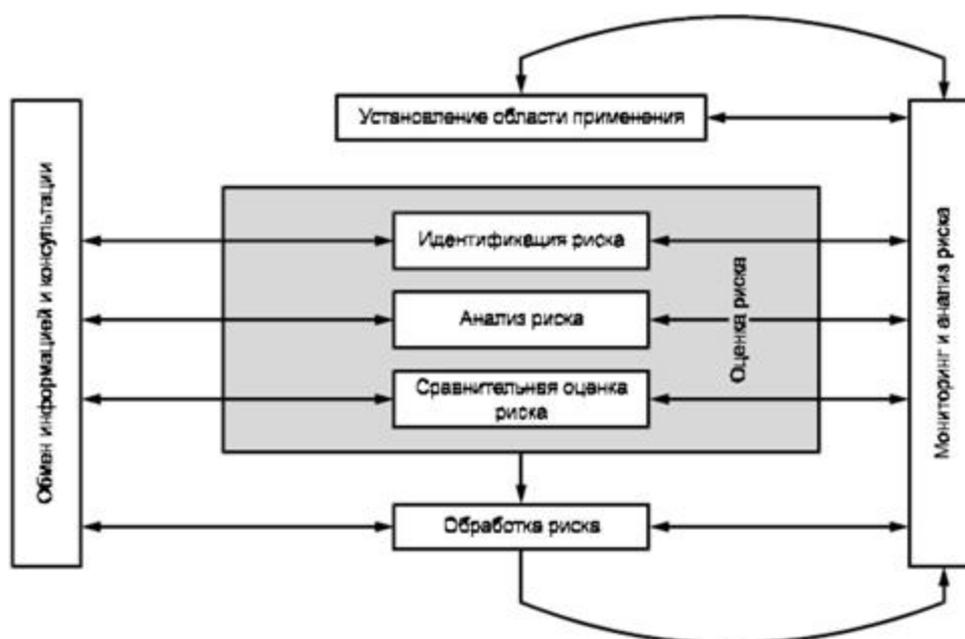


Рисунок 2.1 – Анализ рисков промышленного объекта

Кроме всего прочего, в результате мероприятий по оценке риска будет получен ответ о приемлемости или неприемлемости уровня риска. Риск, превышающий заданный (установленный) уровень, недопустим. Такой риск в нормальных условиях нельзя оправдать. Он должен быть понижен до заданного уровня, либо устранён вообще (например, устранение источника опасности).

Приемлемый риск это некий компромисс между желаемым уровнем безопасности и затратами на его достижение. Уровень приемлемого риска лежит в диапазоне от 5×10^{-6} до 5×10^{-5} в год, что означает смерть от 1 до 10 человек на 200 000 человек в год. В этом случае добровольные приемлемые риски (риски для третьих лиц) выбираются из более низких значений в этом диапазоне, в то время как добровольные риски могут быть приемлемыми из более высоких значений в указанном диапазоне.

2.1 Оценка потенциальных опасностей при работе с криопродуктами (кислород, азот)

Чистый кислород (в жидкой или газообразной форме) и его смеси с воздухом не токсичны, не воспламеняются самопроизвольно и не взрываются. Однако кислород является очень активным окислителем и при контакте с большинством веществ и материалов образует горючую систему с повышенным риском взрыва, что обусловлено следующими факторами.

1. Материалы в кислороде воспламеняются от источников, обладающих в десятки раз меньшей энергией, чем та, которая требуется для воспламенения материалов в воздухе. К источникам воспламенения относятся открытый огонь, курение, неисправная проводка, электрические разряды, статическое электричество, трение, удары воды и газа, вызванные внезапным открытием клапанов.

2. Многие материалы, которые вообще не могут гореть на воздухе, способны поддерживать свое существование в чистом кислороде.

3. Вещества и материалы сгорают в кислороде (жидком и газообразном) в (10 - 100) раз быстрее, чем на воздухе; органические соединения сгорают особенно быстро.

Работа с кислородом связана со следующими опасностями.

1. Накопление паров кислорода в воздухе в низких и застойных зонах вследствие утечки газообразного кислорода и случайного разлива жидкого кислорода в количестве, превышающем установленный предел безопасности - 23% по объему.

2. Накопление органических веществ и других загрязнений (сварочный шлак, шлифовальная стружка, железный порошок) в трубопроводе подачи кислорода в процессе длительной эксплуатации.

3. Повреждение материала, вызванное хрупкостью и холодным разрушением при низких температурах жидкого кислорода.

4. Ожоги, вызванные контактом жидкого кислорода с открытыми частями тела, контактом с переохлажденными предметами, вдыханием холодных паров и воздуха жидкого кислорода в легкие.

5. Опасность возгорания одежды и волос операторов, подвергающихся воздействию газообразного кислорода или воздуха, насыщенного кислородом.

6. Опасность насыщения одежды кислородом из-за близости к открытому пламени, что может привести к мгновенному воспламенению, если зажечь спичку.

Жидкие продукты разделения воздуха имеют очень низкую температуру (криогенную) и могут легко испаряться при обычных температурах, многократно увеличивая свой объем.

Работа с продуктами разделения жидкого воздуха сопряжена со следующими нижеперечисленными опасностями.

1. Риск обморожения для оператора.
2. Риск быстрого кипения, которое создает высокое давление в закрытых емкостях.
3. Риск повреждения конструкций из углеродистой стали и других неохлаждаемых металлов и материалов.
4. При использовании жидкого азота или в случае аварийного разлива испарение жидкости сопровождается повышением концентрации кислорода в зоне разлива. Если концентрация кислорода в жидкости достигает 30% по объему, возникает такая же опасность, как и при использовании жидкого кислорода.

В соответствии с ГОСТ 5583-78 «Кислород газообразный технический» [13] и ГОСТ 6331-78 «Кислород жидкий технический» [14] – не токсичен, не горюч, не взрывоопасен. Кислород не имеет класса опасности и не представляет опасности для окружающей среды. Кислород относится к окисляющей химической продукции и является окисляющим веществом (окислителем), которое увеличивает способность других материалов к горению.

2.2 Методология анализа опасностей методом HAZOP

В соответствии с рекомендациями Руководства по безопасности "Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах" [31] работы по анализу рисков проводились с использованием метода «Анализ опасностей и работоспособности технологической системы» (HAZard and Operability Study – HAZOP, далее метод АОР).

Цель анализа HAZOP – выявление возможных отклонений в безопасности и работоспособности технологической системы (далее –

«опасностей») и последствий их реализации, а также принятых мер защиты, определение тяжести последствий и оценка вероятности отклонений по матрице оценки рисков и формирование рекомендаций по снижению риска аварий.

Согласно ГОСТ Р 27.012-2019 "Анализ опасности и работоспособности (HAZOP)" [32] HAZOP является качественным методом, используется для анализа причин и для исследования опасностей отклонений технологических параметров (температура, давление, расход и т.д.) от регламентных режимов с учетом существующих методов защиты и целесообразностью дополнительных средств защиты для приборных контуров защиты.

Перед проведением процедуры HAZOP были определены цели исследования, в том числе:

- безопасность – обеспечение безопасности жизни и здоровья персонала;
- эксплуатация – обеспечение работоспособности оборудования, поддержания регламентного режима работы установок;
- окружающая среда – защита от загрязнения.

Допущения при анализе.

1. В качестве причин отклонений от проектного замысла должны рассматриваться: отказы датчиков и элементов систем управления технологическими процессами, отказ технологических систем, некорректные действия при эксплуатации, отказы клапанов аварийного останова, ЗРА, потеря герметичности стандартных обратных клапанов, нарушения технологического режима.

2. При анализе HAZOP в качестве причин отклонений от проектного замысла не должны рассматриваться следующие отказы: отказы предохранительных клапанов, одновременные отказы (за исключением случаев, когда имеются критические последствия и ранее были зафиксированы аналогичные сценарии развития событий).

3. В рабочие протоколы HAZOP вносились все отклонения, включая не релевантные и не рассматриваемые.

Шаг анализа HAZOP в рамках исследуемых узлов состоит из обсуждений в рабочей группе и заполнения рабочих листов по следующим шагам.

1. Узлы исследуются с исследованием контрольных слов и технологических параметров для выявления возможных причин отклонений и опасностей процесса.

2. Если отклонения/причины опасности обнаружены, определяют последствия каждого отклонения или причины опасности для жизни и здоровья людей, окружающей среды и производства.

3. Определение уровня тяжести последствий с использованием матрицы оценки рисков, представленной в Приложении А;

4. Определение существующих мер защиты исследуемого узла по каждой выявленной причине опасности;

5. Выработка рекомендаций для снижения (смягчения) риска, недопущения выявленных отклонений или устранения источника опасности;

6. Принятие решения по степени критичности рекомендации.

В ходе анализа УПБ/SIL проведена оценка функций инструментальной безопасности (ПАЗ), входящих в технологические узлы, приведенные в Приложении Б, и по которым проводился анализ HAZOP. В оценку SIL включены также функции безопасности, которые были дополнены во время анализа HAZOP.

При определении уровня целостности безопасности (SIL) для каждой автоматизированной функции безопасности оценивается минимальный уровень целостности безопасности для обеспечения безопасной эксплуатации химически опасных производственных объектов.

Для категории "Тяжесть последствий для персонала" параметры установлены с использованием графа рисков по критерию "Ущерб людям (P)".

Для категории "Ущерб имуществу (активам) и другие косвенные убытки (A)" параметры установлены с использованием графа риска для анализа

безопасности окружающей среды и сохранности оборудования, сырья и продукции.

Для категории "Экологический ущерб" (Э) параметры не установлены, поскольку ущерб для окружающей среды предполагается незначительным и исключены негативные последствия на флору и фауну при разливах криопродуктов.

Любые отклонения от нормальных условий эксплуатации были проанализированы вместе с соответствующими причинами и последствиями с использованием применимых управляющих слов.

Протоколы анализа опасностей и работоспособности технологической части представлены в приложении Б.

Для идентификации потенциальных отклонений от целей исследования использовался метод ответа на вопросы, сформулированные при помощи перечня управляющих слов, приведенных в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Перечень управляющих слов

Управляющее слово	Значение
БОЛЕЕ	Увеличение значения технологического параметра
МЕНЕЕ	Уменьшение значения технологического параметра
ОТКЛОНЕНИЕ	Отклонение значения технологического параметра
СОСТОЯНИЕ	Состояние оборудования и условие при функционировании

Результатом анализа HAZOP являются меры в виде рекомендаций и направленные на исключение / снижение воздействия негативных факторов от источников опасностей для обслуживающего персонала, окружающей среды, проектируемых и/или существующих зданий и сооружений, отклонений от нормального функционирования технологического процесса.

Рекомендации классифицировались по трём категориям критичности:

- высокая – без завершения рекомендаций в категории высокого риска запрещается переход к следующей стадии;

- средняя – рекомендация должна быть завершена до ввода в эксплуатацию;
- низкая – рекомендация должна быть завершена до начала эксплуатации.

3 Присвоение уровня полноты безопасности

SIL (Safety Integrity Level) - уровень полноты безопасности имеют дело с опасными ситуациями отказа, которые приводят к авариям, катастрофам и гибели людей. Уровни SIL определяют величину приемлемого риска для системы. Они являются мерой вероятности того, что система будет правильно выполнять функции, связанные с безопасностью.

Полнота безопасности увеличивается по мере увеличения числа степеней, поэтому число 1 означает самый низкий уровень безопасности, а число 4 - самый высокий уровень безопасности.

Концепция построения системы безопасности, в случае настоящей работы системы ПАЗ (в ГОСТ Р МЭК 61508-2012 [6] системы Э/Э/ПЭ: на электрической (Э), электронной (Э), программируемой электронной (ПЭ) базе, или их сочетаниях) основана на понятии приемлемого (допустимого) в конкретной ситуации риска. Приемлемый риск, который можно характеризовать как компромисс между реальным и «разумным» риском, должен учитывать как частоту возникновения опасных событий, так и тяжесть их последствий. Именно на эти системы возложена задача понижения величины риска до приемлемого.

Полнота безопасности является вероятностью, связанной с безопасностью выполнения требуемой функции безопасности системой при определенных условиях и в течение определенного периода времени. Полнота безопасности отражается в способности выполнения функции безопасности системой.

Полнота безопасности включает в себя следующие составляющие:

- случайная составляющая;
- систематическая составляющая.

Первая составляющая, "полнота безопасности аппаратных средств", связана с неожиданными отказами технических средств, которые классифицируются как опасные отказы. Она характеризуется двумя параметрами:

- средней интенсивностью опасных отказов;
- вероятностью отказа при обработке запроса.

Первый параметр связан с непрерывным контролем безопасности, второй используется в контексте с безопасностью систем защиты. Оба параметра имеют количественную оценку. В соответствии с этим, уровень полноты безопасности с определённой точностью может быть достигнут за счет использования высоконадёжных аппаратных средств с низкими составляющими отказов, либо за счет различных архитектур, использующих избыточность.

Вторая часть полноты безопасности связанная с систематическими отказами. Эта составляющая, в отличие от первой, не может быть оценена количественно. Источниками систематических отказов являются различные ошибки в проектировании, программном обеспечении и т. д. С одной стороны влияние систематических отказов на полноту безопасности можно каким-либо образом оценить, с другой стороны их трудно предсказать. Следует помнить, что методы направленные на уменьшение вероятности случайных отказов, а в общем случае не приведут к снижению систематических отказов.

В настоящей работе рассматривается случай использования функции безопасности с низкой частотой запросов (не более 1 раза в год).

Требуемый УПБ должен быть таким, как:

- обеспечение средней вероятности отказов на уровне приемлемого риска по запросу систем, связанных с безопасностью;
- минимизация последствий отказа на уровне приемлемого риска.

На рисунке 3.1 представлена модель концепции снижения риска:

- риск ОУ (управляемое оборудование) – риск, связанный с ОУ, системой управления ОУ и человеческим фактором, присутствующим в управлении процессом (другими словами «исходный риск», какие либо средства безопасности не рассматриваются);

- различные средства снижения риска, в том числе Э/Э/ПЭ системы, связанные с безопасностью.

В соответствии с [6] система управления УО должна быть независима от Э/Э/ПЭ системы, связанной с безопасностью и систему управления УО не требуется позиционировать как систему, связанную с безопасностью.

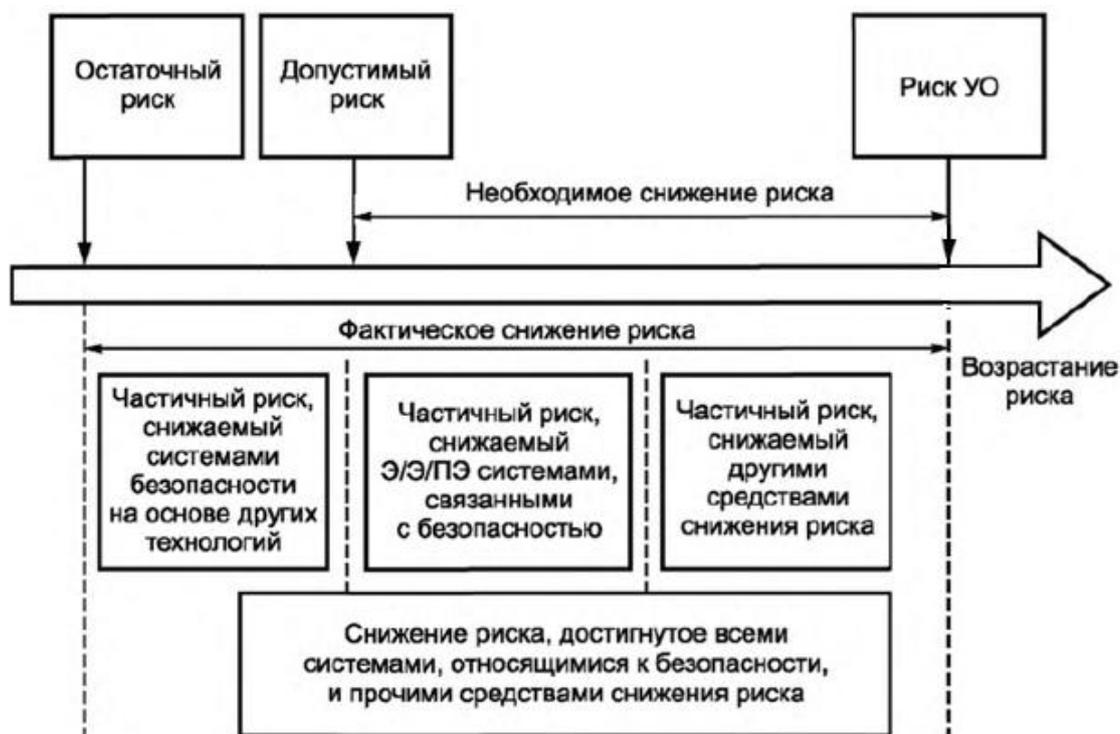


Рисунок 3.1 – Модель концепции снижения риска

Применение на объекте комбинации всех средств, связанных с безопасностью, включая Э/Э/ПЭ системы позволяет снизить риск до величины остаточного.

Присвоение УПБ делится на качественный анализ и количественный анализ, количественный анализ требует много человеческих и материальных ресурсов, а качественный анализ проще и быстрее, в данной работе принимается качественный анализ, для определения уровней полноты безопасности используется метод графа рисков.

Метод графа рисков отражает возможное опасное состояние, когда функция безопасности дает сбой или функция безопасности не устанавливается через взаимосвязь между четырьмя параметрами. Четыре параметра: параметр последствий, параметр экспозиции, параметр избежания, параметр спроса.

Процедура построения графа рисков использует уравнение (3.1) для определения сочетания частоты и последствий конкретного опасного события:

$$R = f \cdot C \quad (3.1)$$

где R – риск, если система безопасности отсутствует;

f – частота опасного события, в случае отсутствия системы безопасности;

C – последствия опасного события.

Факторы, влияющие на частоту опасного события f :

- частота и время пребывания в опасной зоне;
- возможность избежать этого события;
- вероятность этого события без системы безопасности.

3.1 Метод графа рисков

При назначении SIL сначала выбираются контуры управления ПСБ, которые появляются во вновь добавленных рекомендациях в анализе HAZOP, и описываются их инструментальные функции безопасности. Во-вторых, проанализируется отклонение процесса, которое может произойти, когда функция безопасности должна функционировать, а затем присвоятся значения параметрам последствий, параметрам экспозиции, параметрам избежания и интенсивностям запросов для рассматриваемой ФБ в соответствии с воздействием на личную безопасность, окружающую среду и активы. При возникновении ситуации Диаграмма соответственно определяет уровень полноты личной безопасности, уровень полноты безопасности окружающей среды и уровень полноты безопасности активы, которые должна иметь функция прибора безопасности, и принимает наивысшее значение уровня в качестве требуемого значения уровня полноты безопасности.

Эти факторы являются исходными для характеризующих риск параметров:

- C – последствия опасного события (параметр последствий);
- F – частота и время пребывания в опасной зоне (параметр экспозиции);
- P – вероятность возможного избежания опасности (параметр избежания опасности);

- W – вероятность нежелательного события (интенсивность запросов для рассматриваемой ФБ).

Параметры риска могут быть описаны как качественно, так и количественно. Рассмотрим качественный способ описания риска. Количественный способ подробно изложен в [5].

Значения параметров графа рисков приведены ниже:

1. C – последствия опасного события (параметр последствий):

Параметр последствий относится к количеству погибших и серьезных травм, вызванных опасностью, рассчитанному путем расчета количества людей в зоне воздействия (площадь, затронутая опасностью, в процентах от общего поля) во время опасности.

$$C_A < C_B < C_C < C_D$$

Для персоналов:

C_A – незначительные травмы;

C_B – серьезные травмы одного или нескольких рабочих и возможна смерть одного рабочего;

C_C – смерть нескольких рабочих;

C_D – большие потери среди работников, катастрофические последствия.

Для актива:

C_A – маленькая потеря актива;

C_B – средняя потеря актива;

C_C – большая потеря актива;

C_D – огромная потеря актива.

2. F – частота и время пребывания в опасной зоне (параметр экспозиции):

Под параметром экспозиции понимается вероятность появления людей в зоне воздействия при возникновении опасности, которая определяется путем расчета отношения времени нахождения человека в зоне воздействия ко времени возникновения опасности. Следует учитывать вероятность того, что люди придут на площадку для проверки, когда произошла авария, что также может увеличить количество смертельных случаев и травм.

$$F_A < F_B$$

F_A – от редкого до относительно частого (меньше или равно 0.1);

F_B – от частого до постоянного (больше 0.1).

3. P – вероятность возможного избежания опасности (параметр избежания):

Параметр избежания относится к вероятности того, что персонал может избежать опасности, когда функция прибора выходит из строя, что зависит от того, можно ли использовать независимый метод для предупреждения оператора до того, как произойдет опасная авария, и от оператора требуется освоить правильный выход. Во избежание разделения уровня параметра на P_A и P_B , P_A можно выбирать только при соблюдении всех следующих предварительных условий:

А. Имеется поддержка оборудования для оповещения операторов о сбое защиты SIS;

В. Имеются независимые средства для отключения или эвакуации, чтобы избежать опасности или обеспечить эвакуацию всего персонала в безопасную зону;

С. Интервал времени между оповещением оператора и возникновением опасного события превышает время, необходимое для остановки или эвакуации.

$$P_A < P_B$$

P_A – при определённых условиях возможно;

P_B – почти невозможно.

4. W – вероятность нежелательного события (интенсивность запросов для рассматриваемой ФБ)

Интенсивность запросов для рассматриваемой ФБ представляет собой вероятность возникновения опасности при условии, что защита функции устройства безопасности отсутствует, то есть вероятность того, что функция устройства безопасности требуется, и необходимо учитывать все условия отказа, которые могут привести к возникновению опасности. Оценка вероятности запроса – это вероятность того, что ПСБ необходима для

выполнения системой управления своей функции при рассмотрении аварийных условий.

$$W_1 < W_2 < W_3$$

W_1 – очень низкая (1 раз в 10 лет);

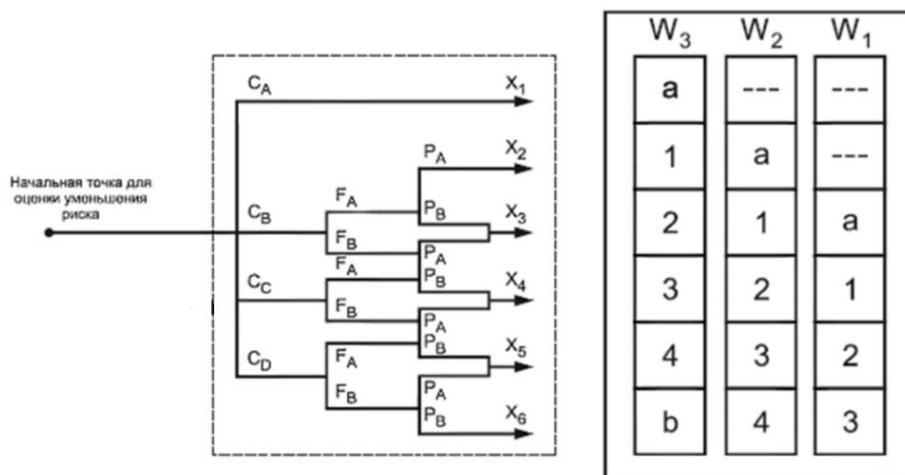
W_2 – низкая (1 раз в 1 – 10 лет);

W_3 – высокая (несколько раз в течение 1 года).

Смысл графа риска заключается в формировании на основании входных параметров C , F и P выходного параметра X , который отображается на одну из трёх шкал W , которые, в свою очередь, связаны с конкретным УПБ. Этот уровень должен быть достигнут после внедрения Э/Э/ПЭ системы, связанной с безопасностью.

Смещение шкал W_1 , W_2 и W_3 относительно друг друга позволяет учесть уменьшение риска, которое достигается за счет других средств и систем. Для шкалы W_1 вклад других средств и систем максимальный, для шкалы W_2 промежуточный, для шкалы W_3 минимальный.

Граф рисков представлен на рисунке 3.2.



--- – нет требований безопасности;

a – нет специальных требований безопасности;

b – одна функция безопасности Э/Э/ПЭ не достаточно требований безопасности;

1,2,3,4 – уровень полноты безопасности 1 – 4.

Рисунок 3.2 – Граф рисков

3.2 Определение УПБ для персоналов

3.2.1 Параметр последствий

Пусть N — количество персонала в потенциально опасной зоне, A — доля потенциально опасной зоны во всей площади предприятия, V — коэффициент смертельных исходов, градации параметров последствий приведены в таблице 3.1. Коэффициент смертельных исходов определяется опасностью защищаемой среды, коэффициент смертельных исходов и соответствующий риск приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.1 – Градации параметра последствий

Параметр	Диапазон
C_A	небольшая травма
C_B	$0.01 < N * A * V \leq 0.10$
C_C	$0.10 < N * A * V \leq 1.00$
C_D	$N * A * V \geq 1.00$

Таблица 3.2 – Коэффициент смертельных исходов и соответствующий риск

Коэффициент смертельных исходов V	Описание
0,01	Накопление органических веществ и других загрязнений
0,10	Опасность обморожения
0,50	Пожар
1,00	Взрыв

Обычно в опасной зоне находятся два оператора, на долю которых приходится 13 % всей установки. Если есть опасность, это может привести к крупномасштабной утечке опасных веществ. Поэтому параметр последствий $C = N * A * V = 2 * 13 \% * 0.1 = 0.026$, по диапазону в таблице 5.1, параметр последствий выбираем C_B .

3.2.2 Параметр экспозиции

Каждый оператор находится в опасной зоне 20 минут в день, поэтому параметр экспозиции $F = 20 \text{ min}/(24 * 60 \text{ min}) = 0.013 < 0.1$, параметр экспозиции выбираем F_A .

3.2.3 Параметр избежания

В реальной эксплуатации, после отказа приборной системы безопасности, можно подать оператору сигнал тревоги через систему сигнализации, но интервал времени между оповещением оператора и возникновением опасного события меньше времени, необходимого для остановки или эвакуации. Поэтому параметр избежания возьмем P_B .

3.2.4 Интенсивность запросов для рассматриваемой ФБ

Для ПСБ в опасной зоне, требуется, чтобы система функционировала 1 раз в 1–10 лет, поэтому интенсивность запросов для рассматриваемой ФБ возьмем W_2 .

3.3 Определение УПБ для актива

3.3.1 Параметр последствий

Так как при отклонении возможно подать азот ненадлежащего качества потребителю, это вызывает к расточительству ресурсов (средней потери актива), параметр последствий для актива возьмем C_B .

3.3.2 Параметр экспозиции

Так как несколько установок находится в опасной зоне, при отклонении возможно вызывать к поломке подшипников, выходу из строя агрегата, поэтому для актива возьмем F_B .

3.3.3 Параметр избежания

Так как при отклонении возможно вызывать к поломке подшипников, выходу из строя агрегата, но при определённых условиях возможно избежать потери актива, поэтому параметр избежания возьмем P_A .

3.3.4 Интенсивность запросов для рассматриваемой ФБ

Для ПСБ в опасной зоне, требуется, чтобы система функционировала 1 раз в 1–10 лет, поэтому интенсивность запросов для рассматриваемой ФБ возьмен W_2 .

В Приложении Г содержится информация о технологических параметрах, показателях системы управления и назначенных уровнях для параметров.

4 Разработка приборных контуров безопасности



Рисунок 4.1 – Слои защиты технологического процесса НГО

Основная задача ПАЗ заключается в обеспечении приведения технологического процесса в безопасное состояние в случае аварийного нарушения параметров технологического режима (функции). Схема аппаратной защиты является одним из уровней комплекса технологической безопасности (рисунок 4.1).

Это логическая система контроля и измерения, которая выявляет аномальные события в техническом процессе и инициирует автоматические действия по сбросу энергии, срабатыванию арматуры и останову технического объекта для доведения нарушения технического режима до безопасного уровня.

4.1 Приборный контур защиты в общем виде

Назначение контура: перевод исполнительного механизма в безопасное состояние при достижении указанного условия.

В качестве примера рассмотрена одноканальная архитектура контура, состоящая из следующих элементов (рисунок 4.2):

- КИП – контрольно-измерительный прибор;

- PLC – программируемый логический контроллер в составе: контроллер, модуль аналогового ввода, модуль дискретного вывода;
- РЭ – релейный элемент (электромагнитное реле);
- ИМ – исполнительный механизм;
- ИП – источник питания постоянного тока входных и выходных цепей PLC.

