

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Лысьвенский филиал федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего образования
«Пермский национальный исследовательский политехнический университет»

Факультет: Профессионального образования

Направление: 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Профиль: Автоматизированный электропривод и робототехнические комплексы

Кафедра: Общенаучных дисциплин

Доцент с и.о. зав кафедрой ОНД

_____ К.В. Кондратьева

«___» _____ 2026 г.

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

на тему:

«Автоматическая система пожаротушения цеха по ремонту и сборке
электротехнического оборудования ООО «Уралэнергосервис»

Студент: _____ В.В. Власов

(подпись, дата)

Группа: АЭП-21-1бз ЛФ

Состав ВКР:

1. Пояснительная записка на 95 стр.
2. Графическая часть на 3 листах.
3. Электронный носитель с