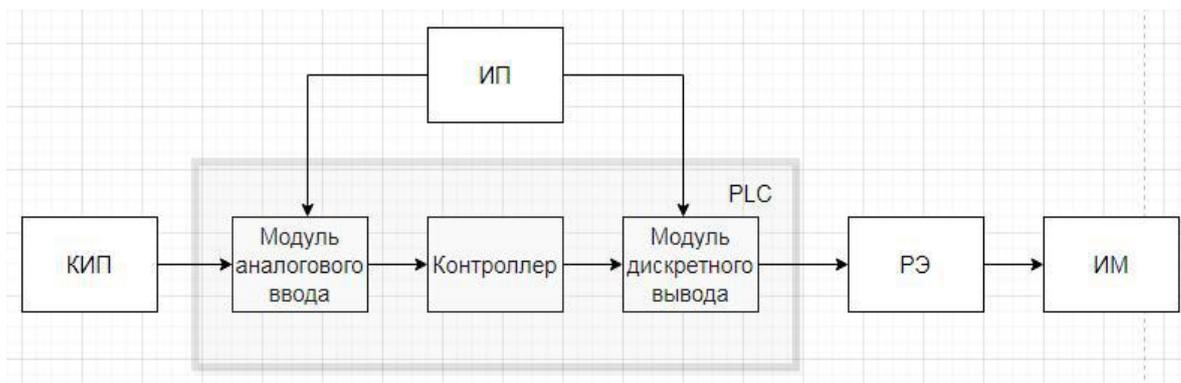


Рисунок 4.2 – Приборный контур защиты в общем виде

4.2 Приборные контуры защиты для каждого параметра

4.2.1 Приборный контур защиты для параметров QIS1261 и QIS1262

Приборный контур защиты для параметров QIS1261 и QIS1262 представлен на рисунке 4.3. Сводные данные по контуру представлены в таблице 4.1.

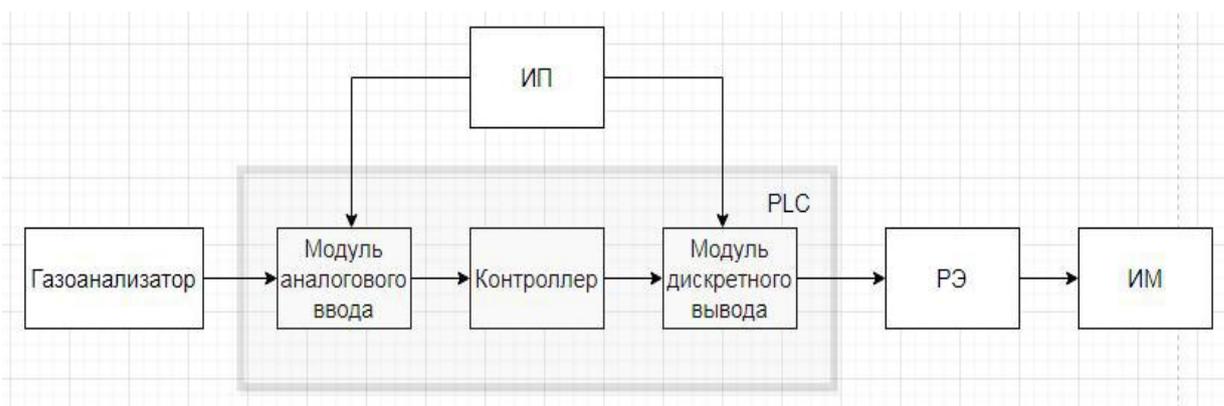


Рисунок 4.3 – Приборный контур защиты для параметров QIS1261 и QIS1262

Таблица 4.1 – Лист приборного контура защиты для параметров QIS1261 и QIS1262

Описание блокировки (SIF)	Блокировка по повышению содержания кислорода. закрытие задвижки 4-85(2) и открытие задвижки 4-86(2) для сдувки некачественного азота в атмосферу.	
Блок-схема SIF		
<p style="text-align: center;">← SIL 1 = 100% →</p> <p style="text-align: center;">● [KIP] — [PLC] — [IU] ●</p> <p style="text-align: center;">← 15% 10% 75% →</p>		
загазованность	открытие/закрытие ИУ	СПАЗ
Причина блокировки (КИП и А)	Достижение предельного допустимого значения	
Схема голосования КИП и А (требуемая/существующая)	1001 / 1001	
Следствие блокировки (исполнительная часть)	Активация контура блокировки	
Схема голосования ИУ (требуемая/существующая)	1001	
Дополнительные действия по блокировке	отсутствуют	
Время безопасной реакции ПЛК и (или) SIF	0,250с	
Технологический HAZOP, назначенный УПБ (SIL)		
Риск, установленный при AOP (HAZOP)	Эксплуатация: выдача продукта ненадлежащего качества.	
Назначенный УПБ (SIL)	1	
Рекомендации по структуре SIF и приборам	Рекомендации отсутствуют	

4.2.2 Приборный контур защиты для параметра P1T 1499

Приборный контур защиты для параметров P1T 1499 представлен на рисунке 4.4. Сводные данные по контуру представлены в таблице 4.2.

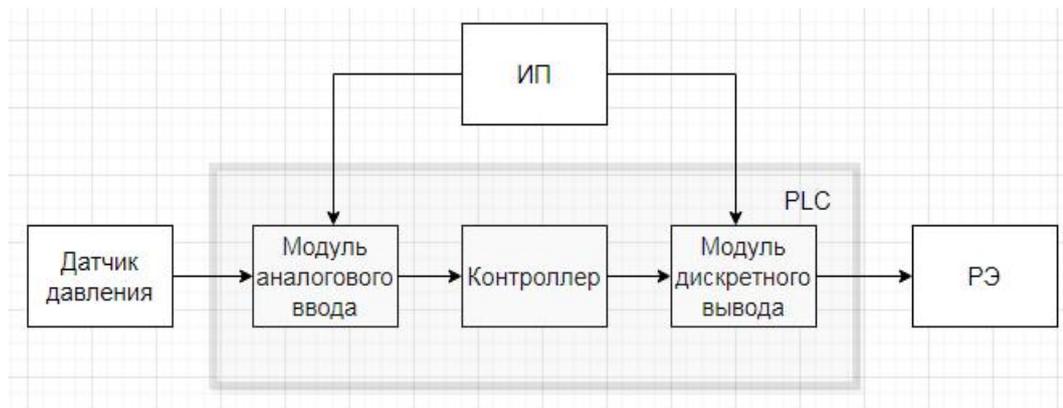


Рисунок 4.4 – Приборный контур защиты для параметра PIT 1499

Таблица 4.2 – Лист приборного контура защиты для параметра PIT 1499

Описание блокировки (SIF)	Блокировка по понижению давления азота на всасе компрессора ТА 6000 М2, останов компрессора.
Блок-схема SIF	
давление	останов компрессора
СПАЗ	
Причина блокировки (КИП и А)	Достижение предельного допустимого значения
Схема голосования КИП и А (требуемая/существующая)	1001 / 1001
Следствие блокировки (исполнительная часть)	Активация контура блокировки
Схема голосования ИУ (требуемая/существующая)	1001
Дополнительные действия по блокировке	отсутствуют
Время безопасной реакции ПЛК и (или) SIF	0,250с
Технологический HAZOP, назначенный УПБ (SIL)	
Риск, установленный при АОР (HAZOP)	Эксплуатация: выдача продукта ненадлежащего качества.
Назначенный УПБ (SIL)	1
Рекомендации по структуре SIF и приборам	Рекомендации отсутствуют

4.2.3 Приборный контур защиты для параметра Т1 412

Приборный контур защиты для параметров Т1 412 представлен на рисунке 4.5. Сводные данные по контуру представлены в таблице 4.3.

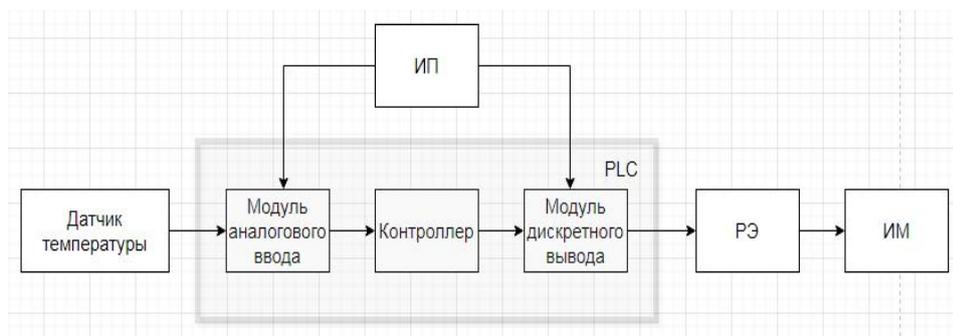


Рисунок 4.5 – Приборный контур защиты для параметра Т1 412

Таблица 4.3 – Лист приборного контура защиты для параметра Т1 412

Описание блокировки (SIF)	Блокировка по понижению температуры воздуха на входе в детандерную часть турбодетандера ДТК411, закрытие клапана отсечного КП411.	
Блок-схема SIF		
давление	останов компрессора	СПАЗ
Причина блокировки (КИП и А)	Достижение предельного допустимого значения	
Схема голосования КИП и А (требуемая/существующая)	1oo1 / 1oo1	
Следствие блокировки (исполнительная часть)	Активация контура блокировки	
Схема голосования ИУ (требуемая/существующая)	1oo1	
Дополнительные действия по блокировке	отсутствуют	
Время безопасной реакции ПЛК и (или) SIF	0,250с	
Технологический HAZOP, назначенный УПБ (SIL)		
Риск, установленный при АОР (HAZOP)	Эксплуатация: выделение жидкой фазы в процессе расширения газа в проточной части агрегата.	

Продолжение таблицы 4.3 – Лист приборного контура защиты для параметра Т1 412

Технологический HAZOP, назначенный УПБ (SIL)	
Назначенный УПБ (SIL)	1
Рекомендации по структуре SIF и приборам	Рекомендации отсутствуют

4.2.4 Приборный контур защиты для параметра Т1 514

Приборный контур защиты для параметров Т1 514 представлен на рисунке 4.6. Сводные данные по контуру представлены в таблице 4.4.

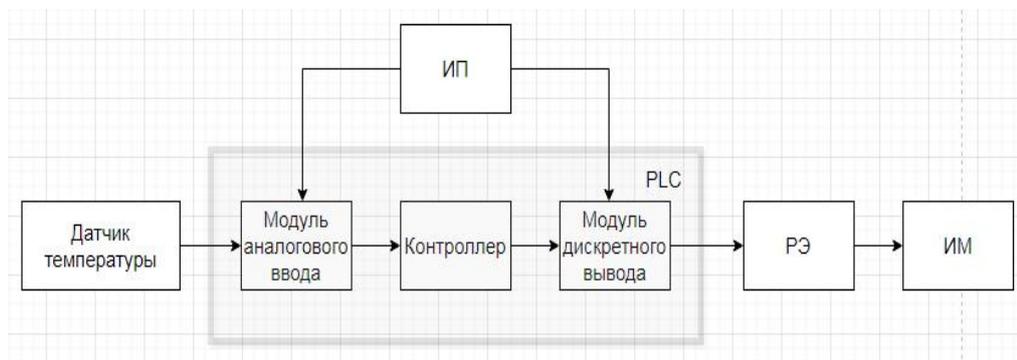


Рисунок 4.6 – Приборный контур защиты для параметра Т1 514

Таблица 4.4 – Лист приборного контура защиты для параметра Т1 514

Описание блокировки (SIF)	Блокировка по повышению температуры масла в трубопровод масла из подшипников турбодетандера ДТК411.
Блок-схема SIF	
Причина блокировки (КИП и А)	Достижение предельного допустимого значения
Схема голосования КИП и А (требуемая/существующая)	1001 / 1001
Следствие блокировки (исполнительная часть)	Активация контура блокировки
Схема голосования ИУ (требуемая/существующая)	1001

Продолжение таблицы 4.4 – Лист приборного контура защиты для параметра TI
514

Дополнительные действия по блокировке	отсутствуют
Время безопасной реакции ПЛК и (или) SIF	0,250с
Технологический HAZOP, назначенный УПБ (SIL)	
Риск, установленный при AOP (HAZOP)	Эксплуатация: поломка подшипников, выход из строя агрегата.
Назначенный УПБ (SIL)	1
Рекомендации по структуре SIF и приборам	Рекомендации отсутствуют

5 Выбор технических средств для реализации контуров в соответствии с требованиями УПБ

Уровень полноты безопасности определяет, с одной стороны, необходимое снижение риска возможных технологических отказов за счет цепей безопасности на основе систем безопасности, а с другой стороны, требования к характеристикам безопасности самих цепей: средняя вероятность отказа при низкой частоте запросов (PFD_{avg}) и аппаратная избыточность функций безопасности (HFT).

5.1 Общие требования к системе ПАЗ

Требования безопасности к системе ПАЗ должны выполняться в соответствии с ГОСТ Р МЭК 61511 «Безопасность функциональная. Системы безопасности для контрольно-измерительных приборов технологических процессов».

5.2 Архитектурные ограничения и требования к техническому обеспечению

Архитектурные ограничения должны соответствовать уровню полноты безопасности SIL контура, присвоенному в HAZOP.

Система ПАЗ должна иметь отказоустойчивую архитектуру, основанную на сочетании достаточной избыточности и минимальной доли безопасного отказа (SFF).

В связи с тем, что все контура безопасности в проектируемой системе ПАЗ не выше SIL 1, необходимо использовать архитектуру 1oo1 (1 out of 1) с минимально необходимым SFF, равным 60%. Такое решение позволит избежать дорогих решений и дорогого оборудования для достижения требуемого уровня SIL в ПАЗ.

Технические средства системы должны соответствовать требованиям ГОСТ 25861-83 «Машины вычислительные и системы обработки данных. Требования электрической и механической безопасности и методы испытаний».

Выбор оборудования для системы ПАЗ выполнить в соответствии с присвоенными в HAZOP уровнями полноты безопасности SIL.

Для каждого контура системы ПАЗ рассчитать суммарную среднюю вероятность отказа при запросе (PFD_{avg}) с низкой интенсивность запросов при условии двух годичных межтестовых испытаний и подтвердить заявленный уровень полноты безопасности. В случае несоответствия рассчитанного SIL заявленному, провести коррекцию принятых решений и выбранного оборудования для устранения выявленных расхождений.

Оборудование, используемое в системе ПАЗ, должно иметь действующие на момент приобретения сертификаты SIL, подтверждающие соответствие высокотехнологичного оборудования, изделия, продукции заданному уровню полноты функциональной безопасности.

5.3 Выбор оборудования для системы ПАЗ

Для параметров, действия системы ПАЗ которых закрытие задвижки, в качестве исполнительного механизма выберётся многооборотный привод. Для параметров, действия системы ПАЗ которых закрытие клапана, в качестве исполнительного механизма выберётся конечный выключатель. Для параметров, действия системы ПАЗ которых останов компрессора, исполнительный механизм не выберётся.

На основании заданного УПБ и предложений на рынке оборудования с соответствующими характеристиками сделан выбор элементов системы ПАЗ, представленный в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Элементы системы ПАЗ

Наименование	Тип, марка
Программируемый логический контроллер	БАЗИС-100
Электромагнитное реле	PSR-PS20-1NO-1NC-24DC-SC-2700356
Источник постоянного тока	QUINT4-PS/1AC/24DC/20

Продолжение таблицы 5.1 – Элементы системы ПАЗ

Наименование	Тип, марка
Исполнительные механизмы	
Многооборотный привод (для параметров QIS1261 и QIS1262)	SA.2 с AC 01.2-SIL/ACExC 01.2-SIL
Конечный выключатель (для параметров TI 412 и TI 514)	Сигнализатор конечных положений тип 3776

5.3.1 ПЛК БАЗИС-100

Контроллер модульный противоаварийной защиты, регистрации и управления (ПЛК). Внешний вид ПЛК БАЗИС-100 представлен на рисунке 5.1

Назначение и область применения

БАЗИС-100 — это модульный многоканальный многофункциональный универсальный промышленный контроллер (ПЛК, программируемый логический контроллер, PLC), предназначенный для:

- приема и логической обработки сигналов от различных типов датчиков;
- выдачи сигналов пуска или автоматического останова (блокировки);
- предупреждения оператора о нарушениях световыми и звуковыми сигналами;
- циклического и дискретного управления;
- ПИ-/ПИД-регулирования.

Контроллер БАЗИС-100 сертифицирован для использования в системах безопасности (ПАЗ). ПЛК реализует специальные функции ПАЗ, такие как разрешение пуска, блокировки, первопричина срабатывания и прочее.

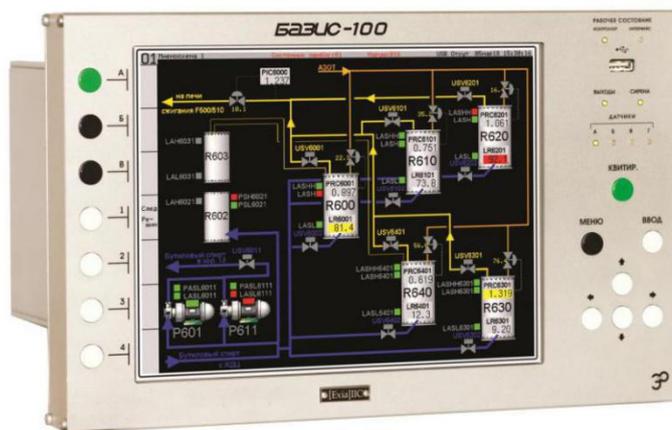


Рисунок 5.1 — Внешний вид ПЛК БАЗИС-100

Входные каналы

ПЛК в зависимости от модификации может иметь до 640 дискретных и до 320 аналоговых входных каналов.

ПЛК может принимать сигналы (в том числе искробезопасные) от следующих видов датчиков:

- NAMUR;
- электроконтактных;
- термопарных;
- термометров сопротивлений 3-х и 4-х проводных;
- частотно-импульсных (контактных);
- токовых с питанием от модуля.

ПЛК также может принимать искробезопасные сигналы следующих видов датчиков:

- частотно-импульсных (напряжения);
- напряжения постоянного тока;
- токовых датчиков без питания от модуля;
- пневматических (посредством преобразователей БАЗИС-ПВ).

Выходные каналы

ПЛК в зависимости от модификации может иметь до 400 дискретных и до 320 аналоговых выходных каналов следующих видов:

- реле перекидной контакт (~220 В; 6 А);
- транзисторный (=36 В; 120 мА);

- токовый [800 Ом; (4 - 20) мА].

Структура системы на базе ПЛК БАЗИС – 100 представлена на рисунке

5.2.

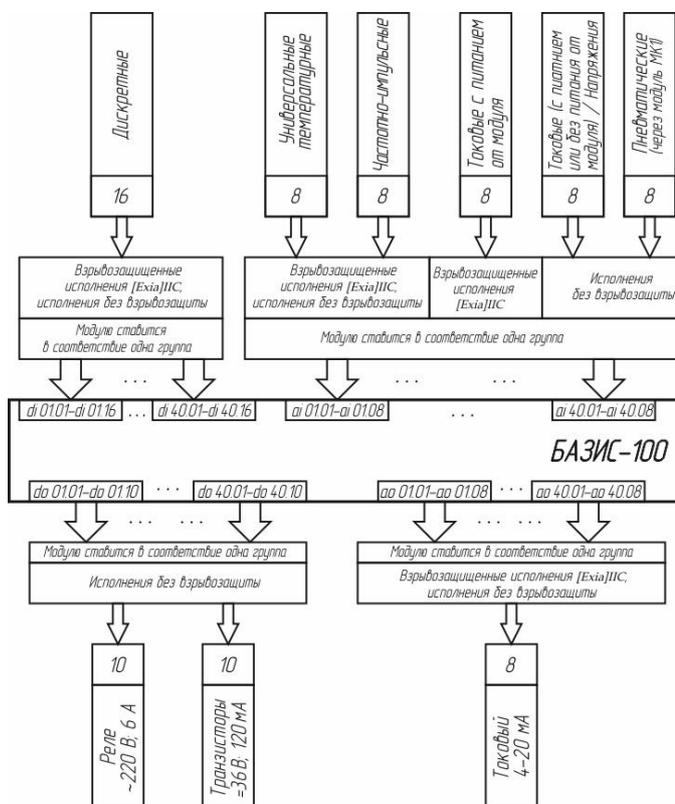


Рисунок 5.2 — Структурная схема входных-выходных каналов контроллера

5.3.2 Электромагнитное реле PSR-PS20-1NO-1NC-24DC-SC-2700356

Для формирования дискретных команд управления используется электромагнитное реле PSR-PS20-1NO-1NC-24DC-SC-2700356. Внешний вид реле приведён на рисунке 5.3, технические характеристики в таблице 5.2.



Рисунок 5.3 — Внешний вид электромагнитного реле PSR-PS20-1NO-1NC-24DC-SC-2700356

Таблица 5.2 – Технические данные электромагнитного реле

Наименование характеристики	Значение
Общие сведения	
Расчетное напряжение питания цепи управления US	24 В DC -15 % / +10 %
Потребляемая мощность	1,08 Вт
Номинальный ток питания цепи управления	45 мА
Пусковой ток	400 мА ($\Delta t < 10 \mu s$ при U_s)
Индикатор состояния	2 зеленых светодиода
Частота переключения максимальная	1 Гц
Исполнение контактов	1 замкнут
	1 разомкнут
Материал контакта	AgSnO ₂ (цепь активации)
	AgCuNi, + Au (цепь обратной связи)
Долговечность механическая	10 x 10 ⁶ коммутационных циклов

Продолжение таблицы 5.2 – Технические данные электромагнитного реле

Наименование характеристики	Значение
Параметры безопасности	
Уровни совокупной безопасности (SIL)	3 (< 15 % всего уровня SIL)

5.3.3 Источник постоянного тока QUINT4-PS/1AC/24DC/20

Для электроснабжения элементов системы выбран источник постоянного тока QUINT4-PS/1AC/24DC/20. Внешний вид источника представлен на рисунке 5.4. Технические характеристики представлены в таблице 5.7



Рисунок 5.4 — Внешний вид источника постоянного тока QUINT4-PS/1AC/24DC/20

Таблица 5.3 – Технические характеристики источника постоянного тока

Наименование характеристики	Значение
Диапазон номинальных напряжений на входе	100 В AC ... 240 В AC
	110 В DC ... 250 В DC
Диапазон частот AC	50 Гц ... 60 Гц -10 % ... +10 %
Потребляемый ток	6,8 А (100 В AC)
	5,5 А (120 В AC)
	2,8 А (230 В AC)
	2,7 А (240 В AC)

Продолжение таблицы 5.3 – Технические характеристики источника постоянного тока

Наименование характеристики	Значение
Номинальная потребляемая мощность	509 Вт
Входной предохранитель	12 А (инертного типа, внутренний)
Наименование защиты	Защита от перенапряжений при переходных процессах
Выходные данные	
Номинальное напряжение на выходе	24 В DC
Диапазон настройки выходного напряжения (USet)	24 В DC ... 29,5 В DC (постоянной мощности)
Номинальный ток на выходе (IN)	20 А
Возможность параллельного подключения	да, резервирование и повышение мощности
Возможность последовательного подключения	да
Выходная мощность	480 Вт
Рассеиваемая мощность, без нагрузки, макс.	< 5 Вт (120 В AC)
	< 5 Вт (230 В AC)
Рассеиваемая мощность, номинальная нагрузка, макс.	< 32 Вт (230 В AC)

5.3.4 Многооборотный привод SA.2 с AC 01.2-SIL/ACExC 01.2-SIL

Исполнительная часть состоит из непосредственно исполнительного механизма и регулирующего органа (рисунок 5.5). УПБ назначается для исполнительного механизма, а для регулирующего органа не назначается. Для параметров, действия системы ПАЗ которых закрытие задвижки, в качестве исполнительного механизма выбран многооборотный привод.

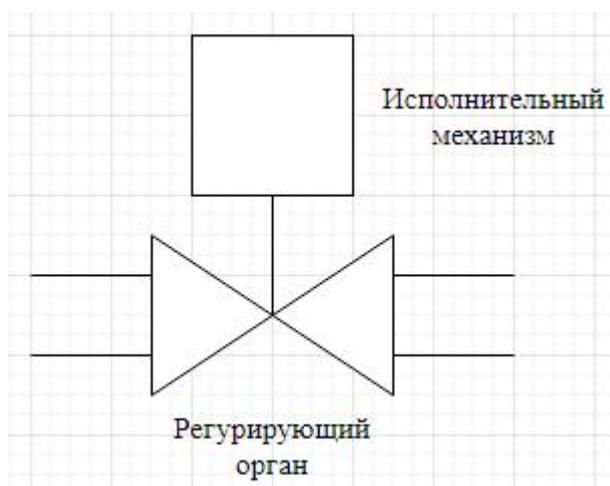


Рисунок 5.5 – Исполнительная часть

В качестве исполнительного механизма выбран многооборотный привод SA.2 с AC 01.2-SIL/ACExC 01.2-SIL, представленный на рисунке 5.6.



Рисунок 5.6 — Внешний вид многооборотного привода SA.2 с AC 01.2-SIL/ACExC 01.2-SIL

Технические характеристики привода

- управляющие входы с различным напряжением (постоянный ток/переменный ток);
- сигнальные реле для индикации состояния;
- аналоговое управление (0/4 - 20 мА);
- программируемый пошаговый режим (для увеличения времени работы);
- свободно настраиваемые промежуточные положения;
- встроенный регулятор процесса (PID);
- управление по цифровому протоколу;

- дублирующий цифровой интерфейс;
- данные о положении и моменте в виде аналогового сигнала;
- перенос рабочих данных через Bluetooth на ноутбук.

Функциональная безопасность – SIL

- Сертифицировано TÜV в соответствии с МЭК 61508 изд. 2;
- Используется до версии SIL 2, в системах дублирования (например, "1oo2") до уровня SIL 3;
 - функции безопасности: безопасное Открытие (ESD), безопасное Закрытие (ESD), безопасный останов в направлении открыть и безопасный останов в направлении закрыть, а также комбинации безопасный останов открыть/закрыть с одной из двух ESD функций;
 - выбираемые типы отключения для безопасного управления: отключение по конечным выключателям в конечном положении в аварийном режиме, отключение по конечным выключателям с защитой от перегрузки в аварийном режиме, отключение по моменту в аварийном режиме, обход защитных функций в случае аварии;
 - реализация функции безопасности (низкая активность) через контроль входов 24 В постоянного тока по дублированной линии ESD.

5.3.5 Выбор конечного выключателя

Для параметров, действия системы ПАЗ которых закрытие клапана, в качестве исполнительного механизма выбран конечный выключатель.

В данной работе используется сигнализатор конечных положений тип 3776.

Прибор оснащен индуктивными или электрическими граничными контактами и соленоидным клапаном для прямоходных или поворотных приводов по VDI/VDE 3845.

Сигнализатор конечных положений тип 3776 предназначен для сигнализации выхода параметра за пределы установленных границ. Этот электрический сигнал может транслироваться на центральные пункты управления, служить для переключения управляющего воздействия, либо приводить в действие

средства звуковой и световой сигнализации. В сочетании с соленоидным клапаном, поставляемым в качестве дополнительного оснащения, возможно управление исполнительным механизмом. Внешний вид сигнализатора представлен на рисунке 5.7, технические характеристики представлены в таблице 5.4.



Рисунок 5.7 — Внешний вид сигнализатора конечных положений тип 3776

Таблица 5.4 – Технические данные сигнализатора конечных положений

Характеристика	Значение
Диапазон поворота	0 ... 100° или 0 ... 180°, настраиваемый 70° или 90°, фиксированный
Диапазон хода	7,5 ... 120 мм при монтаже на прямоходные приводы (например, SAMSON тип 327X)
Магнитный клапан	Противоаварийная защита SIL 4 по IEC 61508; 1 или 2 встроенных магнитных клапана; Номинальный сигнал 6/12/24 V DC или 24/115/230 V AC
Степень защиты	IP 54 с фильтром, IP 65 с обратным фильтр-клапаном

5.3.6 Выбор газоанализатора для параметров QIS1261 и QIS1262

В данной работе используется газоанализатор Panametrics CGA 351. Газоанализатор O₂ измеряет концентрацию кислорода в газах. Внешний вид прибора представлен на рисунке 5.8.

Газоанализатор CGA 351 использует уравнение Нернста для расчета содержания кислорода в пробе газа. При нагревании диоксида циркония, допированного иттрием, до температур свыше 6500С он становится электролитом, так как вакансии в кристаллической решетке позволяют ионам кислорода диффундировать в керамику. Если с двух сторон керамической ячейки создаются различные парциальные давления кислорода, ионы кислорода будут мигрировать вдоль образующегося градиента концентрации. При этом будет происходить перенос электронов от одной стороны керамики к другой. Если переносимый заряд имеет возможность аккумулироваться, возникает градиент потенциала, действующий в противоположном направлении, что противодействует дальнейшей диффузии.



Рисунок 5.8 — Внешний вид газоанализатора CGA 351

Принцип действия

Газ, подлежащий анализу, вводится через игольчатый клапан и поступает в керамическую впускную трубку. Затем газ проходит через кольцевое пространство между входной трубкой и внутренней поверхностью циркониевого кислородного датчика, после чего отводится через выходной патрубок и расходомер. При отсутствии горючих веществ в образце газа газоанализатор измеряет общую концентрацию кислорода. Если горючие вещества присутствуют в исследуемом газе, на конце керамической трубки используется платиновый катализатор для обеспечения их окисления перед контактом с внутренним электродом. В результате можно измерить избыток

или недостаток кислорода в смеси воздуха и топлива. Циркониевый датчик нагревается и удерживается при температуре ровно 700°C. Как только исследуемый газ вступает в контакт с внутренним электродом нагретого датчика, генерируется электрический сигнал. Он пропорционален логарифму отношения концентрации кислорода в образце к концентрации газа в образце, контактирующего с другим электродом. Значение концентрации кислорода отображается в промилле или в процентах на дисплее блока индикации. Также отображаются другие параметры: выходной сигнал датчика в милливольтгах и температура датчика в °F или °C. В качестве эталонного газа вне электрохимической ячейки используется окружающий воздух.

Характеристики прибора

- быстрая, простая одноточечная калибровка;
- возможность измерения концентрации кислорода от 0,1 ppm до 100%; в том числе, и в том числе, в восстановительных газах;
- незначительное время отклика (менее 1 секунды при 90% ступенчатом изменении концентрации);
- высокая стабильность датчика;
- безотказная работа прибора в течение длительного времени, не требующая обслуживания из-за отсутствия необходимости в частой поверке и регулировке;
- точность измерения возрастает при низких значениях концентрации кислорода.

5.3.7 Выбор датчика давления для параметра P1T 1499

В данной работе для измерения параметра P1T 1499 используется датчик давления Метран-150 CGR2.

Датчики давления серии Метран 150 предназначены для работы в системах автоматического контроля, регулирования и управления технологическими процессами. Внешний вид прибора представлен на рисунке 5.9.



Рисунок 5.9 — Внешний вид датчика давления Метран-150 CGR2

Диапазон измерений датчика давления Метран-150 CGR2 - (0.63-63) кПа.

Устройство и принцип работы

Метран-150 состоит из сенсора с электронным преобразователем. В конструкцию сенсора входят измерительный блок и АЦП плата. Давление подается в измерительный блок (камеру), там преобразуется в деформацию чувствительной мембраны и в изменение электрического сигнала. Преобразователь преобразует электросигнал в нужного типа выходной сигнал.

Канал преобразования сигнала в измерительном блоке функционально состоит из:

- АЦП;
- АЦП блока памяти;
- микроконтроллера со своим блоком памяти;
- ЦАП -цифро-аналогового преобразователя;
- стабилизатора напряжения;
- блока защиты;
- блока регулировки/установки параметров;
- HART модема для M150 с кодом А.

Выходные сигналы

Датчики давления Метран-150 и его модификации выпускаются с 2 типами выходного сигнала:

- код А — с протоколом HART (4 - 20) мА;
- код В — (0 - 5) мА.

5.3.8 Выбор датчиков температуры

Для измерения параметра температуры ТИ 412 используется термопреобразователь сопротивления ТПТ-13-2. Внешний вид представлен на рисунке 5.10.

Термопреобразователи (термометры) сопротивления технические: ТПТ – 13 (из платины). Предназначены для измерения температуры жидких и газообразных сред в химической и газовой промышленности и криогенной технике.



Рисунок 5.10 — Внешний вид термопреобразователя сопротивления ТЕРМИКО
ТПТ-13-2

Характеристики ТПТ-13-2:

- защитная арматура: 12Х18Н10Т;
- кабель: МГТФЭФ;
- степень защиты от пыли и влаги: IP40;
- Диапазон температур [°С]: от -196 до 500;
- НСХ: 50П, 100П, 500П Pt100, Pt500, Pt1000;
- Диаметр монтажной части d, [мм]: 8/10;
- Длина монтажной части [мм]: 80, 100, 120, 160, 200, 250, 320, 400, 500.

Для измерения параметра температуры ТИ 514 используется термопреобразователь ТПТ-1-1 (рисунок 5.11).



Рисунок 5.11 — Внешний вид термометра из платины технические ТПТ-1-1

Характеристики ТПТ-1-1:

- защитная арматура: 12Х18Н10Т;
- материал головки: полиамид/металл;
- степень защиты от пыли и влаги: IP65;
- Диапазон температур [°С]: от -196 до 500;
- НСХ: 50П, 100П, 500П Pt100, Pt500, Pt1000;
- Диаметр монтажной части d, [мм]: 8/10;
- Длина монтажной части [мм]: 80, 100, 120, 160, 200, 250, 320, 400, 500.

6 Проверочные расчеты PFD_{avg} для подтверждения заявленного УПБ контуров безопасности

Расчет средней вероятности опасного отказа PFD_{avg} с низкой интенсивностью запросов при условии двух годовых межтестовых испытаний для подтверждения заявленного уровня полноты безопасности SIL контура рассмотрен на разработанных контурах.

Назначение контура: перевод исполнительного механизма в безопасное состояние при достижении критического значения параметров на входе контура.

В процессе расчёта рассмотрена одноканальная архитектура контура (конфигурация 1001, HFT = 0) с двухгодовым межтестовым интервалом, состоящая из следующих элементов:

- Д – датчик;
- PLC (ПЛК) – программируемый логический контроллер в составе: контролер, модуль аналогового ввода, модуль дискретного вывода;
- РЭ – релейный элемент (электромагнитное реле);
- ИМ – исполнительный механизм – многооборотный привод;
- ИП – источник питания постоянного тока входных и выходных цепей PLC.

Для подтверждения заявленного уровня полноты безопасности SIL контура определяется интегральный уровень безопасности. Связь между интегральным уровнем безопасности SIL и средней вероятностью опасного отказа при низкой интенсивности запросов PFD_{avg} представлена в таблице 8.1.

Таблица 6.1 – Интегральные уровни безопасности

SIL Интегральный уровень безопасности	PFD_{avg} Средняя вероятность отказа на запрос (низкая интенсивность запросов)
SIL4	$\geq 10^{-5} \dots < 10^{-4}$
SIL3	$\geq 10^{-4} \dots < 10^{-3}$
SIL2	$\geq 10^{-3} \dots < 10^{-2}$
SIL1	$\geq 10^{-2} \dots < 10^{-1}$

При двух годичных межтестовых испытаниях $PFD_{avg}(TI)$, где $TI=2$ года, возрастает в 2 раза, по сравнению с $PFD_{avg}(TI)$, где $TI=1$ год.

Результирующая вероятность отказа при запросе $PFD_{avg\Sigma}$ контура безопасности, представленного на рисунке 2, вычисляется по формуле 6.1:

$$PFD_{avg\Sigma} = \sum_{i=1}^n PFD_{avg_i}, \quad (6.1)$$

где PFD_{avg_i} – вероятность отказа при запросе i -го компонента контура безопасности;

n – количество компонентов в контуре безопасности.

6.1 Расчеты УПБ (SIL) приборного контура защиты QIS1261 и QIS1262

Контур безопасности реализован с помощью оборудования, представленного в таблице 6.2.

Таблица 6.2 – Оборудование контура безопасности для параметров

Наименование	Тип, марка	Производитель
Газоанализатор	Panametrics CGA 351	ПЕРГРАМ, РФ
Программируемый логический контроллер	БАЗИС-100	АО «Экоресурс», РФ
Электромагнитное реле	PSR-PS20-1NO-1NC-24DC	Phoenix contact, ФРГ
Многооборотный привод	SA.2 с AC 01.2-SIL/ACExC 01.2-SIL	Auma, ФРГ
Источник постоянного тока	QUINT4-PS/1AC/24DC/20	Phoenix contact, ФРГ

Расчетные данные для контура безопасности для параметров QIS1261 и QIS1262 приведены в таблице 6.3.

Таблица 6.3 – Расчетные данные для контура безопасности

Элементы SIF	PFDavg (1 год)	PFDavg (2 года)	Допустимый SIL
Газоанализатор	3,56E-02	7,12E-02	SIL1
Программируемый логический контроллер	2,76E-03	5,52E-03	SIL2
РЭ – релейный элемент	1,50E-04	3,00E-04	SIL3
ИМ – исполнительный механизм	1,72E-03	3,44E-03	SIL2
ИП – источник питания постоянного тока	1,30E-03	2,60E-03	SIL2
Общий SIF	4,15E-02	8,31E-02	SIL1¹/ SIL1²

Примечания:

1 – для годовых межтестовых испытаний;

2 – для двух годичных межтестовых испытаний.

Для обеспечения требуемого УПБ данного контура следует проводить анализ один раз в два года.

6.2 Расчеты УПБ (SIL) приборного контура защиты P1T 1499

Контур безопасности для параметра P1T 1499 реализован с помощью оборудования, представленного в таблице 6.4.

Таблица 6.4 – Оборудование контура безопасности

Наименование	Тип, марка	Производитель
Датчик давления	Метран-150CGR	ПГ «Метран», РФ
Программируемый логический контроллер	БАЗИС-100	АО «Экоресурс», РФ
Электромагнитное реле	PSR-PS20-1NO-1NC-24DC	Phoenix contact, ФРГ
Источник постоянного тока	QUINT4-PS/1AC/24DC/20	Phoenix contact, ФРГ

Расчетные данные для контура безопасности для параметра PИТ 1499 приведены в таблице 6.5.

Таблица 6.5 – Расчетные данные для контура безопасности

Элементы SIF	PFDavg (1 год)	PFDavg (2 года)	Допустимый SIL
датчик давления	1,42E-03	2,84E-03	SIL2
программируемый логический контроллер	2,76E-03	5,52E-03	SIL2
РЭ – релейный элемент	1,50E-04	3,00E-04	SIL3
ИП – источник питания постоянного тока	1,30E-03	2,60E-03	SIL2
Общий SIF	5,50E-03	1,10E-02	SIL2¹/ SIL1²

Примечания:

1 – для годовых межтестовых испытаний;

2 – для двух годичных межтестовых испытаний.

Для обеспечения требуемого УПБ данного контура следует проводить анализ один раз в два года.

6.3 Расчеты УПБ (SIL) приборного контура защиты ТИ 412 и ТИ 514

Контур безопасности для параметров ТИ 412 и ТИ 514 реализован с помощью оборудования, представленного в таблице 6.6.

Таблица 6.6 – Оборудование контура безопасности

Наименование	Тип, марка	Производитель
Термометр	ТПТ-13-2, ТПТ-1-1	ТЕРМИКО, РФ
Программируемый логический контроллер	БАЗИС-100	АО «Экоресурс», РФ
Электромагнитное реле	PSR-PS20-1NO-1NC-24DC	Phoenix contact, ФРГ

Продолжение таблицы 6.6 – Оборудование контура безопасности

Наименование	Тип, марка	Производитель
Конечный выключатель	сигнализатор конечных положений тип 3776	Samson, США
Источник постоянного тока	QUINT4-PS/1AC/24DC/20	Phoenix contact, ФРГ

Так как термометр (датчик температуры) является простым устройством, поэтому для термометров УПБ не назначается.

Расчетные данные для контура безопасности для параметра TI 412 и TI 514 приведены в таблице 6.7.

Таблица 6.7 – Расчетные данные для контура безопасности

Элементы SIF	PFDavg (1 год)	PFDavg (2 года)	Допустимый SIL
Термометр	-	-	-
Программируемый логический контроллер	2,76E-03	5,52E-03	SIL2
РЭ – релейный элемент	1,50E-04	3,00E-04	SIL3
ИМ – исполнительный механизм	9,90E-05	1,98E-04	SIL4 ¹ / SIL3 ²
ИП – источник питания постоянного тока	1,30E-03	2,60E-03	SIL2
Общий SIF	4,31E-03	8,62E-03	SIL2¹/ SIL2²

Примечания:

1 – для годовых межтестовых испытаний;

2 – для двух годичных межтестовых испытаний.

Для обеспечения требуемого УПБ данного контура следует проводить анализ один раз в два года.

7 Программная реализация приборных контуров защиты

Программное обеспечение (ПО) должно быть достаточным для выполнения всех функций системы, а также иметь средства организации всех требуемых процессов обработки данных, позволяющие своевременно выполнять все автоматизированные функции во всех регламентированных режимах функционирования.

Команды управления, сформированные алгоритмами блокировок и защит СПАЗ, должны иметь приоритет по отношению к любым другим командам управления технологическим оборудованием, в том числе к командам, формируемым оперативным персоналом АСУ ТП, если иное не оговорено в техническом задании.

В алгоритмах срабатывания защит следует предусматривать возможность включения блокировки команд управления оборудованием, технологически связанным с аппаратом, агрегатом или иным оборудованием, вызвавшим такое срабатывание.

7.1 Разработка структуры системы ПАЗ

Система ПАЗ имеет полностью независимую структуру:

- содержит свои датчики и исполнительные механизмы не связанные с основной системой управления;
- содержит свои контроллеры, управляющие работой системы ПАЗ;
- кабельные трассы системы ПАЗ проложены независимо от основной системы управления;
- система ПАЗ оснащена собственным независимым источником бесперебойного питания;
- система ПАЗ выдает диагностический и предупредительные сигналы в САУ цеха.

Структуру системы противоаварийной защиты можно разделить на три основных ступени:

- диагностика факторов способствующих развитию аварии (контрольно измерительные приборы, анализаторы);

- обработка полученных данных (контроллеры и др. средства обработки данных);
- исполнительные механизмы (электро- и пневмоприводы арматуры, электровыключатели и др.).

Структурная схема системы ПАЗ представлена в приложении Д.

7.2 Разработка алгоритмов управления системой ПАЗ

На основе технологических параметров и показателей системы управления, приведенных в приложении Г, срабатывание приборного контура защиты выполняется при достижении определённого регламентного значения. На рисунках 7.1 ... 7.4 представлены алгоритм срабатывания по сигналам датчиков.

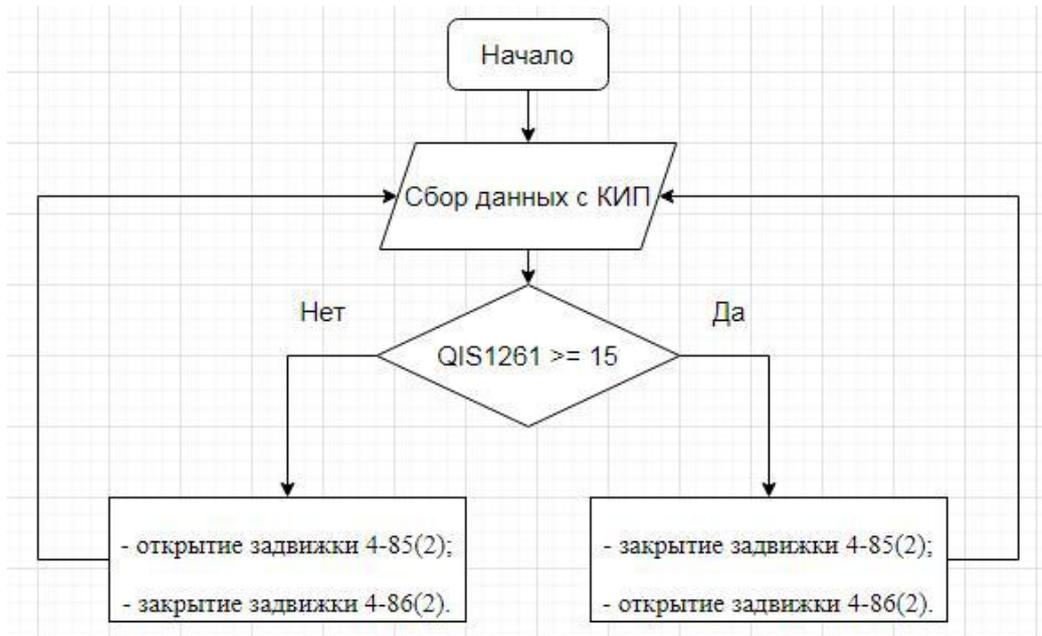


Рисунок 7.1 — Блок-схема алгоритма для параметра QIS1261



Рисунок 7.2 — Блок-схема алгоритма для параметра QIS1262

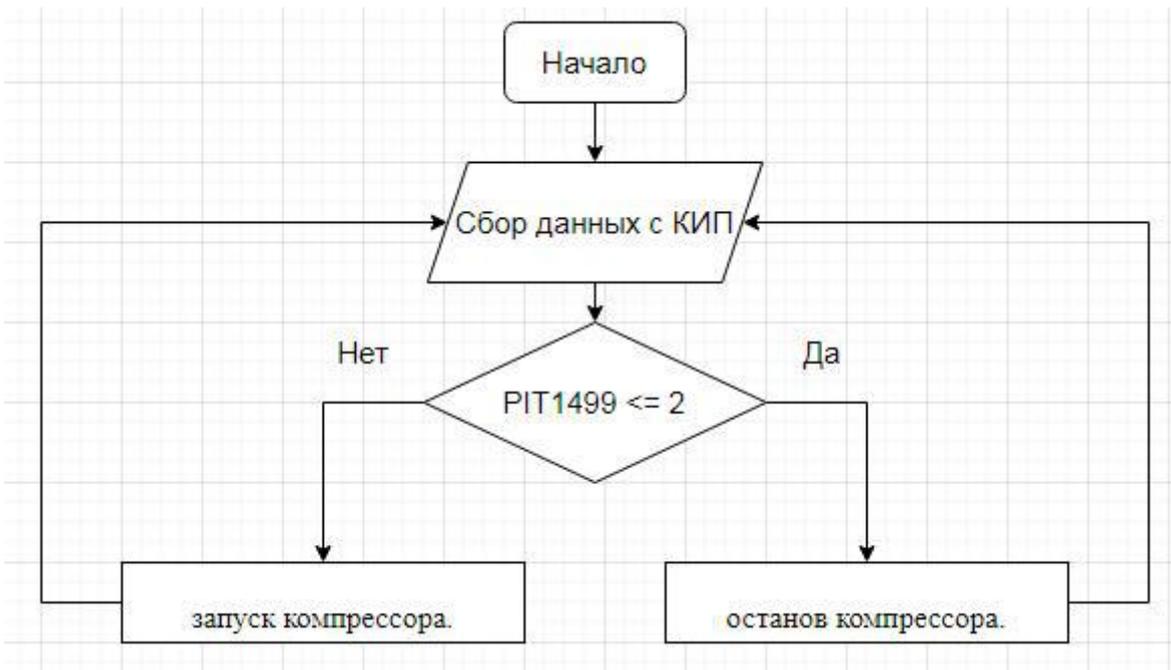


Рисунок 7.3 — Блок-схема алгоритма для параметра P1T1499

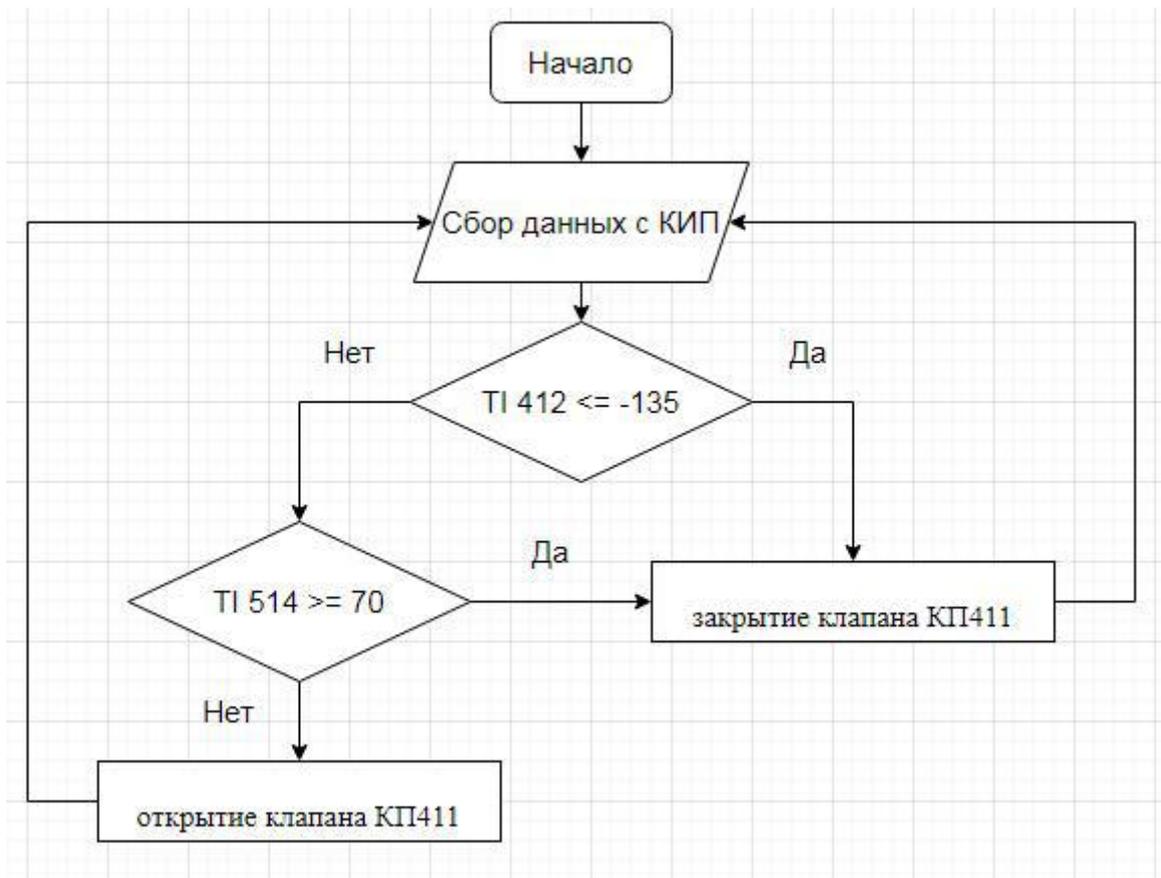


Рисунок 7.4 — Блок-схема алгоритма для параметров TI 412 и TI 514

7.3 Программная реализация алгоритмов

Программная реализация алгоритмов выполняется в среде Codesys 2.3.

Программный код для реализации алгоритмов на языке ST приведен на приложении Е.

Мнемосхемы приборных контуров защиты разработаны в среде MasterSCADA 3.12 и представлены на рисунках 7.5 ...7.8.

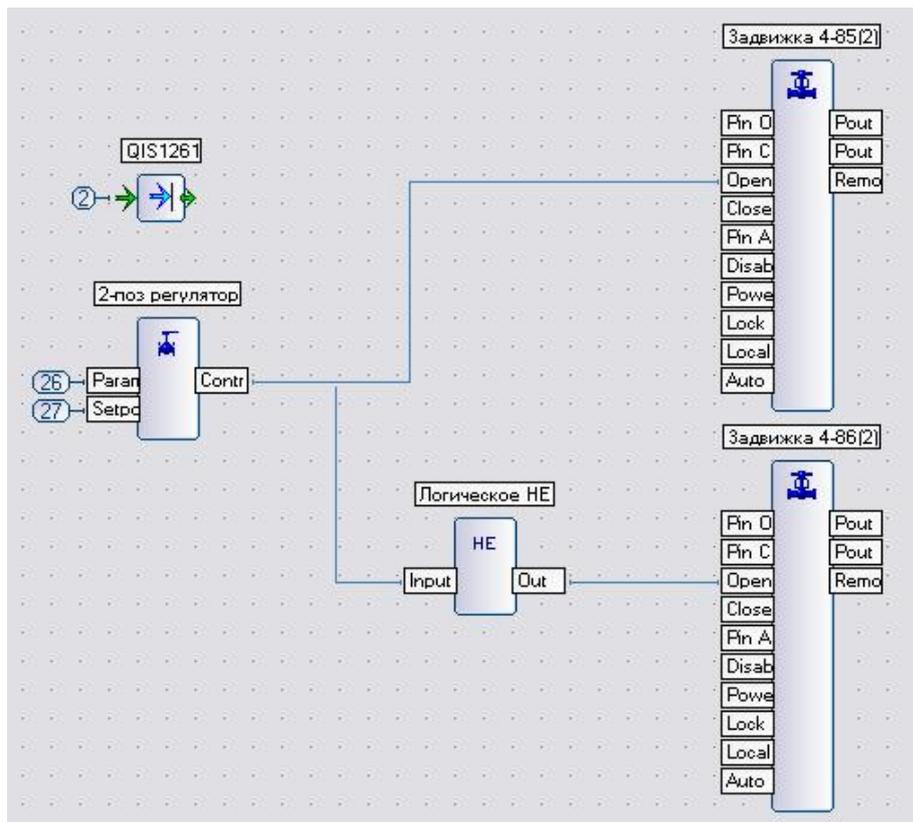


Рисунок 7.5 — Мнемосхема контура безопасности QIS1261

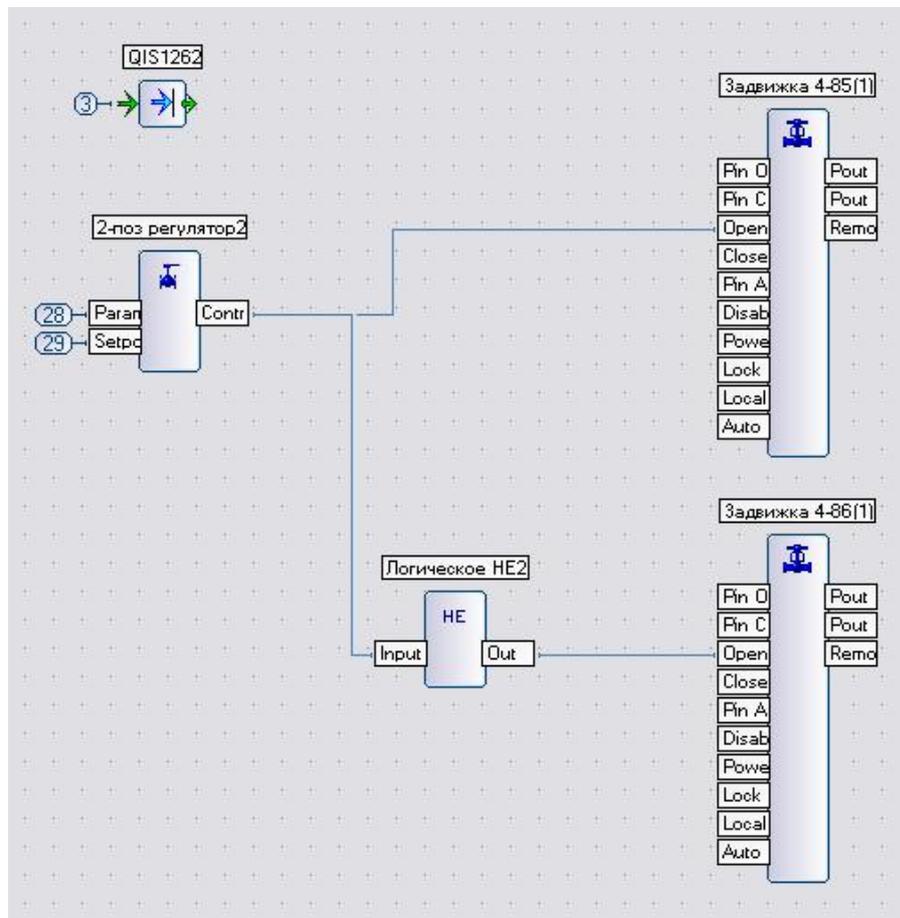


Рисунок 7.6 — Мнемосхема контура безопасности QIS1262

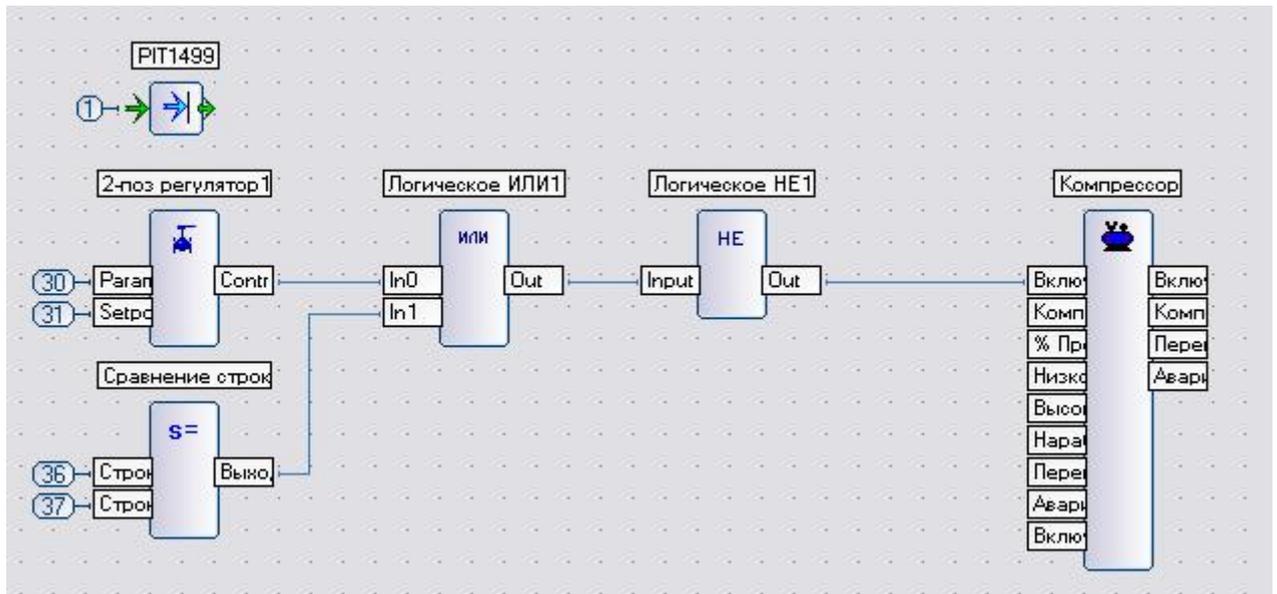


Рисунок 7.7 — Мнемосхема контура безопасности PIT1499

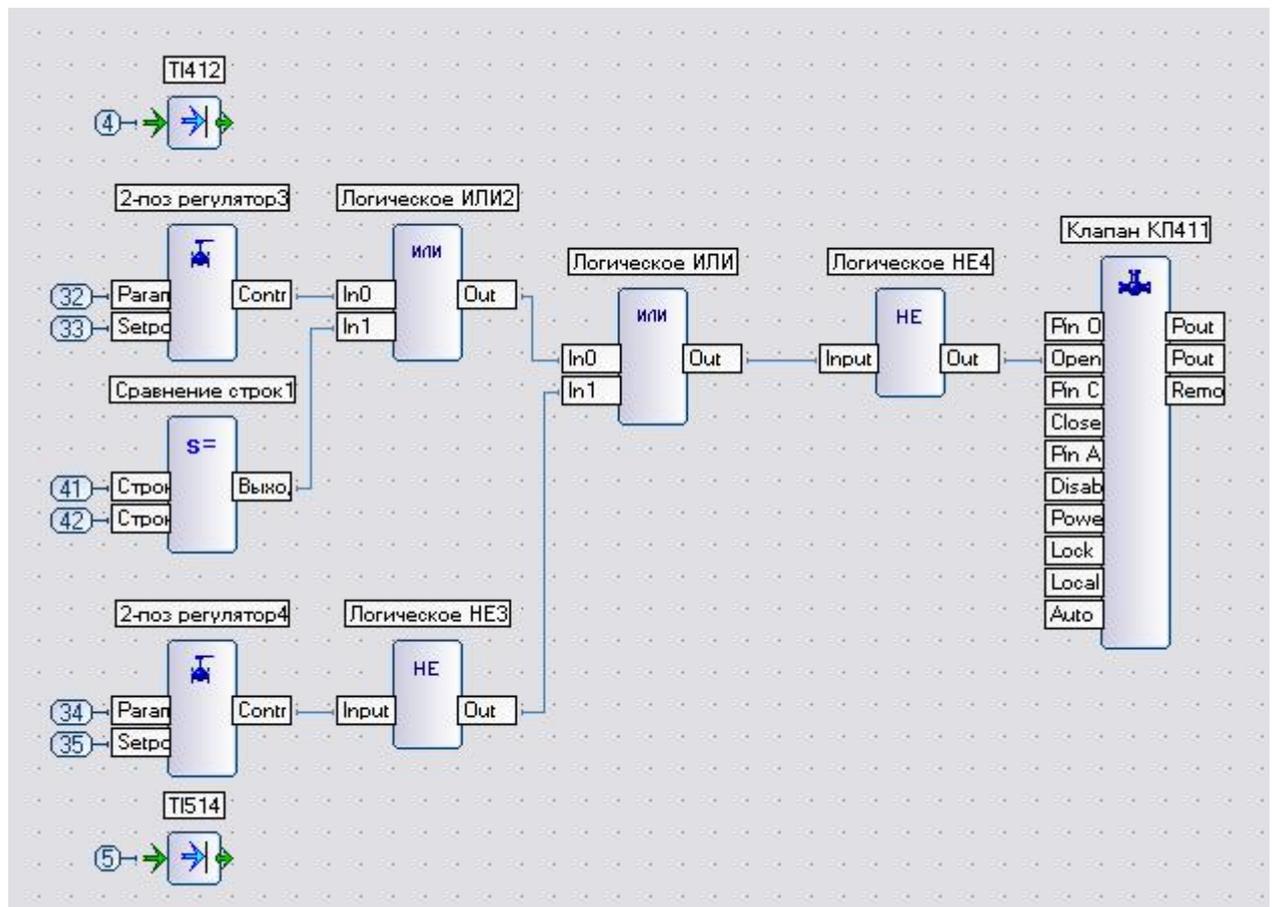


Рисунок 7.8 — Мнемосхема контуров безопасности TI412 и TI514

7.4 Результат тестирования

Тестирование алгоритмов выполняется в режиме эмуляции. На рисунках 7.9 ...7.12 приведены результаты тестирования.

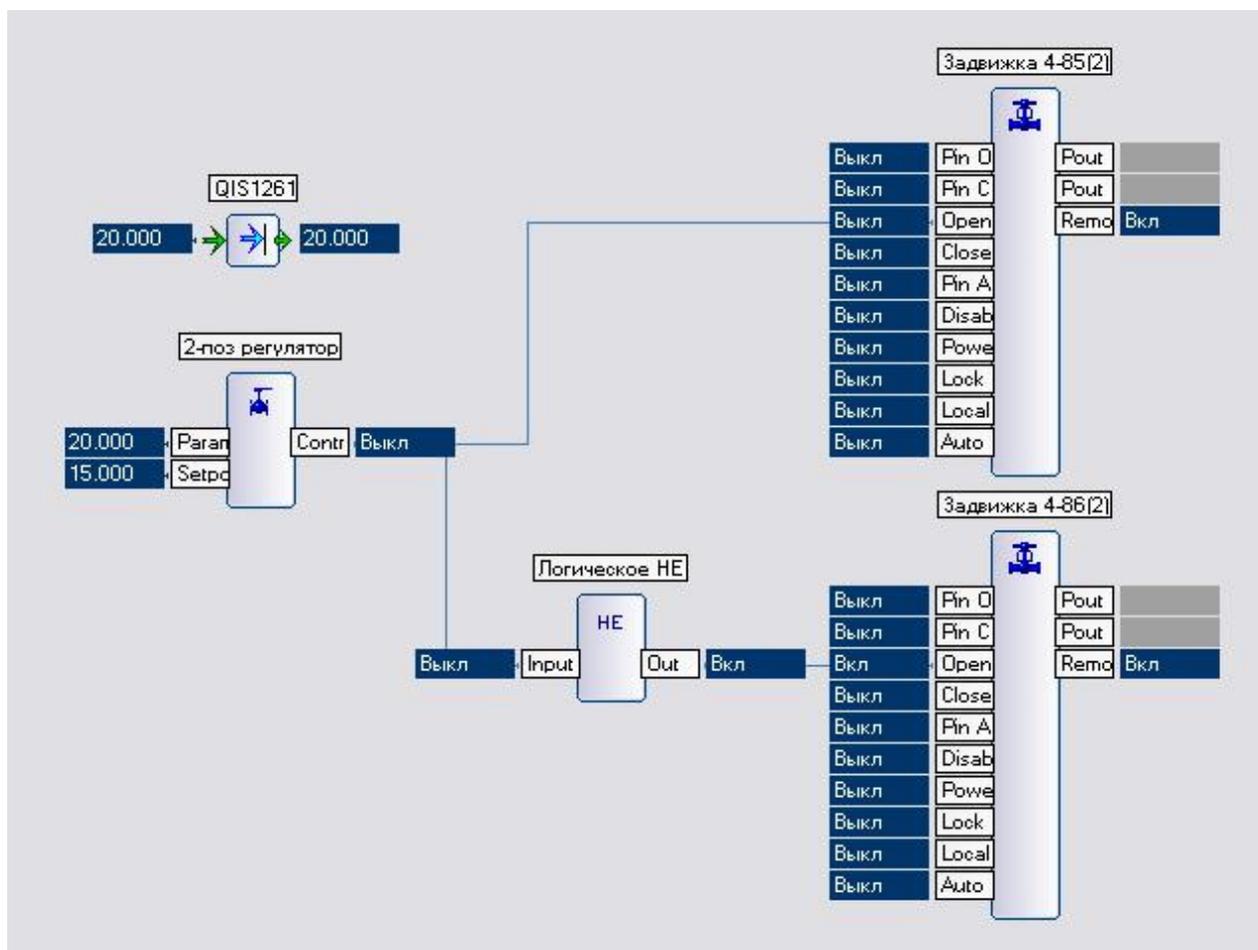


Рисунок 7.9 — Срабатывание контура безопасности QIS1261 > 15 ppm (QIS1262 тоже самый)

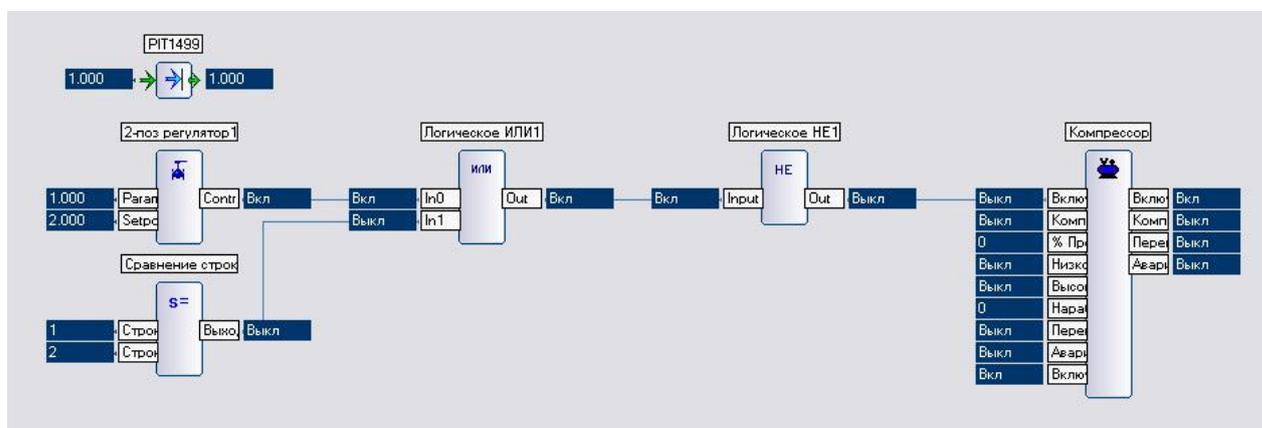


Рисунок 7.10 — Срабатывание контура безопасности PIT1499 < 2 кПа

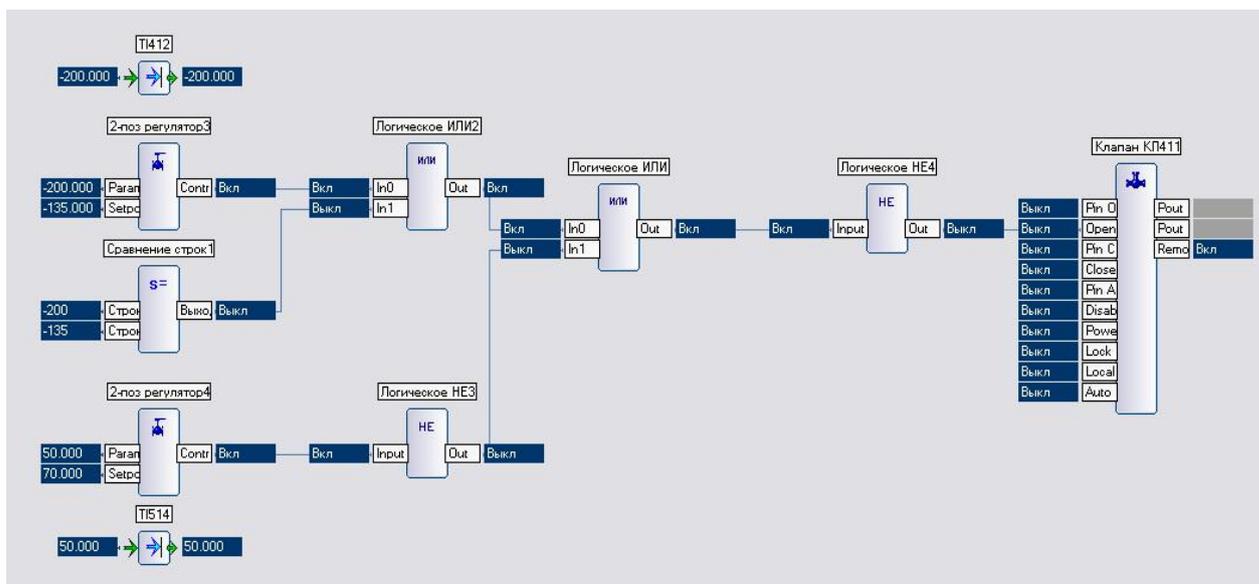


Рисунок 7.11 —Срабатывание контура безопасности $TI412 < 135\text{ }^{\circ}\text{C}$

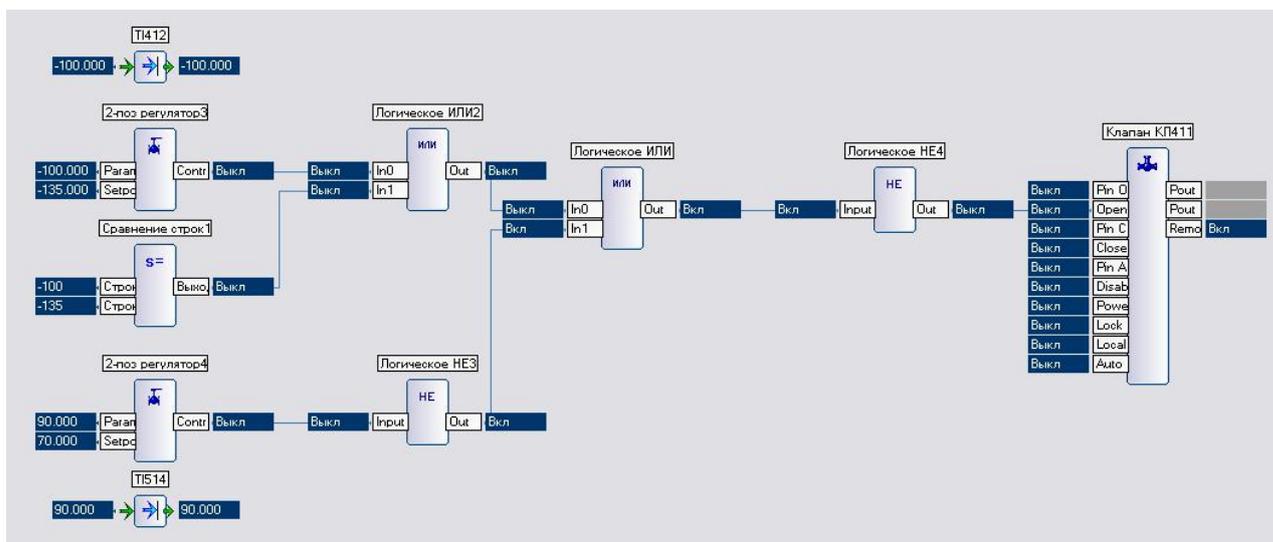


Рисунок 7.12 —Срабатывание контура безопасности $TI514 > 70\text{ }^{\circ}\text{C}$

Результаты тестирования показывают правильность работы всех разработанных алгоритмов.

8 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В настоящее время такое понятие как коммерческая ценность разработки является одним из важнейших факторов, определяющим насколько перспективно и ценно будет научное исследование на первых этапах жизненного цикла. Именно коммерческая ценность выступает необходимым условием при поиске финансирования для проведения различных испытаний и внедрения разработки в производство.

Цель раздела – комплексное описание и анализ финансово-экономических аспектов выполненной работы. Необходимо оценить полные денежные затраты на исследование (проект), а также дать хотя бы приближенную экономическую оценку результатов ее внедрения. Это в свою очередь позволит с помощью традиционных показателей эффективности инвестиций оценить экономическую целесообразность осуществления работы.

В рамках данной работы рассматривается разработка системы противоаварийной автоматической защиты и реализации алгоритмов на основе ПЛК БАЗИС для воздухоразделительной установки.

Оценка перспективности, планирование и формирование бюджета научного исследования позволяют анализировать его экономическую эффективность.

8.1 Оценка коммерческого и инновационного потенциала НИИ

8.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Целевой рынок – сегменты рынка, на котором будет продаваться в будущем разработка. В свою очередь, сегмент рынка – это особым образом выделенная часть рынка, группы потребителей, обладающих определенными общими признаками. Сегментирование – это разделение покупателей на однородные группы, для каждой из которых может потребоваться определенный товар (услуга) [36].

Объектом исследования является система противоаварийной автоматической защиты для воздуходелительной установки. Потенциальными потребителями могут выступать промышленные предприятия (воздухоразделительный завод, химических веществ), лаборатории. Сегментирование рынка проводится по сфере использования и по размеру компании-заказчика. Карта сегментирования приведена в таблице 10.1.

Таблица 8.1 – Карта сегментирования рынка

Форма выпуска	Единичный выпуск	Партия
Масштаб предприятия		
Крупные (промышленные предприятия)		
Средние/Мелкие (лаборатории)		

Примечания:



- существует спрос;



- спрос отсутствует.

Анализ карты сегментирования рынка показал, что спрос на приборный контур защиты обеспечивают, так и мелкие и крупные предприятия по воздуходелению. Спрос на партию приборов показывают только крупные предприятия, тогда как спрос на единичный экземпляр показывают все выделенные сегменты потребителей. Ориентация на единичный выпуск прибора способствует занятию всех выделенных сегментов рынка, а также возможности настройки конечного продукта индивидуально под цели каждого заказчика, что так же увеличит конкурентоспособность продукта.

8.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное

исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов [36].

Данный анализ проводится с помощью оценочной карты, в таблице 10.2.

В качестве конкурента была взята «Криогенная установка разделения воздуха» русской компании РусГазКрио.

Сравнению параметров двух систем подлежат:

- надежность - разрабатываемая система более надежна в эксплуатации;
- точность измерения - определение технологических параметров точнее;
- энергопотребление - новое устройство экономичнее;
- скорость измерений - измерение технологических параметров;
- простота эксплуатации - разрабатываемая система проще;
- простота обслуживания - легче обслуживать для технического персонала.

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в таблице 8.2, подбираются, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Таблица 8.2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия В	Баллы		Конкурента способность	
		B_{ϕ}	$B_{\kappa 1}$	B_{ϕ}	$B_{\kappa 1}$
1	2	3	4	5	6
Технические критерии оценки ресурс эффективности					
надежность	0,1	4	1	0,4	0,1
точность измерения	0,15	5	3	0,75	0,45

Продолжение таблицы 8.2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия V	Баллы		Конкурента способность	
		B_{ϕ}	$B_{\kappa 1}$	B_{ϕ}	$B_{\kappa 1}$
1	2	3	4	5	6
Технические критерии оценки ресурс эффективности					
энергопотребление	0,2	3	2	0,6	0,4
скорость измерений	0,1	4	3	0,4	0,3
простота эксплуатации	0,05	5	4	0,25	0,2
простота обслуживания	0,05	4	4	0,2	0,2
Экономические критерии оценки эффективности					
Цена	0,1	3	4	0,3	0,4
Предполагаемый срок эксплуатации	0,15	3	3	0,45	0,45
Послепродажное обслуживание	0,1	4	3	0,4	0,3
Итого	1			3,75	2,8

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \times B_i \quad (8.1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

V_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Как видно из таблицы 8.2 конкурентоспособность разрабатываемого устройства выше по сравнению с продуктом-аналогом. Устройство лучше продукта-аналога и его разработка считается целесообразной и экономически выгодной.

8.1.3 FAST-анализ

FAST-анализ выступает как синоним функционально-стоимостного анализа. Суть этого метода базируется на том, что затраты, связанные с созданием и использованием любого объекта, выполняющего заданные функции, состоят из необходимых для его изготовления и эксплуатации и дополнительных, функционально неоправданных, излишних затрат, которые возникают из-за введения ненужных функций, не имеющих прямого отношения к назначению объекта, или связаны с несовершенством конструкции, технологических процессов, применяемых материалов, методов организации труда и т.д.

Проведение FAST-анализа предполагает шесть стадий:

1. Выбор объекта FAST-анализа;
2. Описание главной, основных и вспомогательных функций, выполняемых объектом;
3. Определение значимости выполняемых функций объектом;
4. Анализ стоимости функций выполняемых объектом исследования;
5. Построение функционально-стоимостной диаграммы объекта и ее анализ;
6. Оптимизация функций выполняемых объектом. Рассмотрим выполнение каждой стадии подробно [36].

Стадия 1. Выбор объекта FAST-анализа.

В рамках магистерской диссертации в качестве объекта FAST-анализа выступает объект исследования. Однако при выполнении раздела FAST-анализа – этот момент необходимо еще раз отразить.

Стадия 2. Описание главной, основных и вспомогательных функций, выполняемых объектом.

В качестве объекта FAST - анализа выступает приборный контур защиты.

Описание главных, основных и вспомогательных функций, выполняемых объектом приведено в таблице 8.3.

Таблица 8.3 – Классификация функций, выполняемых объектом исследования

Наименование детали	Кол-во деталей на узел	Выполняемая функция	Ранг функции		
			главная	основная	вспомогательная
Блок питания	1	Предоставления питания			X
Датчик	1	Измерение параметра		X	
Контроллер	1	Обработка данных измерения	X		
Исполнительный механизм	1	Управления исполнительным органом		X	
ЖКИ и клавиатура	1	Ввод и представление информации			X

Стадия 3. Определение значимости выполняемых функций объектом.

Для оценки значимости функций будем использовать метод расстановки приоритетов, предложенный Блумбергом В.А. и Глуценко В.Ф. В основу данного метода положено расчетно-экспертное определение значимости каждой функции.

На первом этапе необходимо построить матрицу смежности функции (таблица 8.4).

Таблица 8.4 – Матрица смежности функций

	Предоставл ения питания	Измерен ие параметр а	Обработ ка данных измерен ия	Управления исполнительн ым органом	Ввод и представле ниеинформ ацией
Предоставлен ия питания	=	<	<	<	<
Измерение параметра	>	=	<	<	>
Обработка данных измерения	>	>	=	>	>
Управления исполнительн ым органом	>	>	<	=	>
Ввод и представлени е информацией	>	<	<	<	=

Примечание: «<» – менее значимая; «=» – одинаковые функции по значимости; «>» – более значимая.

Второй этап связан в преобразованием матрицы смежности в матрицу количественных соотношений функций (таблица 8.5).

Ф1 – Функция 1 – Предоставления питания;

Ф2 – Функция 2 – Измерение параметра;

Ф3 – Функция 3 – Обработка данных измерения;

Ф4 – Функция 4 – Управления исполнительным органом;

Ф5 – Функция 5 – Ввод и представление информацией.

Таблица 8.5 – Матрица количественных соотношений функций

	Ф1	Ф2	Ф3	Ф4	Ф5	ИТОГО
Ф1	1	0,5	0,5	0,5	0,5	3
Ф2	1,5	1	0,5	0,5	1,5	5
Ф3	1,5	1,5	1	1,5	1,5	7
Ф4	1,5	1,5	0,5	1	1,5	6
Ф5	1,5	0,5	0,5	0,5	1	4
<i>Примечание: 0,5 при «<»; 1,5 при «>»; 1 при «=»</i>						$\Sigma=25$

В рамках третьего этапа происходит определение значимости функций путем деления балла, полученного по каждой функции, на общую сумму баллов по всем функциям. Так, для функции 1 относительная значимость равна $3/25 = 0,12$; для функции 2 – $5/25 = 0,2$; для функции 3 – $7/25 = 0,28$; для функции 4 – $6/25 = 0,24$ и для функции 5 – $4/25 = 0,16$. Обязательным условием является то, что сумма коэффициентов значимости всех функций должна равняться 1.

Стадия 4. Анализ стоимости функций, выполняемых объектом исследования.

Задача данной стадии заключается в том, что с помощью специальных методов оценить уровень затрат на выполнение каждой функции. Сделать это возможно с помощью применения нормативного метода. Расчет стоимости функций приведен в таблице 8.6.

Таблица 8.6 – Определение стоимости функций, выполняемых объектом исследования

Наименование детали	Количество деталей на узел	Выполняемая функция	Норма расход а, кг	Трудоёмкость детали, нормо - ч	Стоимость материала, руб	Заработная плата, руб.	Себестоимость, руб.
Блок питания	1	1	-	7	1200	1500	2700
Датчик	1	2	-	14	1800	1200	3000
Контроллер	1	3	-	14	2000	1500	3500
Исполнительны й механизм	1	4	-	14	1000	1500	2500
ЖКИ и клавиатура	1	5	-	7	1300	1500	2800
Итого							14500

В дальнейшем путем суммирования затрат по каждой функции определяется общая стоимость каждой из них. Данная информация используется для построения функционально-стоимостной диаграммы на следующей стадии.

Стадия 5. Построение функционально-стоимостной диаграммы объекта и ее анализ.

Рассчитываем относительную стоимость каждой функции:

Блок питания: $2700/14500 = 0,19$;

Датчик: $3000/14500 = 0,21$;

Контроллер: $3500/14500 = 0,24$;

Исполнительный механизм: $2500/14500 = 0,17$;

ЖКИ и клавиатура: $2800/14500 = 0,19$.

Информация об объекте исследования, собранная в рамках предыдущих стадий, на данном этапе обобщается в виде функционально-стоимостной диаграммы (ФСД) (рисунок 8.1).



Рисунок 8.1 – Функционально-стоимостная диаграмма (ФСД)

Стадия 6. Оптимизация функций выполняемых объектом.

На ФСД показана разница по функциям 1, 2, 3, 4, 5.

В качестве конкретных шагов, которые необходимо предложить на данном этапе, должны выступать предложения связанные с экономией за счет:

- применения принципиально новых конструкторских решений;
- оптимизации технических параметров;
- оптимизации параметров надежности;
- повышения ремонтпригодности.

В конечном счете результатом проведения FAST-анализа высокотехнологической и ресурсоэффективной разработки должно быть снижение затрат на единицу полезного эффекта, достигаемое путем:

- сокращения затрат при одновременном повышении потребительских свойств объекта;

- повышения качества при сохранении уровня затрат;
- уменьшения затрат при сохранении уровня качества;
- сокращения затрат при обоснованном снижении технических параметров до их функционально необходимого уровня;
- повышения качества при некотором, экономически оправданном увеличении затрат.

8.1.4 SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT – анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде. К сильным сторонам можно отнести в первую очередь точность измерения и безопасность также энергоэффективность. Сами сейсмодатчики не имеют негативного влияния на окружающую среду. Все результаты отображены в матрице SWOT (Таблица 8.7).
Таблица 8.7 – Матрица SWOT

Сильные стороны научно-исследовательского проекта:	Слабые стороны научно-исследовательского проекта:
С1. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей).	Сл1. Отсутствие прототипа научной разработки.
С2. Функциональная мощность (предоставляемые возможности).	Сл2. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров.
С3. Конкурентоспособность продукта.	Сл3. Отсутствие необходимого буродования для проведения испытания ПО.
С4. Срок выхода на рынок.	Сл4. Уровень проникновения на рынок.
С5. Высококвалифицированный научный труд.	Сл5. Большой срок поставок плат, используемы для проведения научного исследования.

Продолжение таблицы 8.7 – Матрица SWOT

Возможности:	Угрозы:
В1.Использование инновационной инфраструктуры для быстрого внедрения ПО на рынок.	У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства.
В2.Использование развитой международной инфраструктуры для более быстрой доставки плат.	У2. Развитая конкуренция производителей ПО.
В3.Появление дополнительного спроса на новый продукт.	У3. Ограничения памяти контроллера.
В4.Снижение таможенных пошлин на сырье и материалы, используемые при научных исследованиях.	
В5.Повышение стоимости конкурентных разработок.	

Далее перейдем ко второму этапу SWOT-анализа это выявление соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Для этого построим интерактивную матрицу проекта. Интерактивные матрицы строятся для всех сочетаний: Сильные стороны – Возможности; Сильные стороны – Угрозы; Слабые стороны – Возможности; Слабые стороны – Угрозы. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-». Результаты второго этапа SWOT-анализа представлены в таблице 8.8.

Таблица 8.8 – Интерактивная матрица проекта

		Сильные стороны				
		С1	С2	С3	С4	С5
Возможность и	В1	+	+	+	+	+
	В2	+	+	+	+	+
	В3	+	+	+	-	+
	В4	+	+	0	-	+
	В5	+	-	+	0	+
Угрозы	У1	-	-	+	+	-
	У2	+	-	-	-	+
	У3	0	0	+	-	-
		Слабые стороны				
		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
Возможность и	В1	-	-	-	-	-
	В2	-	-	-	-	-
	В3	-	-	-	-	-
	В4	-	-	-	-	-
	В5	-	-	-	-	-
Угрозы	У1	+	-	-	+	+
	У2	-	-	0	0	0
	У3	0	0	0	0	0

Из интерактивной матрицы наиболее весомые сильные стороны проекта это «Удобство в эксплуатации» и «Высококвалифицированный научный труд» позволяет, как уменьшать сложность эксплуатации, так и увеличивать качество продукта, или совмещать их.

Таблица 8.9 – SWOT-анализ

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей).</p> <p>С2. Функциональная мощность (предоставляемые возможности).</p> <p>С3. Конкурентоспособность продукта.</p> <p>С4. Срок выхода на рынок.</p> <p>С5. Высококвалифицированный научный труд.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Отсутствие прототипа научной разработки.</p> <p>Сл2. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров.</p> <p>Сл3. Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания ПО.</p> <p>Сл4. Уровень проникновения на рынок.</p> <p>Сл5. Большой срок поставок плат, используемы для проведения научного исследования.</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Использование инновационной инфраструктуры для быстрого внедрения ПО на рынок.</p>	<p>Использование инновационной структуры позволит повысить конкурентоспособность ПО и ускорить выход на рынок. Так же использование</p>	<p>Появление дополнительного спроса на новый продукт может привести к отсутствию у потенциальных потребителей квалифицированных</p>

<p>В2.Использование развитой международной инфраструктуры для более быстрой доставки плат.</p> <p>В3.Появление дополнительного спроса на новый продукт.</p> <p>В4.Снижение таможенных пошлин на сырье и материалы, используемые при научных исследованиях.</p> <p>В5.Повышение стоимости конкурентных разработок.</p>	<p>развитой международной инфраструктуры поможет ускорить выход ПО на рынок.</p> <p>Возможно появление дополнительного спроса на новый продукт благодаря использованию высококвалифицированного научного труда. Благодаря снижению таможенных пошлин на платы возможно повышение конкурентоспособности ПО.</p>	<p>кадров. Снижение таможенных пошлин на сырье и материалы, используемые при научных исследованиях может привести к увеличению срока поставки плат, используемых для проведения научного исследования.</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства.</p> <p>У2. Развитая конкуренция производителей ПО.</p> <p>У3. Ограничения памяти контроллера.</p>	<p>Отсутствие спроса на новые технологии производства может замедлить срок выхода ПО на рынок и понизить квалификацию научного труда. Развитая конкуренция производителей ПО может привести к снижению конкурентоспособности продукта. Ограничения памяти платы</p>	<p>Отсутствие спроса на новые технологии производства и высокая стоимость оборудования и плат может привести к отсутствию прототипа научной разработки, отсутствию потенциальных потребителей, необходимого оборудования для проведения испытания ПО, ухудшить</p>

	<p>ICP DAS. и высокая стоимость оборудования и плат требует более высоко квалифицированный научный труд и затягивает срок выхода на рынок.</p>	<p>уровень проникновения на рынок и увеличить сроки поставки плат. Выпуск более новых чипов для ICP DAS. может способствовать к отсутствию необходимого оборудования для проведения испытания ПО.</p>
--	--	---

В данной части был проведен SWOT-анализ научно-исследовательского проекта с выявлением слабых и сильных сторон их возможностей и угроз. «Удобство в эксплуатации» и «Высококвалифицированный научный труд» являются сильными сторонами проекта, что повлияет на повышение конкурентоспособности и спроса. Технические характеристики разрабатываемого прибора лучше, чем у аналога, что играет важную роль.

8.2 Планирование управления научно-техническим проектом

Группа процессов планирования состоит из процессов, осуществляемых для определения общего содержания работ, уточнения целей и разработки последовательности действий, требуемых для достижения данных целей.

8.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Прежде чем начать работу над проектом, необходимо провести планирование этапов работы, обозначив при этом занятость каждого из участников, а также привести сроки выполнения каждого этапа. Структура работ и распределение занятости исполнителей приведены в таблице 8.10.

Таблица 8.10 – Перечень этапов работы и распределение исполнителей

Этапы работы	Исполнители	Загрузка исполнителей
1. Постановка целей и задач исследования	НР, И	НР – 80% И – 20%
2. Изучение технологического процесса	И	И – 100%
3. Описание химического опасного производственного объекта	И	И – 100%
4. Анализ HAZOP для технологического процесса	НР, И	НР – 10% И – 90%
5. Назначение SIL для технологических параметров	НР, И	НР – 10% И – 90%

Продолжение таблицы 8.10 – Перечень этапов работы и распределение исполнителей

6. Разработка приборных контуров безопасности	НР, И	НР – 20% И – 80%
7. Выбор оборудования в соответствии с требованиями УПБ	И	И – 100%
8. Проверка SIL разработанного контура	И	И – 100%
9. Разработка структуры системы ПАЗ	НР, И	НР – 20% И – 80%
10. Разработка схемы и алгоритмы на основе ПЛК БАЗИС	НР, И	НР – 10% И – 90%
11. Подведение итогов	И	И – 100%

Примечание: НР – научный руководитель; И – инженер (студент).

8.2.2 Определение трудоемкости выполнения работы

Трудоёмкость выполнения исследования оценивается экспертным путём в силу вероятностного характера величины. За единицу измерения трудоёмкости принимаются человеко-дни. Ожидаемая трудоёмкость рассчитывается по формуле 8.1:

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot t_{\min} + 2 \cdot t_{\max}}{5} \quad (8.1)$$

где $t_{ож}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения работы чел.дн;

t_{\min} – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной работы, чел.дн;

t_{\max} – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной работы, чел.дн.

Для выполнения перечисленных в таблице 8.11 работ требуются специалисты:

- инженер;
- научный руководитель.

Для построения линейного графика необходимо рассчитать длительность этапов в рабочих днях, а затем перевести в календарные дни. Расчет продолжительности выполнения каждого этапа в рабочих днях ведется по формуле 8.2:

$$T_{РД} = \frac{t_{ож}}{K_{ВН}} \cdot K_{Д}, \quad (8.2)$$

где $t_{ож}$ – трудоемкость работы, чел/дн.;

$K_{ВН}$ – коэффициент выполнения работ ($K_{ВН} = 1$);

$K_{Д}$ – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсации и согласование работ ($K_{Д} = 1.2$).

Расчет продолжительности этапа в календарных днях ведется по формуле 8.3:

$$T_{КД} = T_{РД} \cdot T_{К}, \quad (8.3)$$

где $T_{РД}$ – продолжительность выполнения этапа в рабочих днях;

$T_{КД}$ – продолжительность выполнения этапа в календарных днях;

$T_{К}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности рассчитывается по формуле 8.4:

$$T_{К} = \frac{T_{КАЛ}}{T_{КАЛ} - T_{ВД} - T_{ПД}}, \quad (8.4)$$

где $K_{АЛ}$ – календарные дни ($K_{АЛ} = 365$);

$T_{ВД}$ – выходные дни ($T_{ВД} = 52$);

$T_{ПД}$ – праздничные дни ($T_{ПД} = 10$).

$$T_{К} = \frac{365}{365 - 52 - 10} = 1,205$$

В таблице 8.11 приведены длительность этапов работ и число исполнителей, занятых на каждом этапе.

Таблица 8.11 – Трудозатраты на выполнение проекта

Этапы работы	Испол- нители	Загрузка исполни- телей	Продолжительность работ, дни			Длительность работ, чел/дн.			
			t _{min}	t _{max}	t _{ож}	Т _{рд}		Т _{кд}	
						НР	И	НР	И
Постановка целей и задач исследования	НР, И	НР – 80% И – 20%	1	2	1,4	1,344	0,336	1,61952	0,40488
Изучение технологическ ого процесса	И	И – 100%	5	8	6,2	-	7,44	-	8,9652
Описание химического опасного производствен ного объекта	И	И – 100%	6	7	6,4	-	7,68	-	9,2544
Анализ HAZOP для тех. процесса	НР, И	НР – 10% И – 90%	10	15	12	1,44	20,736	1,7352	24,98688

Продолжение таблицы 8.11 – Трудозатраты на выполнение проекта

Этапы работ	Исполнители	Загрузка исполнителей	Продолжительность работ, дни			Длительность работ, чел/дн.			
			t _{min}	t _{max}	t _{ож}	Т _{рд}		Т _{кд}	
						НР	И	НР	И
Назначение SIL для технологических параметров	НР, И	НР – 10% И – 90%	16	24	19,2	2,304	33,48	2,77632	40,3434
Разработка приборных контуров безопасности	НР, И	НР – 20% И – 80%	25	40	31	7,44	29,76	8,9652	35,8608
Выбор оборудования в соответствии с требованиями УПБ	И	И – 100%	30	35	32	-	38,4	-	46,272

Продолжение таблицы 8.11 – Трудозатраты на выполнение проекта

Этапы работ	Исполнители	Загрузка исполнителей	Продолжительность работ, дни			Длительность работ, чел/дн.			
			t _{min}	t _{max}	t _{ож}	Т _{рд}		Т _{кд}	
						НР	И	НР	И
Проверка SIL разработанного контура	И	И – 100%	20	30	24	-	28,8	-	34,704
Разработка структуры системы ПАЗ	НР, И	НР – 20% И – 80%	20	30	24	5,76	23,04	6,9408	27,7632
Разработка схемы и алгоритмы на основе ПЛК БАЗИС	НР, И	НР – 10% И – 90%	25	35	29	3,48	31,32	4,1934	37,7406
Подведение итогов	И	И – 100%	10	20	14	-	16,8	-	20,244

8.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

В рамках планирования научного проекта необходимо построить календарный и сетевой графики проекта.

Линейный график представляется в виде таблицы (таблица 8.12).

Таблица 8.12 – Календарный план проекта

Код	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончани я работ	Состав участнико в (ФИО ответ- ственных ис- полнителей)
1	Постановка целей и задач исследования	5	01.02	05.02	НР – 80% И – 20%
2	Изучение технологическог о процесса	10	06.02	15.02	И – 100%
3	Описание химического опасного производственно го объекта	10	16.02	25.02	И – 100%
4	Анализ HAZOP для тех.процеса	13	26.02	10.03	НР – 10% И – 90%
5	Назначение SIL для технологических параметров	10	11.03	20.03	НР – 10% И – 90%

Продолжение таблицы 8.12 – Календарный план проекта

Код	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончани я работ	Состав участнико в (ФИО ответ- ственных ис- полнителей)
6	Разработка приборных контуров безопасности	11	21.03	31.03	НР – 20% И – 80%
7	Выбор оборудования в соответствии с требованиями УПБ	15	01.04	15.04	И – 100%
8	Проверка SIL разработанного контура	10	16.04	25.04	И – 100%
9	Разработка структуры системы ПАЗ	15	26.04	10.05	НР – 20% И – 80%
10	Разработка схемы и алгоритмы на основе ПЛК БАЗИС	10	11.05	20.05	НР – 10% И – 90%
11	Подведение итогов	11	21.05	31.05	И – 100%

Диаграмма Ганта – это тип столбчатых диаграмм (гистограмм), который используется для иллюстрации календарного плана проекта, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

График строится в виде таблицы 8.13 с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени выполнения научного проекта. При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Примечание:

Код с соответственным видом работы

Постановка целей и задач исследования;

Изучение технологического процесса;

Описание химического опасного производственного объекта;

Анализ HAZOP для технологического процесса;

Назначение SIL для технологических параметров;

Разработка приборных контуров безопасности;

Выбор оборудования в соответствии с требованиями УПБ;

Проверка SIL разработанного контура;

Разработка структуры системы ПАЗ;

Разработка схемы и алгоритмы на основе ПЛК БАЗИС;

Подведение итогов.

Таблица 8.13 – Календарный план – график проведения НИОРК по теме

Код	Исполнители	Тк, кал,дн.	Февраль			Март			Апрель			Май		
			10	20	28	10	20	31	10	20	30	10	20	31
1	НР – 80% И – 20%	01.02 - 05.02	■											
2	И – 100%	06.02 - 15.02	■	■										
3	И – 100%	16.02 - 25.02		■	■									
4	НР – 10% И – 90%	26.02 - 10.03			■	■	■							
5	НР – 10% И – 90%	11.03 - 20.03				■	■							
6	НР – 20% И – 80%	21.03 - 31.03					■	■						
7	И – 100%	01.04 - 15.04						■	■	■				
8	И – 100%	16.04 - 25.04							■	■				
9	НР – 20% И – 80%	26.04 - 10.05								■	■	■		
10	НР – 10% И – 90%	11.05 - 20.05										■	■	
11	И – 100%	21.05 - 31.05											■	■

Примечание: НР – ■; И – ■.

8.2.4 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;
- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- затраты научные и производственные командировки;
- контрагентные расходы;
- накладные расходы.

8.2.4.1 Расчет материальных затрат НТИ

К данной статье расходов относится стоимость материалов, покупных изделий, полуфабрикатов и других материальных ценностей, расходуемых непосредственно в процессе выполнения работ. Цена материальных ресурсов определяется по соответствующим ценникам и приведена в таблице 8.14.

Таблица 8.14 – Расходные материалы

<i>Наименование материалов</i>	<i>Цена за ед., руб.</i>	<i>Количество</i>	<i>Сумма, руб.</i>
Бумага для принтера формата А4	400	1 уп.	400
Ручка шариковая	20	2 шт.	40
Карандаш	30	1 шт.	30
Оплетка для расчетно-пояснительной записки	60	1 шт.	60
Итого:			530

Пусть ТЗР составляет 5% от отпускной цены материалов, тогда расходы на материалы с учетом ТЗР равны:

$$C_{\text{мат}} = 530 * 1,05 = 556,5 \text{ рублей.}$$

8.2.4.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ

Специальное оборудование, необходимое для проведения ВКР – компьютер (ПК, монитор, клавиатура, компьютерная мышь, либо ноутбук и компьютерная мышь) общей стоимостью 50000 руб.

Таблица 8.15 – Перечень затрат на специальное оборудование

Наименование	Кол-во, шт.	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Компьютер	1	50000	50000
Всего за специальное оборудование			50000

8.2.4.3 Расчет амортизационных расходов

В статье «Амортизационные отчисления» от используемого оборудования рассчитывается амортизация за время выполнения работы для оборудования, которое имеется в наличии.

Амортизационные отчисления рассчитываются на время использования ЭВМ по формуле 8.5:

$$C_{AM} = H_A * C_{OB} * m * n \quad (8.5)$$

где H_A – годовая норма амортизации, $H_A = 33,3\%$;

C_{OB} – цена оборудования, $C_{OB} = 50000$. руб;

m – срок службы компьютера, $m=3$ года;

n – число задействованных ПЭВМ, $n=1$.

Итак, затраты на амортизационные отчисления составили:

$$C_{AM} = 33,3\% * 50000 * 3 * 1 = 49950 \text{ рублей.}$$

8.2.4.4 Основная заработная плата исполнителей темы

Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда. В состав основной

заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы (размер определяется Положением об оплате труда). Расчет основной заработной платы сводится в таблице 8.16.

Таблица 8.16 – Расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудоемкость, чел.-дн.	Заработная плата, приходящаяся на один чел.- дн., руб.	Всего заработная плата по тарифу (окладам), руб.
1	Постановка целей и задач исследования	НР, И	1,4	800	1120
2	Изучение технологического процесса	И	6,2	300	1860
3	Описание химического опасного производственного объекта	И	6,4	300	1920
4	Анализ HAZOP для технологического процесса	НР, И	12	800	9600
5	Назначение SIL для технологических параметров	НР, И	19,2	800	15360

Продолжение таблицы 8.16 – Расчет основной заработной платы

№ п/ п	Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудоемкость , чел.-дн.	Заработная плата, приходящаяс я на один чел.- дн., руб.	Всего заработна я плата по тарифу (окладам), руб.
6	Разработка приборных контуров безопасности	НР, И	31	800	24800
7	Выбор оборудований в соответствии с требованиями УПБ	И	32	300	9600
8	Проверка SIL разработанного контура	И	24	300	7200
9	Разработка структуры системы ПАЗ	НР, И	24	800	19200
10	Разработка схемы и алгоритмы на основе ПЛК БАЗИС	НР, И	29	800	23200
11	Подведение итогов	И	14	300	4200

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением проекта, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату.

$$C_{ЗП} = З_{ОСН} + З_{ДОП} \quad (8.6)$$

где $З_{ОСН}$ – основная заработная плата;

$З_{ДОП}$ – дополнительная заработная плата (12-20 % от $З_{ОСН}$).

Основная заработная плата ($З_{ОСН}$) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$З_{ОСН} = З_{ДН} + Т_{РАБ} \quad (8.7)$$

где $З_{ОСН}$ – основная заработная плата одного работника;

$Т_{РАБ}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (таблица 8.15);

$З_{ДН}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{ДН} = \frac{З_{М} * М}{F_{Д}} \quad (8.8)$$

где $З_{М}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

$М$ – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня $М = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дней $М = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

$F_{Д}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (таблица 8.17).

Таблица 8.17 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	105	105
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	48	48
- невыходы по болезням	-	-
Действительный годовой фонд рабочего времени	198	198

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_M = Z_б * (k_{ПР} + k_D) * k_p \quad (8.9)$$

где $Z_б$ – базовый оклад, руб.;

$k_{пр}$ – премиальный коэффициент, (определяется Положением об оплате труда);

k_d – коэффициент доплат и надбавок (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: определяется Положением об оплате труда);

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

$$Z_{дн1} = \frac{Z_M * M}{F_d} = \frac{30000 * 10,4}{198} = 1575,8 \text{ руб.} - \text{заработная плата руководителя за 1}$$

день;

$$Z_{дн2} = \frac{Z_M * M}{F_d} = \frac{15000 * 10,4}{198} = 787,9 \text{ руб.} - \text{заработная плата студента 1 за день;}$$

$$Z_{осн1} = 1575,8 * 116,6 = 183738,28 \text{ руб.} - \text{руководитель;}$$

$$Z_{ОСН2} = 787,9 * 199,2 = 156949,68 \text{ руб.} - \text{ студент.}$$

Пусть $Z_{доп} = 12\% * Z_{ОСН}$:

$$C_{зп1} = 183738,28 + 183738,28 * 0,12 = 205786,87 \text{ руб.} - \text{ руководитель;}$$

$$C_{зп2} = 156949,68 + 156949,68 * 0,12 = 175783,64 \text{ руб.} - \text{ студент.}$$

8.2.4.5 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

В данную статью включается сумма выплат, предусмотренных законодательством о труде, например, оплата очередных и дополнительных отпусков; оплата времени, связанного с выполнением государственных и общественных обязанностей; выплата вознаграждения за выслугу лет и т.п. (в среднем – 12 % от суммы основной заработной платы).

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

$$Z_{доп} = k_{доп} * Z_{ОСН} \quad (8.10)$$

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

$k_{доп}$ – коэффициент дополнительной зарплаты;

$Z_{ОСН}$ – основная заработная плата, руб.

$$Z_{доп1} = 183738,28 * 0,12 = 22048,59 \text{ руб.} - \text{ руководитель;}$$

$$Z_{доп2} = 156949,68 * 0,12 = 18833,96 \text{ руб.} - \text{ студент.}$$

8.2.4.6 Отчисления на социальные нужды

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{внеб} = k_{внеб} * (Z_{ОСН} + Z_{доп}) \quad (8.11)$$

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 водится пониженная ставка – 28%.

Таблица 8.18 – Отчисления на социальные нужды.

Исполнитель	Руководитель	Студент
Основная заработная плата, руб.	183738,28	156949,68
Дополнительная заработная плата, руб.	22048,59	18833,96
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	28%	28%
Итого, руб.	57620,32	49219,42

$$C_{внеб} = k_{внеб} * (Z_{осн} + Z_{доп}) = 28\% * (183738,28 + 22048,59) = 57620,32 \text{ руб.}$$

- руководитель;

$$C_{внеб} = k_{внеб} * (Z_{осн} + Z_{доп}) = 28\% * (156949,68 + 18833,96) = 49219,42 \text{ руб.}$$

- студент.

8.2.4.7 Накладные расходы

В эту статью включаются затраты на управление и хозяйственное обслуживание, которые могут быть отнесены непосредственно на конкретную тему. Кроме того, сюда относятся расходы по содержанию, эксплуатации и ремонту оборудования, производственного инструмента и инвентаря, зданий, сооружений и др. В расчетах эти расходы принимаются в размере 70 - 90 % от суммы основной заработной платы научно-производственного персонала данной научно-технической организации.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{накл} = k_{накл} * (Z_{осн} + Z_{доп}) \quad (8.12)$$

где $k_{накл}$ – коэффициент накладных расходов.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

8.2.4.8 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 8.19.

Таблица 8.19 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.		Примечание
	Исп. 1 (НР)	Исп.2 (И)	
1. Материальные затраты НИИ	530	530	Табл. 10.14
2. Расходы на спец. Оборуд.	50000	50000	Табл. 10.15
3. Амортизационный расход	49950	49950	Пункт 10.2.4.3
4. Затраты по основной заработной плате	183738,2	156949,68	Пункт 10.2.4.4
5. Затраты по дополнительной заработной плате	22048,59	18833,96	Пункт 10.2.4.5
6. Отчисления во внебюджетные фонды	57620,32	49219,42	Пункт 10.2.4.6
7. Накладные расходы	58221,95	52077,29	16 % от суммы ст. 1 - 6
8. Бюджет затрат НИИ	422109,14	377560,35	Сумма ст. 1- 8

8.3 Определение ресурсной финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Эффективность научного ресурсосберегающего проекта включает в себя социальную эффективность, экономическую и бюджетную эффективность. Показатели общественной эффективности учитывают социально-экономические последствия осуществления инвестиционного проекта как для общества в целом, в том числе непосредственные результаты и затраты проекта, так и затраты и результаты в смежных секторах экономики, экологические, социальные и иные внеэкономические эффекты.

Показатели экономической эффективности проекта учитывают финансовые последствия его осуществления для предприятия, реализующего данный проект. В этом случае показатели эффективности проекта в целом характеризуют с экономической точки зрения технические, технологические и организационные проектные решения.

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности. Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат нескольких вариантов исполнения научного исследования (см. табл. 10.18). Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения. Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{фин}^i = \frac{\Phi_i}{\Phi_{max}} \quad (8.13)$$

где $I_{фин}^i$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_i – стоимость i -ого варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения проекта.

$$I_{фин}^1 = \frac{422109,14}{422109,14} = 1 \quad - \text{ интегральный финансовый показатель}$$

разработки первого исполнения;

$$I_{фин}^2 = \frac{377560,35}{422109,14} \approx 0,895 \quad - \text{ интегральный финансовый показатель}$$

разработки первого исполнения.

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i * b_i^a, I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i * b_i^p \quad (8.14)$$

где I_m – интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов;

a_i – весовой коэффициент i -го параметра;

b_i^a, b_i^p – бальная оценка i -го параметра для аналога и разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения. Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы, пример которой приведен ниже.

Таблица 8.20 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ ПО	Весовой коэффициент параметра	Исп. 1	Исп. 2
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	5	4
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	4	3

Продолжение таблицы 8.20 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ ПО	Весовой коэффициент параметра	Исп. 1	Исп. 2
3. Помехоустойчивость	0,15	5	4
4. Энергосбережение	0,20	4	4
5. Надежность	0,25	4	3
6. Материалоемкость	0,15	4	4
ИТОГО	1		

$$I_{p-ucn1} = 5*0,1 + 4*0,15 + 5*0,15 + 4*0,2 + 4*0,25 + 4*0,15 = 4,25$$

$$I_{p-ucn2} = 4*0,1 + 3*0,15 + 4*0,15 + 4*0,2 + 3*0,25 + 4*0,15 = 3,6$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки (I_{ucni}) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{ucni} = \frac{I_{p-ucni}}{I_{\phi}^p ucni} \quad (8.15)$$

$$I_{ucn1} = \frac{4,25}{1} = 4,25$$

$$I_{ucn2} = \frac{3,6}{0,895} \approx 3,66$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность

проекта (таблица 8.20) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта (\mathcal{E}_{cp}):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}} \quad (8.16)$$

Таблица 8.21 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	0,895
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,25	3,6
3	Интегральный показатель эффективности	4,25	3,66
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	$\frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}} = 1,16$	$\frac{I_{исп.2}}{I_{исп.1}} = 0,86$

8.4 Заключение по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

В ходе выполнения раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» были определены потенциальные потребители. Произведен анализ конкурентов исходя из которого можно заключить, что данное устройство является конкурентоспособным. Разработаны структура работ и график проведения научного исследования. Рассчитаны материальные затраты, а также трудозатраты на выполнение проекта, затрат на специальное оборудование, амортизационный расход, затраты по основной и дополнительной заработной плате вовлечённых в разработку сотрудников, отчисления на социальные нужды, накладные расходы. Формирован бюджет затрат научно-исследовательского проекта. Определена ресурсная финансовая, бюджетная, социальная и экономическая эффективность

исследования. Произведена сравнительная эффективность разработки на основании интегрального показателя эффективности. Из таблицы 9.20 видно, что наиболее эффективным вариантом решения поставленной в магистерской диссертации технической задачи является исполнение 1.

9 Социальная ответственность

Цель настоящей работы составлена на разработку основных технических решений по созданию системы противоаварийной автоматической защиты на производственный объект «воздухоразделительная установка», для технологических процессов должны предусматриваться системы ПАЗ, предупреждающие возникновение аварии при отклонении от предусмотренных технологическим регламентом на производство продукции предельно допустимых значений параметров процесса во всех режимах работы и обеспечивающие безопасную остановку или перевод процесса в обычное состояние по заданной программе. Это логическая система контроля и измерения, которая выявляет аномальные события в техническом процессе и инициирует автоматические действия по сбросу энергии, срабатыванию арматуры и останову технического объекта для доведения нарушения технического режима до безопасного уровня.

Таким образом пользователями разрабатываемого решения является воздухоразделительные заводы.

В процессе написания дипломной работы разработка системы ПАЗ велась только при помощи компьютера.

В данном разделе будут рассмотрены вредные и опасные факторы, которые оказывают влияние на рабочую деятельность персонала, рассмотрены воздействия разрабатываемой программы на окружающую среду, правовые и организационные вопросы, мероприятия в чрезвычайных ситуациях.

Работа выполнялась в офисном помещении, рабочая зона которого оборудована 2 местами, каждое из которых включает в себя: стул, компьютер с периферийными устройствами и установленным специализированным техническим программным обеспечением, расположенном на столе, побеленные стены и потолок, два окна. Установлена пожарная сигнализация.

9.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

9.1.1 Правовые нормы трудового законодательства

Режим рабочего времени устанавливается в соответствии с «ТК РФ [39] Статья 91. Понятие рабочего времени. Нормальная продолжительность рабочего времени». Нормальная продолжительность рабочего времени не может превышать 40 часов в неделю. При 5-ти дневной рабочей неделе 8-часовой рабочей смене и работе на ПК регламентированные перерывы следует устанавливать через 2 часа от начала смены и через 2 часа после обеденного перерыва продолжительностью 15 минут каждый.

Оплата работников, занятых на работах с вредными или опасными условиями труда выполняется в соответствии ТК РФ Статья 147. Так как условия труда не подходят под понятие опасные, следовательно выплат и компенсаций не производится.

9.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Рабочее место должно быть организовано с учетом эргономических требований согласно ГОСТ 12.2.032-78 «ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования» [37]. Конструкцией рабочего места должно быть обеспечено оптимальное положение работающего, которое достигается регулированием:

- Высоты рабочей поверхности, сиденья и пространства для ног;
- Высоты сиденья и подставки для ног (при нерегулируемой высоте рабочей поверхности). В этом случае высоту рабочей поверхности устанавливают по номограмме для работающего ростом 1800 мм. Оптимальная рабочая поза для работающих более низкого роста достигается за счет увеличения высоты рабочего сиденья и подставки для ног на величину, равную разности между высотой рабочей поверхности для работающего ростом 1800 мм и высотой рабочей поверхности, оптимальной для роста данного работающего.

Дисплей на рабочем месте оператора должен располагаться так, чтобы изображение в любой его части было различимо без необходимости поднять или опустить голову. Дисплей на рабочем месте должен быть установлен ниже уровня глаз оператора. Угол наблюдения экрана оператором относительно

горизонтальной линии взгляда не должен превышать 60° [62]. Освещенность рабочего места оператора на рабочем столе в горизонтальной плоскости от общего искусственного освещения должна быть от 300 до 500 лк [62].

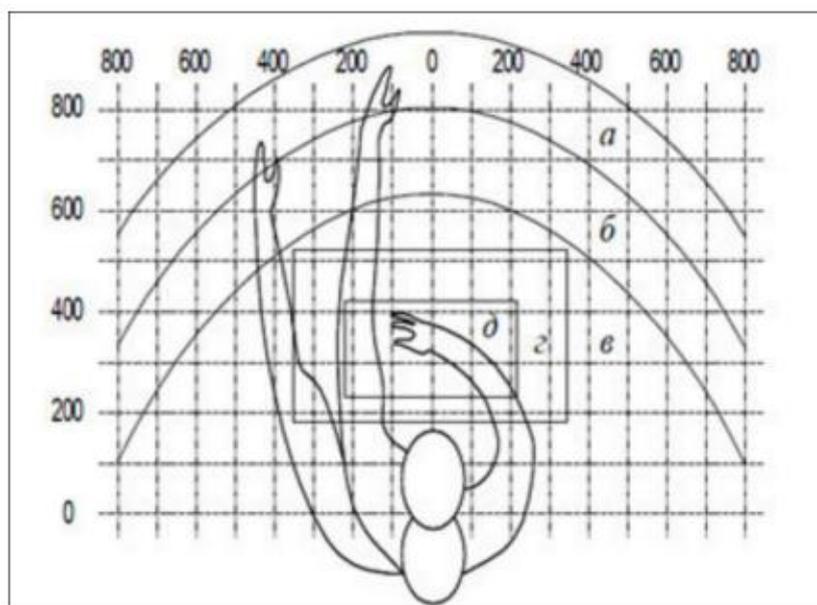
На рабочем месте, предназначенном для работы в положении сидя, производственное оборудование и рабочие столы должны иметь пространство для размещения ног высотой не менее 600 мм, глубиной - не менее 450 мм на уровне колен и 600 мм на уровне стоп, шириной не менее 500 мм [63].

Помещение, где выполнялась магистерская работа, имеет следующие характеристики:

- Ширина рабочего помещения 6м, длина - 14 м, высота – 4 м;
- Площадь - 84 м²;
- Имеется естественная вентиляция: двери, окна;
- Искусственное освещение;
- Естественное освещение.

Оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах досягаемости (рисунок 9.1.):

1. Дисплей размещается в зоне «а» (в центре).
2. Системный блок размещается в предусмотренной нише стола.
3. Клавиатура – в зоне «г/д».
4. «Мышь» – в зоне «в» справа.
5. Документация, необходимая при работе – в зоне легкой досягаемости ладони – «б», а в выдвижных ящиках стола –редко используемая литература.



а – зона максимальной досягаемости; б – зона досягаемости пальцев при вытянутой руке; в – зона легкой досягаемости ладони; г – оптимальное пространство для грубой ручной работы; д – оптимальное пространство для тонкой ручной работы.

Рисунок 9.1 – Эргономические требования

9.2 Производственная безопасность

В соответствии с ГОСТ 12.0.002-2014 [40] вредным фактором является фактор, воздействие которого на работающего в определенных условиях может привести к заболеванию, снижению работоспособности и (или) отрицательному влиянию на здоровье потомства, а опасным производственным фактором – фактор, воздействие которого на работающего в определенных условиях приводит к травме, острому отравлению или другому внезапному резкому ухудшению здоровья, или смерти.

Для идентификации таких факторов необходимо использовать ГОСТ 12.0.003-2015 [41]. Перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды представлен в таблице 9.1.

Таблица 9.1 – Перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Нормативные документы
повышенный уровень шума	ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности [42]; СП 51.13330.2011 Защита от шума [43].
недостаточная освещенность рабочей зоны	СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95 [44].
отклонение параметров микроклимата в помещении	ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны [45].
поражение электрическим током	ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты [46].

9.2.1 Повышенный уровень шума

Важной характеристикой рабочего помещения является уровень шума.

Шум – это совокупность звуков, неблагоприятно воздействующих на организм человека и мешающих его работе и отдыху. Основным источником шума при работе с вычислительными машинами является системный блок. В современном мире настоящей проблемой системных блоков стала шумность систем вентиляции. Естественно, что чем выше частота процессора, тем выше будет его энергопотребление. Таким образом, возникает нужда в более мощном охлаждении. И соответственно растет уровень шума, создаваемый системой вентиляции.

Помещения, в которых для работы используют компьютеры не должны соседствовать с помещениями, в которых уровни шума превышают нормируемые значения. Для помещения, в котором велась разработка,

основными источниками шума являются расположенные в помещении компьютеры и кондиционер. Также источником шума является охлаждающий блок питания, процессор, графические платы и жесткие диски [12]. Так как данная работа выполнялась в читальном зале библиотеки, согласно СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания нормативным эквивалентным уровнем звука (L_{pAeqT} , дБА), на рабочих местах, является 40 дБА [52].

Методы для уменьшения воздействий шума представлены в СП 51.13330.2011 Защита от шума [43]:

- экранирование рабочих мест, то есть установка перегородок между рабочими местами;
- установка оборудования, производящего минимальный шум;
- применение звукопоглощающих материалов.

Для обеспечения снижения уровня шума персональных компьютеров, необходимо регулярно проводить чистку от пыли, замену смазывающих веществ и прочее техническое обслуживание. Также необходимо поддерживать в исправном состоянии систему вентиляции и кондиционирования.

На рабочем месте уровень шума является допустимым, так как не вызывает значительного беспокойства, и не влияет на психологическое состояние.

9.2.2 Недостаточная освещенность рабочей зоны

Рабочее освещение – освещение, обеспечивающее нормируемые световые условия (освещенность, качество освещения) в помещениях и местах производства работ вне зданий.

Неудовлетворительное освещение может привести к напряжению зрения, ослаблению внимания, раздражению, головной боли и утомлению. Основным документом, регламентирующим нормы освещенности, является СП 52.13330.2016 [44].

Согласно СП 52.13330.2016 [44], нормы освещённости (E_n) на рабочих для работ высокой точности, должна быть не менее 300 лк.

Произведем расчет искусственного освещения для обеспечения необходимых норм освещенности.

Геометрические параметры помещения приведены на рисунке 9.2.

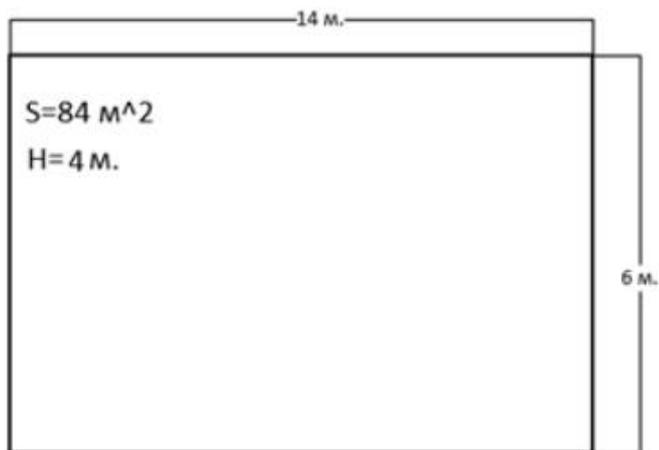


Рисунок 9.2 — Геометрические параметры помещения

Количество рядов светильника будем считать равным $N=3$, высота рабочей поверхности $h_p=0,7$ м, а расстояние светильника от перекрытия $h_c=0,2$ м.

Коэффициенты отражения определим по состоянию потолка и стен согласно «Безопасность жизнедеятельности: практикум» [49], $\rho_{ст} = 50\%$ $\rho_{п} = 70\%$. Коэффициент запаса для люминесцентных ламп в помещении с малым выделением пыли $K_z = 1,5$, согласно «Безопасность жизнедеятельности: практикум» [49]. Коэффициент неравномерности освещения для люминесцентных ламп $Z = 1,1$, согласно «Безопасность жизнедеятельности: практикум» [49].

В первую очередь рассчитаем индекс помещения i по следующей формуле (9.1) взятой из «Безопасность жизнедеятельности: практикум» [49]:

$$i = \frac{S}{h \cdot (A + B)} = \frac{84}{(4 - 0,7 - 0,2) \cdot (14 + 6)} = 1,35 \quad (9.1)$$

где S – площадь помещения;

h – расстояние светильника до рабочей поверхности;

A – длина помещения;

B – ширина помещения.

В результате вычисления получили значение $i = 2$. Выберем ряд светильников ОДР с защитной решеткой. По индексу помещения, коэффициентам отражения и типу светильника, определяем коэффициент использования светового потока, который равен $\eta = 51 \%$, согласно «Безопасность жизнедеятельности: практикум» [49].

Размещаем светильники в три ряда и в каждом из рядов установим по 5 светильников. Таким образом, общее количество ламп в помещении равно $N = 30$.

Световой поток светильника вычислим по формуле (9.2) взятой из «Безопасность жизнедеятельности: практикум» [49]:

$$\Phi = \frac{E_n \cdot S \cdot K \cdot Z}{N \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 8 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{30 \cdot 0,51} = 2717,6 \text{ лм.} \quad (9.2)$$

где Φ – световой поток;

S – площадь помещения;

E_n – нормируемая минимальная освещенность;

K – коэффициент запаса светильника;

Z – коэффициент неравномерности освещения;

N – число ламп в помещении;

η – коэффициент использования светового потока.

В результате расчетов получили значение $\Phi = 2717$ лм. Таким образом, для обеспечения норм освещенности подойдет люминесцентная лампа ЛБ 40Вт, световой поток которой равен $\Phi = 2800$ лм.

Необходимый поток лампы не должен выходить за пределы диапазона ($-10 \div +20 \%$). Делаем проверку условия и получаем:

$$-10\% \leq \frac{2800 - 2717}{2800} \leq +20\%$$

$$-10\% \leq +2,96\% \leq +20\%$$

Наблюдаем что подобранная лампа не выходит за пределы диапазона.

9.2.3 Отклонение показателей микроклимата

Согласно ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. [45] показателями, характеризующими микроклимат, являются:

- температура воздуха;
- относительная влажность воздуха;
- скорость движения воздуха;
- интенсивность теплового излучения.

Данные показатели могут изменяться в зависимости от погодных условий, времени года, отопительного сезона.

Допустимые нормы представим в таблице 9.2.

Таблица 9.2 – Допустимые нормы показателей микроклимата [45]

Период года	Температура, °С			Относительная влажность, %		Скорость движения, м/с	
	Оптимальная	Допустимая		Оптимальная	Допустимая на рабочих местах постоянных и непостоянных, не более	Оптимальная	Допустимая на рабочих местах
		Верхняя граница	Нижняя граница				
Холодный	22-24	25	21	40-60	75	0,1	Не более 0,1
Теплый	23-25	28	22	40-60	55 (при 28 °С)	0,1	0,1 - 0,2

К мероприятиям по оздоровлению воздушной среды в производственном помещении относятся правильная организация вентиляции и кондиционирования воздуха, отопление помещений. В рассматриваемом

рабочем месте, в летнее время вентиляция осуществляется естественным и механическим путём. В зимнее время в помещении предусматривается система отопления. Это обеспечивает нормальное состояние здоровья работников в рабочей зоне.

9.2.4 Поражение электрическим током

ПЭВМ и периферийные устройства являются потенциальными источниками опасности поражения человека электрическим током. При работе с компьютером возможен удар током при соприкосновении с токоведущими частями оборудования.

Электрические изделия по способу защиты человека от поражения электрическим током подразделяются на пять классов: 0, 01, 1, 2, 3.

ЭВМ можно отнести к классу 01, то есть, к изделиям, имеющим рабочую изоляцию, элемент для заземления и провод без заземляющей жилы для присоединения к источнику питания. При начале работы с ЭВМ необходимо проверить герметичность корпуса, не открыты ли токоведущие части.

К мероприятиям по предотвращению возможности поражения электрическим током относятся:

- при включенном сетевом напряжении работы на задней панели компьютера должны быть запрещены;
- все работы по устранению неисправностей должен производить квалифицированный персонал;
- необходимо постоянно следить за исправностью электропроводки;
- защитные оболочки;
- безопасное расположение токоведущих частей, размещение их вне зоны досягаемости частями тела, конечностями;
- ограничение установившегося тока прикосновения и электрического заряда;
- предупредительная световая, звуковая сигнализации, блокировки безопасности, знаки безопасности;

– электрозащитные средства и другие средства индивидуальной защиты [46].

9.3 Экологическая безопасность

Вышедшее из строя ПЭВМ и сопутствующая оргтехника относится к IV классу опасности и подлежит специальной утилизации [53]. Для оказания наименьшего влияния на окружающую среду, необходимо проводить специальную процедуру утилизации ПЭВМ и оргтехники, при которой более 90% отправится на вторичную переработку и менее 10% будут отправлены на свалки. При этом она должна соответствовать процедуре утилизации ГОСТ Р 53692-2009 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Этапы технологического цикла отходов [53].

Так как объект данной работы является нематериальным, и, следовательно, может рассматриваться в связке только с ЭВМ. Их производство включает в себя токсичное сырье, которое подлежит специальной утилизации и переработке – без них материалы способны постепенно разрушаясь наносить непоправимый вред экологии и здоровью человека. Многие предметы офисной техники, после завершения срока своей эксплуатации, становятся опасными отходами, которые могут оказать вред атмосфере, гидросфере и литосфере. Например, ЖК-экраны являются большим источником парниковых газов, а люминесцентные лампы содержат в себе от 40 до 60 мг ртути [56].

Согласно Кодексу Российской Федерации, об административных правонарушениях [18], отработанную технику (в том числе ЭВМ) запрещается выбрасывать наряду с обыкновенным мусором, а необходимо обратиться в специальные службы для ее утилизации или переработки. ГОСТ 12.3.031-83 «Работы со ртутью. Требования безопасности» требует, чтобы все отходы и приборы, содержащие ртуть, подлежали сбору и возврату только сертифицированным лицом (электромонтером) [55].

В качестве профилактики и предотвращения опасного воздействия электрической техники на окружающую среду, санитарные нормы СанПиН

1.2.3685-21 [52] рекомендуют использовать ее в экономичном режиме работы, а также обращать внимание на соответствие используемых материалов в ЭВМ нормам и стандартам экологической безопасности.

По статистике вышедшие из строя люминесцентные лампы являются одним из самых распространенных источников ртутного загрязнения. Помимо стекла и алюминия каждая лампа содержит приблизительно 60 мг ртути, поэтому отработавшие люминесцентные лампы являются опасным источником токсичных веществ [56].

Утилизация таких ламп заключается в их передаче перерабатывающим предприятиям, которые имеют специальное оборудование для переработки вредных ламп в безвредное сырье – сорбент, которое может являться материалом для других производств. Согласно ГОСТ Р 57740-2017 [57] и ГОСТ Р 51768-2001 [51] отработанные люминесцентные лампы относятся к отходам, которые собираются и сортируются отдельно, поэтому их утилизация и хранение должны отвечать определенным требованиям.

9.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Основными причинами возникновения пожара считаются:

- искра при разряде статистического электричества;
- искра от электрооборудования;
- использование неисправных электроприборов;
- перегрузка сети;
- оставление электрических приборов без присмотра на долгое время.

Меры по предупреждению может быть такие, как:

- периодическая проверка проводки;
- соблюдение эксплуатационных норм оборудования;
- обучение персонала правилам техники безопасности;
- отключение оборудования при покидании рабочего места;
- издание противопожарных инструкций, планов эвакуации;
- содержание в исправности изоляции токоведущих проводников;
- профилактический осмотр, ремонт и испытание оборудования;

– наличие системы оповещения персонала в случае аварийных ситуаций;
– установка датчиков пожарной сигнализации, реагирующих на появление дыма.

При обнаружении пожара необходимо:

1. сообщить в пожарную охрану по телефону 01 или 112 (с мобильного телефона);
2. оповестить лиц, находящихся в здании, о пожаре;
3. предпринять действия, способные прекратить пожар;
4. при опасности поражения электрическим током отключить электроэнергию;
5. эвакуироваться.

Эвакуация людей должна проводиться согласно плану эвакуации, представленному на рисунке 9.3.

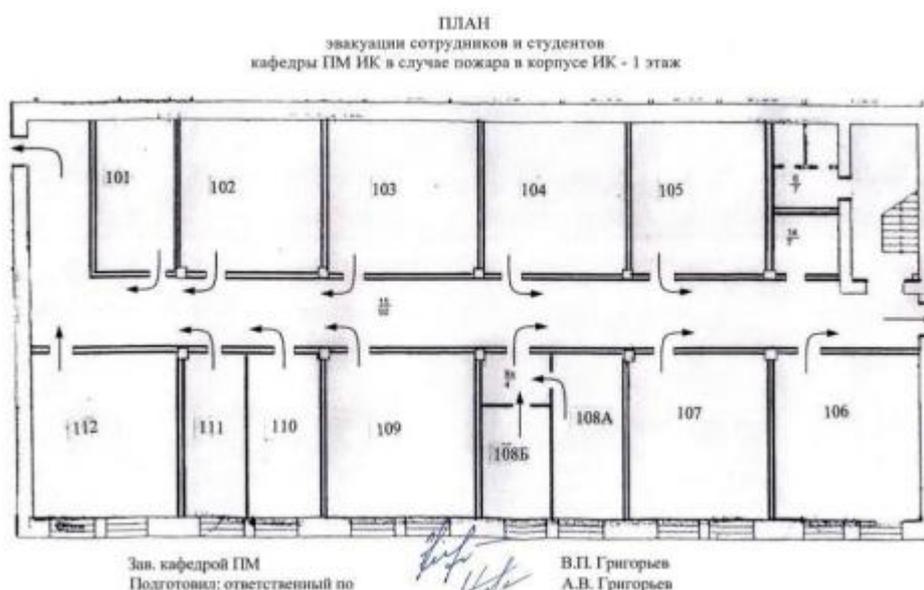


Рисунок 9.3 — План эвакуации

9.5 Заключение по разделу «Социальная ответственность»

Фактические значения всех выявленных факторов на изучаемом рабочем месте соответствует нормам.

Исследование помещения и правила устройства электроустановок показано, что категория помещения по электробезопасности согласно ПУЭ принадлежит к первому классу – «помещения без повышенной опасности» [58].

Согласно правилам по охране труда при эксплуатации электроустановок и фактической ситуации в данном помещении персонал должен обладать I группой допуска по электробезопасности.

По фактической работе и СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания" можно определить, что категория тяжести труда в данном рабочем помещении принадлежит к категории Ib (работы, производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой и сопровождающиеся физическим напряжением) [52].

Данное рабочее место принадлежит к категории помещения Д пониженная пожароопасность, Характеристика веществ и материалов, находящихся (обращающихся) в помещении: негорючие вещества и материалы в холодном состоянии [60].

Так как рассмотренный объект, оказывающий незначительное негативное воздействие на окружающую среду, относится к объектам III категории [61].

Заключение

В ходе выполнения данной выпускной квалификационной работы изучен технологический процесс разделения воздуха, проведен анализ рисков, оценены потенциальные опасности при работе с криопродуктами (кислород, азот), проведен анализ опасности и работоспособности методом HAZOP, назначены требуемые уровни полноты безопасности для выбранных опасных технологических параметров.

Кроме того разработаны приборные контуры безопасности для выбранных опасных технологических параметров, выбраны технические средства для реализации контуров в соответствии с требованиями УПБ.

При реализации контуров защиты в соответствии с выбранным оборудованием, для случая двухгодичных межтестовых испытаний, проведены проверочные расчеты вероятности отказов при запросе PFD_{avg} для подтверждения заявленного УПБ контуров безопасности. Результаты расчётов показывают, что в случае использования предложенного оборудования все контура безопасности системы ПАЗ соответствуют требуемому УПБ.

В процессе выполнения ВКР разработаны алгоритмы и программы для реализации приборных контуров защиты. Разработанные алгоритмы системы ПАЗ реализованы в среде Codesys 2.3. Мнемосхемы выполнены в среде MasterSCADA 3.12.

Проведено комплексное тестирование разработанного программного комплекса, которое подтвердило правильную работу алгоритмов и адекватное отражение состояние оборудования на мнемосхемах.

Дальнейшее развитие системы может быть направлено в сторону повышения уровня УПБ, что может быть связано с изменением структуры канала, например, использования резервирования, или сокращения периода межтестовых испытаний.

Список публикаций

1.Курганов, В. В. Исследование влияния параметров широтно-импульсной модуляции на качественные показатели процесса регулирования расхода: / В. В. Курганов, Чэнь Ян // Молодежь и современные информационные технологии : сборник трудов XVIII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных, 22-26 марта 2021 г., г. Томск. — Томск : Изд-во ТПУ, 2021. — [С. 512-513].

режим доступа: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/68000>

2.Чэнь Ян. Влияния параметров настройки широтно-импульсной модуляции на качественные показатели процесса регулирования расхода / Чэнь Ян ; науч. рук. В. В. Курганов // Научная инициатива иностранных студентов и аспирантов : сборник докладов Международной научно-практической конференции, Томск, 27-29 апреля 2021 г. : в 2 т. — Томск : Изд-во ТПУ, 2021. — Т. 1. — [С. 295-298].

режим доступа: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/67791>

Список используемых источников

1. МДС 12-26.2006 Методическое пособие по проведению проверки знаний требований охраны труда руководящих работников и специалистов строительных организаций / ФГУ ЦОТС. - М.: ФГУП ЦПП, 2007 год.

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

3. ГОСТ Р МЭК 61511-1-2018 Национальный стандарт российской федерации. Безопасность функциональная. Системы безопасности приборные для промышленных процессов. Часть 1. Термины, определения и технические требования

4. ГОСТ Р МЭК 61508-4-2012 Национальный стандарт российской федерации. Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью. Часть 4. Термины и определения

5. ГОСТ Р МЭК 61508-5-2012 Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью. Часть 5. Рекомендации по применению методов определения уровней полноты безопасности.

6. ГОСТ Р МЭК 61508-1-2012 Национальный стандарт российской федерации. Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью. Часть 1. Общие требования

7. Технологический процесс разделения воздуха - Проект инвентаризации выбросов загрязняющих веществ ЗАО "Кубаньтехгаз" [Электронный ресурс]. - режим доступа:

https://studbooks.net/874030/ekologiya/tehnologicheskij_protss_razdeleniya_vozduha

8. Воздухоразделительные установки — Википедия [Электронный ресурс]. - режим доступа:

https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%BE%D0%B7%D0%B4%D1%83%D1%85%D0%BE%D1%80%D0%B0%D0%B7%D0%B4%D0%B5%D0%BB%D0%B8%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%8B%D0%B5_%D1%83%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%BA%D0%B8

9. Разделение воздуха на азот и кислород [Электронный ресурс]. - режим доступа:

<https://lektsii.org/7-60486.html>

10. HAZOP — Википедия [Электронный ресурс]. - режим доступа:

<https://ru.wikipedia.org/wiki/HAZOP>

11. Стандарты SIL [Электронный ресурс]. - режим доступа:

<http://efomation.ru/products/oborudovanie-zashchiti/standarti-sil.html>

12. ГОСТ Р МЭК 61511-3-2018 Безопасность функциональная. Системы безопасности приборные для промышленных процессов. Часть 3. Руководство по определению требуемых уровней полноты безопасности от 08 августа 2018 - docs.cntd.ru [Электронный ресурс]. - режим доступа:

<https://docs.cntd.ru/document/1200160132?marker=7DA0K5>

13. ГОСТ 5583-78 «Кислород газообразный технический»

14. ГОСТ 6331-78 «Кислород жидкий технический»

15. Проектирование ПАЗ [Электронный ресурс]. - режим доступа:

<https://helpiks.org/2-108844.html>

16. ГОСТ Р МЭК 61511 «Безопасность функциональная. Системы безопасности приборные для промышленных процессов»

17. ГОСТ 25861-83 «Машины вычислительные и системы обработки данных. Требования электрической и механической безопасности и методы испытаний»

18. ПЛК АО «Экоресурс» | Контроллеры | БАЗИС-100 | Общее описание [Электронный ресурс]. - режим доступа:

http://ecoresurs.ru/controllers_b100.htm

19. Реле 2700356.pdf [Электронный ресурс]. - режим доступа:

<https://www.mege.ru/upload/PHOENIX%20CONTACT/docs/2700356.pdf>

20. Источник питания 2904602.pdf [Электронный ресурс]. - режим доступа:

<https://www.mege.ru/upload/PHOENIX%20CONTACT/docs/2904602.pdf>

21. Привод AUMA - AC SIL и ACExC SIL [Электронный ресурс]. - режим доступа:

<https://www.auma.com/ru/produkcija/sredstva-upravlenija/ac-sil-i-acexc-sil/>

22. Концевой выключатель Тепломаш ВП-15К21 500195 - цена, отзывы, характеристики, фото - купить в Москве и РФ [Электронный ресурс]. - режим доступа:

<https://www.vseinstrumenti.ru/electrika-i-svet/kommutatsionnoe-oborudovanie/kontsevye-vyklyuchateli/teplomash/vp-15k21-500195/#tab1>

23. Газоанализатор кислорода Panametrics CGA 351 измеряет концентрацию кислорода в газах [Электронный ресурс]. - режим доступа:

https://www.pergam.ru/catalog/pci/gas_analyzers/cga351.htm#specification

24. Метран 150 купить по низкой цене с доставкой по России и странам СНГ [Электронный ресурс]. - режим доступа:

<https://n-g-e.ru/catalog/metran150?yclid=400882793025896447>

25. Интеллектуальные датчики давления Метран-150 | РЕСУРСЫ [Электронный ресурс]. - режим доступа:

<https://www.td-utr.ru/production/datchiki-davleniya-metran/intellektualnye-datchiki-davleniya-metran-150?yclid=2162835939951173999>

26. ТЕРМИКО ТПТ-13-2 Термопреобразователь сопротивления технический платиновый - Купить термометры [Электронный ресурс]. - режим доступа:

<https://termiko.nt-rt.ru/price/product/249855>

27. Термометры из платины технические ТПТ-1 из меди ТМТ-1 [Электронный ресурс]. - режим доступа:

<http://www.termiko.ru/catalog/3/25874/>

28. Термометры из платины технические ТПТ-13 [Электронный ресурс].

- режим доступа:

<http://www.termiko.ru/catalog/3/25884/>

29. Описание конструкции и работы системы ПАЗ, Структура системы ПАЗ, Требования к функционированию системы ПАЗ, Принцип работы и конструктивные особенности системы ПАЗ - Модуль системы противоаварийной автоматической защиты цеха по получению литейных смол [Электронный ресурс]. - режим доступа:

https://studbooks.net/2349772/tehnika/opisanie_konstruktsii_raboty_sistemy

30. Назначение структура ПАЗ — Студопедия [Электронный ресурс]. - режим доступа:

https://studopedia.ru/7_69949_naznachenie-struktura-paz.html

31. Руководства по безопасности "Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах"

32. ГОСТ Р 27.012-2019 "Анализ опасности и работоспособности (HAZOP)"

33. ГОСТ 21.404-85. Обозначения условные приборов и средств автоматизации в схемах [Электронный ресурс]. - режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/901706033>

34. Резервирование ПЛК и устройств ввода-вывода [Электронный ресурс]. - режим доступа: https://www.bookasutp.ru/Chapter8_2.aspx

35. Система ПАЗ от риска к безопасности. [Электронный ресурс]. - режим доступа: <https://xn--80aaigboe2bzaiqsf7i.xn--p1ai/emerson3-2017-5/>

36. Гаврикова Н.А. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / Н.А. Гаврикова, Л.Р. Тухватулина, И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.В. Шаповалова; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 73 с.

37. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.

38. СП 2.2.3670-20 Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда.
39. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018).
40. ГОСТ 12.0.002-2014 Система стандартов безопасности труда. Термины и определения.
41. ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
42. ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
43. СП 51.13330.2011 Защита от шума.
44. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95.
45. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
46. ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
47. ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования.
48. СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. – М.: Информационно-издательский центр Минздрава России, 1996.
49. Безопасность жизнедеятельности: практикум / Ю.В. Бородин, М.В. Василевский, А.Г. Дашковский, О.Б. Назаренко, Ю.Ф. Свиридов, Н.А. Чулков, Ю.М. Федорчук. — Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009.
50. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
51. ГОСТ Р 51768-2001 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Методика определения ртути в ртутьсодержащих отходах. Общие требования.

52. СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания.

53. ГОСТ Р 53692-2009 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Этапы технологического цикла отходов.

54. Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях от 30.12.2001 N 195-ФЗ (ред. от 16.04.2022, с изм. от 17.05.2022) (с изм. и доп., вступ. в силу с 27.04.2022).

55. ГОСТ 12.3.031-83 Система стандартов безопасности труда. Работы со ртутью. Требования безопасности.

56. Содержание ртути в люминесцентных лампах - Утилизация и переработка отходов производства [Электронный ресурс]. URL:

<https://siv-blog.com/soderzhanie-rtuti-v-lyuminestsentnyh-lampah/>

57. ГОСТ Р 57740-2017. Обращение с отходами. Требования к приему, сортировке и упаковыванию опасных твердых коммунальных отходов.

58. Правила устройства электроустановок. Седьмое издание. Раздел 1 Общие правила. Глава 1.1 Общая часть.

59. ПРИКАЗ от 15 декабря 2020 года N 903н Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок.

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

61. Постановление Правительства РФ от 31 декабря 2020 г. N 2398 «Об утверждении критериев отнесения объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, к объектам I, II, III и IV категорий».

62. ГОСТ Р 50923-96 Дисплеи. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения.

63. СП 2.2.3670-20 Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда.

Приложение А

(Обязательное)

Матрица оценки рисков

Уровень тяжести	Люди (P)	Активы (A)	Критерии оценки вероятности происшествия				
			Очень низкая	Низкая	Средняя	Высокая	Очень высокая
			Интерпретация через предположение о наступлении происшествия ПБ (на период 1 год, применительно для новых видов деятельности, для которых отсутствуют исторические данные (статистика))				
			Крайне маловероятно, что происшествие может произойти	Происшествие скорее не произойдет, чем произойдет	Происшествие может произойти	Происшествие скорее произойдет, чем не произойдет	Происшествие почти точно произойдет и может повториться несколько раз
			Интерпретация через вероятность (англ.: likelihood) реализации происшествия ПБ (частота, год ⁻¹)				
			$L \leq 10^{-4}$	$10^{-4} < L \leq 10^{-3}$	$10^{-3} < L \leq 10^{-2}$	$10^{-2} < L \leq 10^{-1}$	$10^{-1} < L$
A	Групповой смертельный случай	Крупномасштабное воздействие					
B	Смертельный случай/полная утрата трудоспособности	Значительное воздействие					
C	Случай с потерей трудоспособности	Умеренное воздействие					
D	Небольшая травма/вред здоровью	Небольшое воздействие					
E	Незначительная травма/вред здоровью	Незначительное воздействие					

Оценки вероятности опасных отклонений, приведенные в сводном перечне рекомендаций и рабочих листах (см. столбец «Вероятность»), представляют собой коды, состоящие из буквы «W» и цифры от 1 до 5, соответствующей номеру категории оценки вероятности происшествия, выбранной согласно матрице оценки рисков.

Используемые в матрице оценки рисков категории имеют следующее описание последствий:

Ущерб людям (P)

№	Описание
A	<p>Групповой смертельный случай</p> <p>Групповой несчастный случай со смертельным исходом (два и более погибших) сотрудников Компании, подрядных организаций и третьих лиц</p>
B	<p>Смертельный случай/происшествие с полной утратой трудоспособности</p> <p>Несчастный случай со смертельным исходом. Тяжелый несчастный случай повлекший непоправимый вред здоровью (полную потерю трудоспособности). Смерть работника, наступившая в результате острого или хронического заболевания (в т.ч. профессионального)</p>
C	<p>Случай с потерей трудоспособности</p> <p>Несчастный случай, повлекший временную потерю трудоспособности. Случай острого или хронического профессионального заболевания</p>
D	<p>Небольшая травма/вред здоровью</p> <p>Травма на производстве, повлекшая за собой временное ограничение трудоспособности, временный перевод на другую работу или требующая оказания медицинской помощи</p>
E	<p>Незначительная травма/вред здоровью</p> <p>Травма на производстве, требующая оказания первой помощи</p>

Ущерб имуществу (активам) и другие косвенные убытки (А)

№	Описание
A	Крупномасштабное воздействие свыше 52 млн. руб.
B	Значительное воздействие свыше 24 млн. руб. до 52 млн. руб.
C	Умеренное воздействие свыше 12 млн. руб. до 24 млн. руб. или
D	Небольшое воздействие от 3 млн. руб. до 12 млн. руб.
E	Незначительное воздействие менее 3 млн. руб.

Данные по максимальным допустимым (приемлемым) значениям частоты проявления опасных событий (TMEI), соответствующим установленной степени тяжести последствий, приведены в следующей таблице:

Уровень тяжести	Люди (P)	Окружающая среда (E)	Активы (A)	Репутация (R)	Значение TMEI, не более
A	Групповой смертельный случай	Крупномасштабное воздействие	Крупномасштабное воздействие	Крупномасштабное воздействие	1×10^{-7}
B	Смертельный случай/полная утеря трудоспособности	Значительное воздействие	Значительное воздействие	Значительное воздействие	1×10^{-5}
C	Случай с потерей трудоспособности	Умеренное воздействие	Умеренное воздействие	Умеренное воздействие	1×10^{-3}

Уровень тяжести	Люди (P)	Окружающа я среда (E)	Активы (A)	Репутация (R)	Значени е TMEI, не более
D	Небольшая травма/вред здоровью	Небольшое воздействие	Небольшое воздействие	Небольшое воздействие	1×10^{-1}
E	Незначительн ая травма/вред здоровью	Незначительн ое воздействие	Незначительн ое воздействие	Незначительн ое воздействие	5×10^{-1}

Приложение Б

(Обязательное)

Протоколы анализа опасностей и работоспособности технологической части (АОР/HAZOP)

Таблица 1 – Результаты анализа опасностей и оценки риска аварий (HAZOP), в части повышения надёжности системы контроля и управления вспомогательным оборудованием площадки воздухоразделительной установки (СКУ ВО)								
Рассматриваемая часть: Площадка воздухоразделительной установки (ВРУ). Схема монтажная трубопроводов и автоматизации 12237.3-001-01 ТХ.								
Цех разделения воздуха								
Порядковый номер	Управляющее слово	Элемент	Отклонение	Возможные причины отклонения	Последствия	Существующие меры безопасности (Независимые слои защиты)	Рекомендации (Дополнительные слои защиты)	Критичность
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	более	Трубопровод азота низкого давления после компрессора ТА 6000	Содержание кислорода в азоте поз.QIS1261 более 15 ppm	Ошибка оператора	Выдача азота потребителю ненадлежащего качества	Противоаварийная защита (ПАЗ): - закрытие задвижки 4-85(2). - открытие задвижки 4-86(2).	Предусмотренных мер безопасности, указанных в ст.7, достаточно	ПАЗ существующий
2	более	Трубопровод азота низкого давления после ВРУ А-8-М1	Содержание кислорода в азоте поз.QIS1262 более 15 ppm	Ошибка оператора	Выдача азота потребителю ненадлежащего качества	Противоаварийная защита (ПАЗ): - закрытие задвижки 4-85(1). - открытие задвижки 4-86(1).	Предусмотренных мер безопасности, указанных в ст.7, достаточно	ПАЗ существующий

Таблица 1 – Результаты анализа опасностей и оценки риска аварий (HAZOP), в части повышения надёжности системы контроля и управления вспомогательным оборудованием площадки воздухоразделительной установки (СКУ ВО)

Рассматриваемая часть: Площадка воздухоразделительной установки (ВРУ). Схема монтажная трубопроводов и автоматизации 12237.3-001-01 ТХ.

Цех разделения воздуха

Порядковый номер	Управляющее слово	Элемент	Отклонение	Возможные причины отклонения	Последствия	Существующие меры безопасности (Независимые слои защиты)	Рекомендации (Дополнительные слои защиты)	Критичность
1	2	3	4	5	6	7	8	9
3	менее	Компрессор ТА 6000 M2	Давление азота на всасе компрессора поз.РІТ1499 менее 2 кПа	Попадание воздуха на всас компрессора	Выдача азота потребителю ненадлежащего качества	Противоаварийная защита (ПАЗ): - останов компрессора. Аварийная световая и звуковая сигнализация «Останов компрессора» на панели управления ПАЗ, пультовой станции СКУ ВО.	Предусмотренных мер безопасности, указанных в ст.7, достаточно	ПАЗ существующий

Таблица 2 – Результаты анализа опасностей и оценки риска аварий (HAZOP), в части повышения надёжности систем контроля, управления и противоаварийной защиты автоматизированной системы контроля и управления (АСКУ) установки АКЖАрж-8/3.5

Рассматриваемая часть: Агрегат турбодетандер-компрессорный ДТК32,4/3,6 (поз. ДТ411 А/В). Схема 2082 364272 2705 2 С3.

Агрегат турбодетандер-компрессорный ДТК32,4/3,6 (поз. ДТ411 А/В)

Порядковый номер	Управляющее слово	Элемент	Отклонение	Возможные причины отклонения	Последствия	Существующие меры безопасности	Рекомендации	Критичность
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	менее	Турбодетандер ДТК411А (ДТК411В)	Температура воздуха на входе в детандерную часть поз. TI412 менее минус 135 °С	Нарушение в работе теплообменника АП301	Выделение жидкой фазы в процессе расширения газа в проточной части агрегата	Аварийная сигнализация в АСКУ. Аварийный останов ДТК411А (ДТК411В).	Выполнить предаварийную сигнализацию и противоаварийную защиту (ПАЗ) при достижении предельно-минимального значения температуры минус 135 °С – закрытие клапана отсечного КП411А(В)	средний ПАЗ* А-С Р-Д Э-нет
2	более	Турбодетандер ДТК411А (ДТК411В) Трубопровод масла из подшипников	Температура масла поз. TI514А (TI514В) более 70 °С	Износ подшипников модуля	Поломка подшипников, выход из строя агрегата	Аварийная сигнализация в АСКУ. Аварийный останов ДТК411А (ДТК411В)	Выполнить предаварийную сигнализацию и противоаварийную защиту (ПАЗ) при достижении предельно-максимального значения температуры 70 °С – закрытие клапана отсечного КП411А(В)	средний ПАЗ* А-С Р-Д Э-нет

Приложение В

(Обязательное)

Протоколы исследования опасности и работоспособности контуров безопасности, оценка требуемого SIL

№	Контур безопасности (функция безопасности)			Управляющее слово	Отклонение в технологической части и причины	Тяжесть последствий отказа функции безопасности	Параметры риска				Назначенный УПБ (SIL) для контура по категориям	Назначенный SIL для контура	Комментарий, рекомендации
	Датчики, логическое устройство	Исполнительные элементы	Описание функции				C	F	P	W			
Система контроля и управления вспомогательным оборудованием площадки воздухоразделительной установки (существующая подсистема ПАЗ СКУ ВО)													
1	QISI1261 - контроллер ПАЗ -	Электрозадвижки поз. 4-85(2), 4-86(2)	Закрытие задвижки 4-85(2), открытие задвижки 4-86(2) при повышении содержания кислорода в азоте	более	Содержание кислорода в азоте поз. QIS1261 в трубопроводе азота низкого давления после компрессора ТА 6000 более 15 ppm	При несрабывании возможна авария – превышение допустимого содержания кислорода в азоте в трубопроводе потребителю	C^{1b}	F^{1a}	P^{1b}	W^{12}	SIL1 ¹	SIL1	Выполнить контур безопасности (газоанализатор кислорода в азоте - контроллер ПАЗ – электрозадвижки 4-85(2), 4-86(2)) как приборную функцию безопасности с уровнем полноты безопасности не ниже SIL1
							C^{2b}	F^{2b}	P^{2a}	W^{22}	SIL1 ²		

2	QISI1262 - контроллер ПАЗ - выходное реле	Электрозадвижки поз.4-85(1), 4-86(1)	Закрытие задвижки 4-85(1), открытие задвижки 4-86(1) при повышении содержания кислорода в азоте	более	Содержание кислорода в азоте поз. QIS1262 в трубопроводе азота низкого давления после ВРУ А-8-1М более 15 ppm	При несрабатывании возможна авария – превышение допустимого содержания кислорода в азоте в трубопроводе потребителю	C^{1b}	F^{1a}	P^{1b}	W^{12}	SIL1 ¹	SIL1	Выполнить контур безопасности (газоанализатор кислорода в азоте - контроллер ПАЗ – электрозадвижки 4-85(1), 4-86(1)) как приборную функцию безопасности с уровнем полноты безопасности не ниже SIL1
							C^{2b}	F^{2b}	P^{2a}	W^{22}	SIL1 ²		
3	PI1 1499 - контроллер ПАЗ - выходное реле	Компрессор ТА 6000	Останов компрессора ТА 6000 при понижении давления азота на всасе компрессора	менее	Давление азота на всасе компрессора ТА 6000 менее 2 КПа	При несрабатывании возможна авария – выдача азота потребителю ненадлежащего качества	C^{1b}	F^{1a}	P^{1b}	W^{12}	SIL1 ¹	SIL1	Выполнить контур безопасности (датчик давления - контроллер ПАЗ – выходное реле) как приборную функцию безопасности с уровнем полноты безопасности не ниже SIL1
							C^{2b}	F^{2b}	P^{2a}	W^{22}	SIL1 ²		
Агрегат турбодетандер-компрессорный ДТК32,4/3,6 (поз. ДТ411 А/В). Схема 2082 364272 2705 2 С3													
4	TI412 – контроллер ПАЗ	Соленоид отсечного клапана КП411А (КП411В)	Останов турбодетандера ДТК411А (ДТК411В) для защиты при	менее	Температура воздуха на входе в детандерную часть поз. TI412 менее	При понижении температуры ниже регламентных значений возможна авария – выделение жидкой фазы в процессе расширения газа в проточной	C^{1b}	F^{1a}	P^{1b}	W^{12}	SIL1 ¹	SIL1	Выполнить контур безопасности (датчик температуры - контроллер ПАЗ - соленоид отсечного

			понижении температуры воздуха на входе в детандерную часть		минус 135 °С	части, разрушение турбодетандера, внеплановый останов на длительный срок и потеря продукции	C^2b	F^2b	P^2a	W^2	SIL1 ²	клапана КП411А (КП411В) как приборную функцию безопасности с уровнем полноты безопасности не ниже SIL1
5	TI514A (TI514B) – контроллер	Соленоид отсечного клапана КП411А (КП411В)	Останов турбодетандера ДТК411А (ДТК411В) для защиты при повышении температуры масла на выходе подшипников	более	Температура масла на выходе подшипников поз. TI514А (TI514В) более 70 °С	При повышении температуры выше регламентных значений возможна авария – пожар, повреждение подшипниковых узлов, разрушение турбодетандера, внеплановый останов на длительный срок и потеря продукции	C^1b	F^1a	P^1b	W^1	SIL1 ¹	SIL1 Выполнить контур безопасности (датчик температуры - контроллер ПА3-соленоид отсечного клапана КП411А (КП411В) как приборную функцию безопасности с уровнем полноты безопасности не ниже SIL1
							C^2b	F^2b	P^2a	W^2	SIL1 ²	

Примечания

¹ Для категории "Тяжесть последствий для персонала" (Р) параметры установлены с использованием графа рисков для назначения требований к УПБ (SIL) контуров защиты ПСБ по критерию "Безопасность персонала" – по матрице .

² Для категории "Ущерб имуществу (активам) и другие косвенные убытки (А)" параметры установлены с использованием графа риска для анализа безопасности окружающей среды и сохранности оборудования, сырья и продукции.

Приложение Г

(Обязательное)

Технологические параметры и показатели системы управления

Таблица 1 – Входные аналоговые технологические параметры

№ п/п	Наименование параметра	Поз. обозн.	Диап. измер.	Ед. измер.	Уставки контроля		Действие системы ПАЗ	Тип датчика/ сигнала	УПБ (SIL)	Примечание
					LL	HH				
Цех разделения воздуха										
1	Содержание кислорода в азоте в трубопроводе азота низкого давления после компрессора ТА 6000	QIS1261	0 ÷ 50	ppm		15	Предаварийная сигнализация повышения содержания кислорода (более 11 ppm). Противоаварийная защита (более 15 ppm): - закрытие задвижки 4-85(2); - открытие задвижки 4-86(2).	CGA351/ 4 – 20 мА	SIL1	Существ. в А053
2	Содержание кислорода в азоте в трубопроводе азота низкого давления после ВРУ А-8-1М	QIS1262	0 ÷ 50	ppm		15	Предаварийная сигнализация повышения содержания кислорода (более 11 ppm). Противоаварийная защита (более 15 ppm): - закрытие задвижки 4-85(1); - открытие задвижки 4-86(1).	CGA351/ 4 – 20 мА	SIL1	Существ. в А053
3	Давление азота на всасе компрессора ТА 6000 М2	PIT 1499	0 ÷ 50	кПа	2		Предаварийная сигнализация «Останов компрессора» в ПАЗ, АСКУ. Противоаварийная защита: - останов компрессора.	Метран-150 CGR2/ 4 – 20 мА	SIL1	Существ. в А053
Агрегат турбодетандер-компрессорный поз. ДТК411										
4	Температура воздуха на входе в детандерную часть турбодетандера ДТК411	TI 412	-200 ÷ 65	°С	-135		Предаварийная сигнализация. Противоаварийная защита: – закрытие КП411	ТПТ-13-2/ 100П	SIL1	
5	Температура масла в трубопровод масла из подшипников турбодетандера ДТК411	TI 514	0 ÷ 80	°С		70	Предаварийная сигнализация. Противоаварийная защита: – закрытие КП411.	ТПТ-1-1/ 100П	SIL1	

Таблица 2 – Входные дискретные параметры и состояния оборудования

№ п/п	Наименование параметра	Поз. обозн.	Сигнал ввода	Действие системы ПАЗ	Источник сигнала	УПБ (SIL)	Примечание
Цех разделения воздуха							
1	Задвижка 4-85(1) Закрыта	НА4-85(1)-1	0 – 24 В, СК	Подтверждение закрытия. Диагностика цепи	Привод задвижки	SIL1	
2	Задвижка 4-85(1) Открыта	НА4-85(1)-2	0 – 24 В, СК	Подтверждение закрытия. Диагностика цепи	Привод задвижки	SIL1	
3	Задвижка 4-86(1) Закрыта	НА4-86(1)-1	0 – 24 В, СК	Подтверждение закрытия. Диагностика цепи	Привод задвижки	SIL1	
4	Задвижка 4-86(1) Открыта	НА4-86(1)-2	0 – 24 В, СК	Подтверждение открытия. Диагностика цепи.	Привод задвижки	SIL1	
5	Задвижка 4-85(2) Закрыта	НА4-85(2)-1	0 – 24 В, СК	Подтверждение открытия. Диагностика цепи.	Привод задвижки	SIL1	
6	Задвижка 4-85(2) Открыта	НА4-85(2)-2	0 – 24 В, СК	Подтверждение открытия. Диагностика цепи.	Привод задвижки	SIL1	
7	Задвижка 4-86(2) Закрыта	НА4-86(2)-1	0 – 24 В, СК	Подтверждение закрытия. Диагностика цепи	Привод задвижки	SIL1	
8	Задвижка 4-86(2) Открыта	НА4-86(2)-2	0 – 24 В, СК	Подтверждение открытия. Диагностика цепи.	Привод задвижки	SIL1	
9	Компрессор ТА 6000 М2 отключен/включен	НА-ТА6000	0 – 24 В, СК	Подтверждение останова. Диагностика цепи.	Реле состояния	SIL1	
Агрегат турбодетандер-компрессорный ДТК32,4/3,6 (поз. ДТ411 А/В)							
10	Клапан КП411 Закрыт	НА-КП411-1	0 – 24 В, СК	Подтверждение закрытия. Диагностика цепи.	Концевой выключатель	SIL1	
11	Клапан КП411 Открыт	НА-КП411-2	0 – 24 В, СК		Концевой выключатель	SIL1	

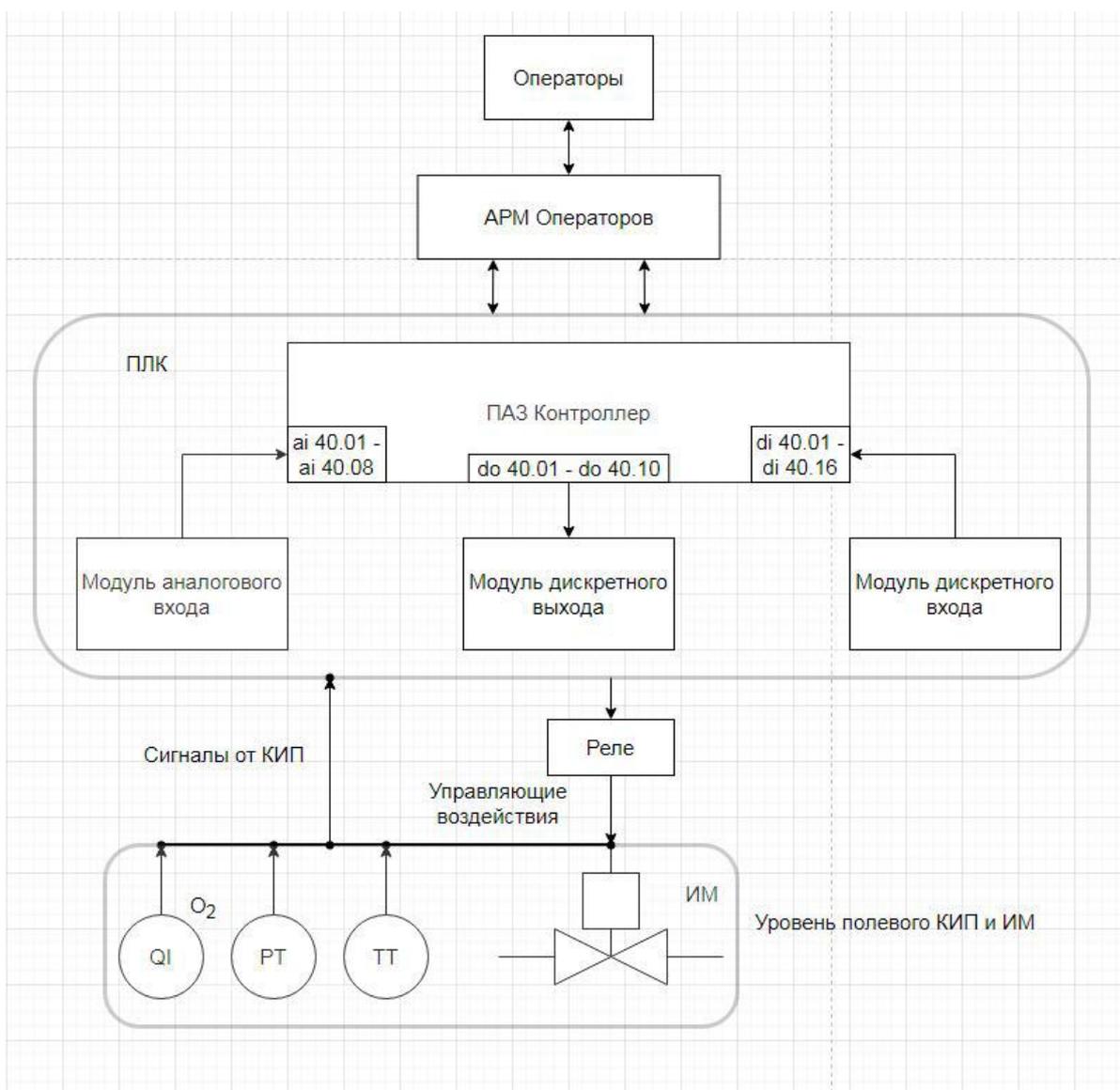
Таблица 3 – Выходные дискретные сигналы управления

№ п/п	Наименование параметра	Поз. обозн.	Сигнал вывода	Причина	Исполнит. устройство	УПБ (SIL)	Примечание
Цех разделения воздуха							
1	Задвижку 4-85(1) Закрыть	HS4-85(1)-1	СК	QIS1262 > 15 ppm	Привод задвижки	SIL1	Существ. в А053
2	Задвижку 4-86(1) Открыть	HS4-86(1)-2	СК		Привод задвижки	SIL1	Существ. в А053
3	Задвижку 4-85(2) Закрыть	HS4-85(2)-1	СК	QIS1261 > 15 ppm	Привод задвижки	SIL1	Существ. в А053
4	Задвижку 4-86(2) Открыть	HS4-86(2)-2	СК		Привод задвижки	SIL1	Существ. в А053
5	Останов компрессора ТА 6000 М2	HS-ТА6000	СК	P1499 < 2 кПа	Схема управления	SIL1	
6	Сигнализация	HLA-ПА3	СК	Отклонение параметров. Срабатывание защит.	Лампа, Звонок	–	
Агрегат турбодетандер-компрессорный ДТК32,4/3,6 (поз. ДТ411 А/В)							
7	Клапан КП411 Закрыть	HS- КП411А	СК	TI412 < -135 °С TI514А > 70 °С	Схема управления	SIL1	

Приложение Д

(Обязательное)

Структура системы ПАЗ



АРМ – автоматизированное рабочее место;

КИП – контрольно-измерительные приборы;

ИМ – исполнительные механизмы;

QI – прибор для измерения качества продукта показывающий, установленный по месту. Например: газоанализатор показывающий для контроля содержания кислорода в дымовых газах;

РТ – Прибор для измерения давления (разрежения) бесшкальный с дистанционной передачей показаний, установленный по месту. Например: манометр (дифманометр) бесшкальный с пневмо- или электропередачей;

ТТ – Прибор для измерения температуры бесшкальный с дистанционной передачей показаний, установленный по месту. Например: термометр манометрический (или любой другой датчик температуры) бесшкальный с пневм - или электропередачей.

Приложение Е

(Обязательное)

Программный код для реализации алгоритмов на языке ST
PROGRAM PLC_PRG

VAR

QIS1261: REAL;

Val4862: BOOL;

Val4852: BOOL;

QIS1262: REAL;

Val4851: BOOL;

Val4861: BOOL;

PIT1499: REAL;

compressor: BOOL;

TI412: REAL;

KP411: BOOL;

TI514: REAL;

Uct1: REAL := 15;

Uct2: REAL := 15;

Uct3: REAL := 2;

Uct4: REAL := -135;

Uct5: REAL := 70;

END_VAR

IF(QIS1261<Uct1) THEN

Val4852:=TRUE;

Val4862:=FALSE;

ELSE

Val4852:=FALSE;

Val4862:=TRUE;

END_IF

IF(QIS1262<Uct2) THEN

Val4851:=TRUE;

Val4861:=FALSE;

ELSE

Val4851:=FALSE;

Val4861:=TRUE;

END_IF

IF(PIT1499<=Uct3) THEN

compressor:=FALSE;

ELSE

compressor:=TRUE;

END_IF

IF(TI412<=Uct4 OR TI514>=Uct5) THEN

KP411:=FALSE;

ELSE

KP411:=TRUE;

END_IF

Приложение Ё

(Справочное)

Раздел на иностранном языке

Разделы 1 - 5

**Назначение системы ПАЗ, Цели создания системы, Анализ рисков, Оценка потенциальных опасностей при работе с криопродуктами (кислород, азот),
Методология анализа опасностей методом HAZOP, Метод графа рисков**

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ТМ01	Чэнь Ян		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Курганов Василий Васильевич	К.Т.Н.		

Консультант-лингвист:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОИЯ ШБИП	Сидоренко Татьяна Валерьевна	К.П.Н.		

Introduction

Automation of technological processes and productions is one of the determinants of production efficiency, increasing productivity, reducing costs and production cost. This fact is very difficult to refute, the more so the connection between automation and production efficiency criteria is obvious. Automation of processes should not be an end in itself, and the level of automation should have a sound economic calculation. This means that the technological process and the level of its automation should correspond to each other. This subjective conclusion, as well as the conclusion about the necessity of automation, is made on the basis of the following.

1. Automation of production is quite expensive especially for small enterprises. Moreover, the economic effect from the introduction is often "smeared" in time and the impression of the uselessness of the modernizations being carried out is created. However, it is not always necessary to look for economic effect from the introduction of any innovations or automation. For example, improving working conditions for hired employees is difficult to assess economically if wages and staffing have not changed. Moreover, it may be a question of lost profits, a decrease in the owner's profits, etc. But both the owner and the hired workers understand that without innovations, without forward movement, the enterprise will not withstand competition, or will not reach the set boundaries of product quality. Team cohesion, mutual assistance, high morale are monetized in the long-lasting accident-free operation of the plant or production, reduction of the number of injuries and illnesses, including seasonal and occupational ones.

2. Large ill-considered investments in automation may not pay off at all, if the demand for products, logistics for the supply of raw materials and products themselves, etc. were poorly designed.

3. The level of training of team members should be consistent with the level of knowledge of the automation system. If there is a discrepancy in this issue, further operation of the plant, without radical changes in the team, will be impossible.

Indeed, the connection between automation and production efficiency is not difficult to trace and is always there. It is a different matter when it comes to production safety.

"Security - the state of protection of the vital interests of an individual, society and the state from internal and external threats, the absence of unacceptable risk associated with the possibility of damage". [1].

Production safety should be considered in the context of such an issue as "hazardous production facility" (HPF). The concept of HSE is introduced in the Federal law № 116-FZ "On industrial safety of hazardous production facilities". [2].

What is a "hazardous production facility"?

A production facility is classified as hazardous if it meets at least one of the criteria set out in Appendix 1 to this law [2].

Once an object is included in the register of hazardous production facilities maintained by Rostekhnadzor, the object becomes subject to control by Rostekhnadzor.

Unfortunately, safety is an area the owner is very reluctant to spend his own money on, and after inspections by Rostekhnadzor there appear precepts which are very often related to industrial safety issues at the site.

This graduate qualification work is devoted to the elimination of Rostekhnadzor's comments resulting from the inspection of a hazardous production facility "air separation plant". In accordance with the observations at the hazardous production facility "air separation plant" the system of emergency protection (EPP) should be implemented.

Air separation units (ASU) are units for separation of air into components, namely: oxygen, nitrogen, argon, neon, xenon, krypton. The gas composition of the air on the ground is the same, except for carbon dioxide, hydrocarbons and ammonia, the concentration of which is several (3 or more) orders of magnitude lower than that of oxygen and nitrogen.

The purpose of this work is to develop the basic technical solutions for the creation of the SAV system at the OPF "air separation plant".

For explosive technological processes, safety shutdown systems should be provided to prevent the occurrence of an accident in case of deviation from the maximum permissible values of process parameters in all operating modes stipulated by the technological regulations for product manufacture and to ensure safe shutdown or transfer of the process to a safe state according to a specified program.

According to the current normative documentation, design of the safety shutdown systems must be performed in accordance with the results of the process hazard analysis, followed by evaluation of the risk associated with the possibility of failure of the safety loop. The procedure and methods of fulfilling these requirements for safety sensors and sound insulation systems for continuous production processes are reflected in GOST R IEC 61511-1-2018 "Functional safety. Instrumental safety systems for industrial processes".

As a result, for the customer of the ESD system (ESD system - emergency shutdown system) it is advisable to break down the work into two stages:

- performance of hazard and risk analysis;
- performance of work on the ASP system.

The performance of work on the ASP system includes the following:

- development of the terms of reference;
- development of the system engineering design;
- delivery of equipment and software;
- installation works at the Customer's site;
- commissioning works on the emergency automatic protection system;
- execution of executive documentation.

Tasks to be solved to achieve the set goal:

- conduct HAZOP - analysis to identify hazards;
- to identify risks and assign SILs (Safety Integrity Levels);
- to develop instrumental safety loops;
- to carry out the selection of equipment in accordance with the requirements of the safety security level (SIL);
- to develop the structure of the HAZ system;

- develop schemes and algorithms.

1 Description of the ESD system

1.1 Purpose of the ESD system

Automatic emergency control system is intended for monitoring and protection of technological process from emergency situations (process parameters exceeding the set limits, equipment failure, emergency situations) and bringing it to a safe condition during nitrogen and oxygen production, performed using air separation plants.

The system must solve the following tasks:

- measurement of technological parameters;
- control of deviations of parameters and the state of technological equipment;
- automatic protection and interlocks;
- manual remote control;
- diagnostics of electric circuits, technical facilities and self-diagnostics of the PAZ system;
- protection against unauthorized access;
- pre-emergency alarm, visualization and archiving of information about the technological process.

1.2 Aims of the ESD system

The system is developed to:

- to bring the facility into compliance with the requirements of Federal norms and rules in the field of industrial safety;
- Increasing the level of operational safety of technological installations;
- protection of technological equipment from failures and accidents in the production process;
- improving the level of awareness, conditions and culture of the personnel.

The criteria for assessing the fulfillment of the system's goals shall be:

- absence of injuries in production;
- trouble-free operation of technological equipment;
- Minimization of the consequences of equipment failures and accidents;

- Timely provision of operating and maintenance personnel with all necessary information on the operation of air separation plants.

Achievement of the goal should be ensured due to:

- minimization of probability of emergency situations development, their recognition and prevention;

- hardware and software redundancy, redundancy of system components critical for functional safety.

2 Risk analysis

According to clause 3.1.6 of GOST R IEC 61508-4-2012 [3] "Risk is a combination of the probability of harm occurrence and severity of that harm".

IEC standards (International Electrotechnical Commission) IEC61508/61511, the analogues of which are Russian standards GOST R IEC 61508/61511, do not guarantee the absolute safety, but allow reducing the risk to an acceptable level, that is declare "freedom from unacceptable risk".

For risk analysis various methods of assessment are used, including HAZOP, which is considered in detail in this paper. The purpose of such studies is to develop ways of risk management. In this sense, risk management is the process of detection (identification), analysis and development of solutions that will minimize the negative consequences in case of risk.

Risk assessment answers the following questions:

- 1.The list of events associated with the risk.
- 2.What are the consequences of occurrence of these events.
3. What is the probability of their occurrence.

What actions or technical decisions can minimize consequences of these events.

In the course of risk analysis of an industrial facility (Figure 1), the events that initiate undesirable consequences (failures, accidents) are identified, the process of occurrence of these events is investigated, and possible consequences are analyzed.

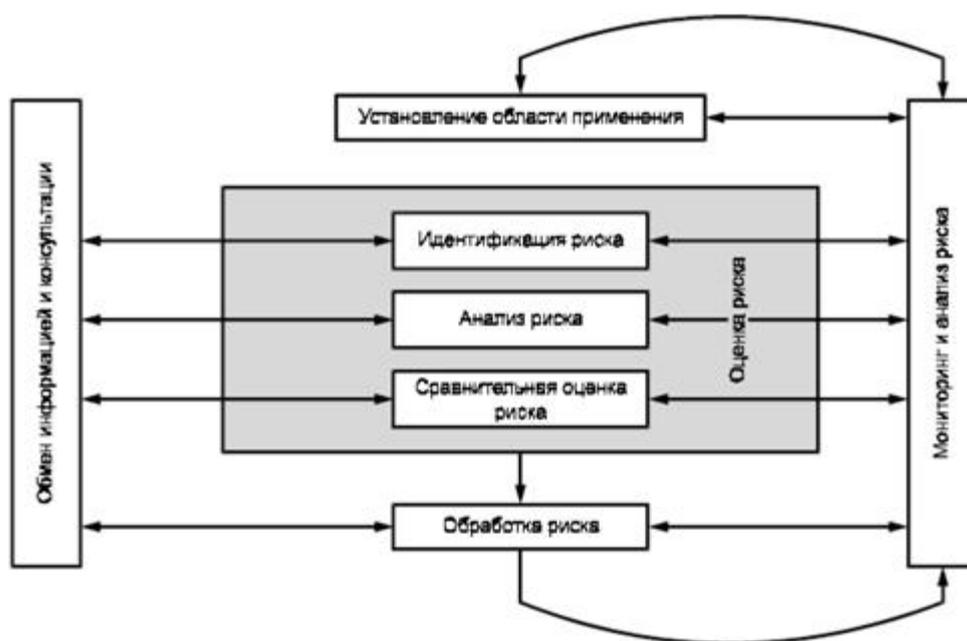


Figure 1 – Risk analysis of an industrial facility

Among other things, the risk assessment activities will result in an answer on the acceptability or unacceptability of the level of risk. The risk, exceeding the set (established) level, is unacceptable. Such risk in normal conditions can not be justified. It must be reduced to a given level, or eliminated altogether (e.g., removal of the source of danger).

Acceptable risk is a certain compromise between the desired level of safety and the costs of achieving it. The level of acceptable risk lies in the range of $5 \times 10^{-6} \dots 5 \times 10^{-5}$ per year, which means the death of 1...10 people per 200,000 people per year. Thus the forced acceptable risk (risk to which the third parties are exposed) is chosen from lower values in this range, and voluntary risk can be acceptable for the greater values from the specified range.

3 Potential Hazard Assessment for Cryoproducts (Oxygen, Nitrogen)

Pure oxygen (liquid or gaseous) and its mixtures with air are not toxic and are not capable of spontaneous combustion or explosion. However, oxygen is a very active oxidizer and in contact with most substances and materials forms flammable systems of high explosive hazard, which is caused by the following factors:

- Materials in oxygen are ignited by sources whose energy, dozens of times less than the energy required to ignite materials in air. Sources leading to ignition are

open flames, smoking, faulty electrical wiring, electrical discharges, static electricity, friction, water shocks and gas shocks when valves are suddenly opened;

- Many materials that are not capable of burning in air at all are capable of self-sustaining combustion in pure oxygen. For example, sheet steel, boiler pipes, thin stainless steel and other metals can burn in oxygen (liquid and gaseous);

- burning speed of substances and materials in oxygen (liquid and gaseous) is 10-100 times higher than in air; burning speed of organic compounds is especially high;

- impregnation with oxygen of a number of porous materials (asphalt, polystyrene foam, wood, etc.) produces explosives - oxyliquites, which exceed standard explosives in sensitivity and explosive power. In liquid oxygen some metal powders can detonate, as well as oil films in organic compounds.

Working with oxygen involves the following hazards:

- oxygen enrichment of the air by gaseous leaks and emergency spills of liquid oxygen, accumulation of oxygen vapors in low places and stagnant zones in amounts exceeding the regulated safe limit - 23% by volume;

- accumulation of organic substances and other contaminants (welding slag, mill scale, iron powder) in oxygen utilities during long-term operation;

- destruction of materials caused by their brittleness and cold-brittleness at low temperatures of liquid oxygen;

- burns when liquid oxygen comes into contact with exposed parts of the body, when touching supercooled objects, when low-temperature vapors of liquid oxygen and air get into the lungs;

- fire hazard of equipment, pipelines and fittings working with oxygen or air with high oxygen content;

- fire hazard of clothing and hair of operating personnel in oxygen gas or oxygen-rich air;

- risk of explosion of hydrocarbons and other explosive impurities if their content in liquid oxygen or liquid oxygen-enriched air exceeds the maximum permissible concentrations;

- the danger of saturation of clothing with gaseous oxygen, because when approaching an open fire, if you light a match, it can lead to an instant ignition.

Liquid air separation products have very low (cryogenic) temperatures, easily evaporate at normal temperatures, increasing many times their volume.

Working with liquid air separation products involves the following hazards:

- a) Danger of frostbite to operating personnel;
- b) the danger of rapid boiling with creation of high pressures in closed vessels;
- c) danger of destruction of constructions made of carbon steel and other non-cold-resistant metals and materials;
- d) at use of liquid nitrogen or at emergency spills there is evaporation of liquid, accompanied by increase of concentration of oxygen in a spill zone. If the oxygen concentration in the liquid reaches 30% vol. the same hazards as with liquid oxygen occur.

In accordance with GOST 5583-78 "Technical gaseous oxygen" [4] and GOST 6331-78 "Technical liquid oxygen" [5] - non-toxic, non-flammable, non-explosive. Oxygen has no hazard class and is not dangerous for the environment. Oxygen refers to oxidizing chemical products and is an oxidizing agent (oxidizer) that increases the burning ability of other materials.

4 Methodology of Hazard Analysis by HAZOP Methodology

In accordance with the recommendations of the Safety Manual "Methodological Framework for Hazard Analysis and Risk Assessment of Accidents at Hazardous Production Facilities". [6], the risk analysis was performed using the method "Hazard and Operability Study - HAZOP (hereinafter referred to as the HAZOP method).

The purpose of the HAZOP analysis is to identify possible deviations in the safety and operability of the technological system (hereinafter - "hazards") and the consequences of their implementation, as well as the protective measures taken, determine the severity of the consequences and assess the probability of deviations using the risk assessment matrix and the formation of recommendations to reduce the risk of accidents.

According to GOST R 27.012-2019 "Hazard and Operability Analysis (HAZOP)" [7] HAZOP is a qualitative method, used to analyze the causes and to investigate the hazards of deviations of process parameters (temperature, pressure, flow rate, etc.) from the regulatory modes, taking into account the existing methods of protection and feasibility of additional protection means for instrumental protection circuits.

Before the HAZOP procedure was carried out, the objectives of the study were defined, including:

- Safety - ensuring the safety of personnel life and health;
- Operation - ensuring of equipment operability, maintenance of routine operation of facilities;
- environment - protection against contamination.

Assumptions in the analysis

1. The following must be considered as causes of deviations from the design intent: failures of sensors and elements of process control systems, failure of process systems, incorrect actions during operation, failures of emergency stop valves, SAV, loss of tightness of standard check valves, violations of the process mode.

2. When analyzing HAZOP as the causes of deviations from the design intent should not be considered the following failures: failures of safety valves, simultaneous failures (except in cases where there are critical consequences and previously were recorded similar scenarios of events).

3. In working protocols HAZOP entered all deviations, including irrelevant and not considered.

The HAZOP analysis procedure within the boundaries of the investigated node consisted of discussion and completion of the worksheets by the working group according to the following main steps:

- examination of the node using control words and process parameters in order to find possible causes of process deviations and hazards;

- if a deviation/cause of hazard is found, determine the consequences of each deviation or cause of hazard for human life and health, for the environment and for production;

- determining the level of severity of the consequences using the risk assessment matrix;

- Identification of the existing protective measures of the investigated assembly for each identified cause of hazard;

- making recommendations to reduce (mitigate) the risk, avoid the identified deviations or eliminate the source of the hazard;

- making a decision on the degree of criticality of the recommendation.

The SIL analysis evaluated the instrumented safety functions included in the process units listed in Appendix B and for which the HAZOP analysis was conducted. The SIL assessment also includes safety functions that were added during the HAZOP analysis.

In determining the Safety Integrity Level (SIL), the minimum level of safety integrity of each automatic safety function was evaluated to ensure safe operation of the chemical hazardous production facility.

For the category "Severity of Consequences for Personnel," the parameters were established using the risk graph for the "Damage to People (P)" criterion.

For the category "Damage to property (assets) and other indirect losses (A)" the parameters are set using the risk graph for the analysis of environmental safety and safety of equipment, raw materials and products.

No parameters are set for the "Environmental Damage" (E) category, as environmental damage is assumed to be insignificant and negative effects on flora and fauna from cryoproduct spills are excluded.

Any deviations from normal operating conditions have been analyzed together with the corresponding causes and consequences using the applicable control words.

To identify potential deviations from the study goals, the method of answering the questions formulated using the list of control words shown in Table 1 was used.

Table 1 - List of control words

CONTROL WORD	MEANING
MORE	Increase the value of technological parameter
LESS	Decrease the value of technological parameter
DEVIATION	Deviation of the technological parameter value
STATUS	State of the equipment and condition during operation

The results of the HAZOP analysis are measures in the form of recommendations and aimed at eliminating / reducing the impact of negative factors from sources of hazards to operating personnel, the environment, the designed and/or existing buildings and facilities, deviations from the normal functioning of the technological process.

The recommendations were classified into three criticality categories:

- high – it is prohibited to proceed to the next stage without having implemented the recommendations of the high criticality category;
- medium – the recommendation should be implemented before the start of commissioning;
- low – the recommendation must be implemented before the start of operation.

5 Risk graph method

SIL (Safety Integrity Level) - The Safety Integrity Level considers hazardous failure situations that result in accidents, disasters, and loss of life. SILs define the amount of acceptable risk to the system. They are a measure of the probability that the system will properly perform the functions that affect safety.

The completeness of safety increases with the number of the degree, so number 1 represents the lowest degree of safety, and number 4 represents the highest degree of safety.

Safety risk is usually defined as a function of the probability of a hazardous situation and the severity (cost) of its consequences. The acceptable level of risk is assessed on a case-by-case basis. From the definition of risk follow the ways of its reduction: reduction of the probability of occurrence of a dangerous situation and limitation of the severity of its consequences.

The conception of building of a safety system, in the case of the present work of SAZ system (in GOST R IEC 61508-2012 [8] E/E/PE systems: on electric (E), electronic (E), programmable electronic (PE) basis, or their combinations) is based on the concept of acceptable (tolerable) risk in a particular situation. Acceptable risk, which can be characterized as a compromise between real and "reasonable" risk, must take into account both the frequency of dangerous events and the severity of their consequences. It is these systems that are charged with the task of reducing the magnitude of risk to an acceptable one.

Safety integrity is the probability of safety-related systems to perform the required safety functions for a given period of time under the specified conditions. Safety integrity is manifested in the ability of safety-related systems to perform safety functions.

The completeness of safety includes the following components:

- random component of completeness of safety;
- systemic component of completeness of safety.

The first component of completeness of safety "completeness of safety of hardware" is associated with random failures of technical means, which refer to dangerous failures. It is characterized by two parameters:

- the average rate of dangerous failures;
- probability of failure when processing a request.

The first parameter is related to continuous security control, the second is used in the context of the security of protection systems. Both parameters are quantified. According to this, a level of safety completeness with a certain accuracy can be achieved by using highly reliable hardware with low failure components, or by using different architectures that make use of redundancy.

The second part of safety integrity is related to systematic failures. This component, unlike the first, cannot be quantified. The sources of systematic failures are various errors in design, software, etc. On the one hand the influence of systematic failures on the completeness of safety can be estimated in some way, on the other hand it is difficult to predict them. It should be remembered that methods aimed at reducing the probability of random failures, in general, will not lead to a reduction of systematic failures.

This paper considers the case of a security function with a low frequency of requests (not more than 1 time per year).

The required level of SIL must be such that:

- Support the average probability of failures on demand of safety-related systems at the level of acceptable risk;
- Minimize the consequences of failure at the level of acceptable risk.

Figure 2 presents a model of the risk reduction concept. The model depicts the following:

- risk of the OU (controlled equipment) -risk associated with the OU, the OU control system and the human factor present in the process control (in other words, "baseline risk", any means of safety are not considered);
- various means of risk reduction, including EE/PE systems related to safety.

According to [8], the EE control system should be independent of the safety-related EE/PE system and the EE control system need not be positioned as a safety-related system.



Figure 3 - Risk Reduction Concept Model

Applying a combination of all safety-related facilities at the facility, including EE/PE systems, reduces the risk to a residual value.

The assignment of PSA is divided into qualitative analysis and quantitative analysis, quantitative analysis requires a lot of human and material resources, and qualitative analysis is easier and faster, this paper adopts qualitative analysis, risk graph method is used to determine the levels of safety completeness.

The risk graph method reflects the possible dangerous state when the safety function fails or the safety function is not established through the relationship between the four parameters. The four parameters are: consequence parameter, exposure parameter, avoidance parameter, and demand parameter.

The risk graph procedure uses equation (1) to determine the combination of frequency and consequences of a particular hazardous event:

$$R = f * C \quad (1)$$

where R is the risk if there is no safety system;

f – frequency of a dangerous event, if there is no safety system;

C – consequences of the dangerous event.

Factors affecting the frequency of a hazardous event f:

- The frequency and time of being in the hazardous area;
- the possibility of avoiding this event;
- probability of this event without a safety system.

The SIL assignment first selects the SIS control loops that appear in the newly added recommendations in the HAZOP analysis and describes their instrumented safety functions. Second, the process deviation that may occur when the safety function must function is analyzed, and then values are assigned to the consequence parameters, exposure parameters, avoidance parameters and query intensities for the FB in question according to the impact on personal safety, the environment and assets. When a situation occurs, the Diagram respectively determines the level of completeness of personal safety, the level of completeness of environmental safety and the level of completeness of assets that the safety instrument function must have, and takes the highest level value as the required value of the completeness of safety.

These factors are the starting points for the parameters characterizing the risk:

- C – consequences of a hazardous event (consequence parameter);
- F – frequency and time of being in the danger zone (exposure parameter);
- P – probability of possible hazard avoidance (hazard avoidance parameter);
- W – probability of an undesirable event (intensity of inquiries for the FB in question).

Risk parameters can be described both qualitatively and quantitatively. Let us consider the qualitative way of describing risk. The quantitative method is described in detail in [9].

The values of the parameters of the risk graph are given below:

1. C – the consequences of a hazardous event (consequence parameter):

The consequence parameter refers to the number of deaths and serious injuries caused by the hazard, calculated by calculating the number of people in the exposure area (the area affected by the hazard, as a percentage of the total field) at the time of the hazard.

$$C_A < C_B < C_C < C_D$$

For Personnel:

C_A – minor injuries;

C_B – serious injury to one or more workers, possible death of one worker;

C_C – death of several workers;

C_D – large losses among workers, catastrophic consequences.

For asset:

C_A – small loss of an asset;

C_B – medium loss of an asset;

C_C – large loss of an asset;

C_D – huge loss of an asset.

2. F – frequency and time of being in the hazardous area (exposure parameter):

The exposure parameter refers to the probability of people being in the exposure area when a hazard occurs, which is determined by calculating the ratio of the time a person is in the exposure area to the time the hazard occurs. Consideration should be given to the likelihood that people will come to the site to check when an accident has occurred, which may also increase the number of fatalities and injuries.

$F_A < F_B$

F_A – from rare to relatively frequent (less than or equal to 0.1);

F_B – from frequent to constant (greater than 0.1).

3. P is the probability of possibly avoiding a hazard (the avoidance parameter):

The avoidance parameter refers to the probability that personnel can avoid a hazard when an instrument function fails, which depends on whether an independent method can be used to warn the operator before a hazardous accident occurs and the operator is required to master the proper exit. To avoid separating the parameter level into P_A and P_B , P_A can only be selected if all of the following preconditions are met:

A. There is support for equipment to alert operators of an SIS protection failure;

B. Independent means of shutdown or evacuation is available to avoid the hazard or to ensure that all personnel are evacuated to a safe area;

C. The time interval between operator notification and the occurrence of a hazardous event exceeds the time required to stop or evacuate.

$$P_A < P_B$$

P_A – under certain conditions is possible;

P_B – almost impossible.

4. W - probability of an undesirable event (intensity of requests for the FB in question)

The query intensity for the FB under consideration is the probability of the occurrence of a hazard under the condition that there is no protection of the safety device function, i.e. the probability that the safety device function is required and all failure conditions that could lead to the occurrence of the hazard must be considered. The request probability estimate is the probability that the FS is required for the control system to perform its function when considering emergency conditions.

$$W_1 < W_2 < W_3$$

W_1 – very low (once every 10 years);

W_2 – low (once every 1 to 10 years);

W_3 – high (several times in 1 year).

The meaning of the risk graph is to form, based on the input parameters C , F and P , the output parameter X , which is mapped to one of the three W scales, which in turn are associated with a particular SIL. This level must be achieved after the implementation of a safety-related EE/PE system.

Offsetting the W_1 , W_2 , and W_3 scales relative to each other allows for the risk reduction that is achieved by other means and systems. For scale W_1 the contribution of other facilities and systems is maximum, for scale W_2 intermediate, for scale W_3 minimum.

The risk graph is shown in Figure 3.

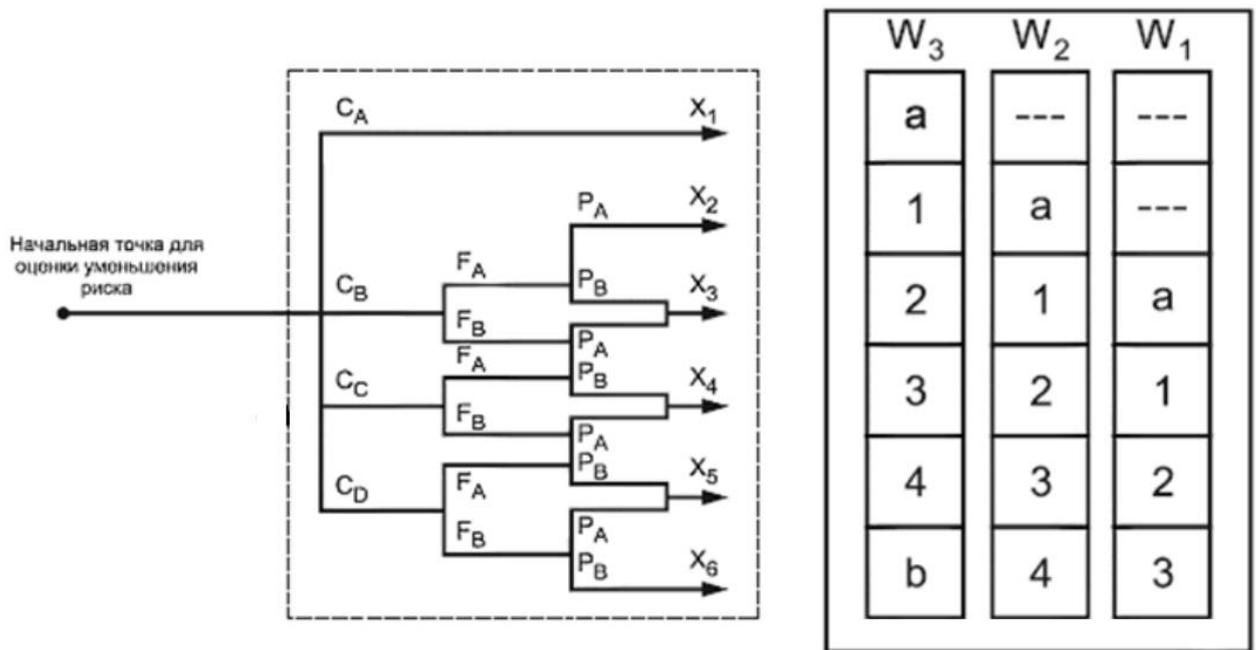


Figure 3 – Risk graph

--- – no safety requirements;

a – no special safety requirements;

b – one EE/PE safety function not enough safety requirements;

1,2,3,4 – safety completeness level 1 - 4.

References

1. MDS 12-26.2006 Methodical Guide to the verification of knowledge of safety requirements of managers and specialists of construction companies / FGU TSS. - M.: FGUP CPP, 2007.
2. Federal Law № 116-FZ "About Industrial Safety of Hazardous Production Facilities" dated 21.07.1997.
3. GOST R MEK 61508-4-2012 National Standard of the Russian Federation. Functional safety of safety-related electrical, electronic, programmable electronic systems. Part 4. Terms and definitions
4. GOST 5583-78 "Oxygen gaseous technical".
5. GOST 6331-78 "Liquid technical oxygen".
6. Safety Guidelines "Methodological basis for hazard analysis and risk assessment of accidents at hazardous production facilities"
7. GOST R 27.012-2019 "Hazard and Operability Analysis (HAZOP)
8. GOST R MEK 61508-1-2012 National Standard of the Russian Federation. Functional safety of safety-related electrical, electronic, programmable electronic systems. Part 1. General requirements
9. GOST R IEC 61508-5-2012 Functional safety of safety-related electrical, electronic, programmable electronic systems. Part 5. Recommendations for application of methods for determination of safety integrity levels.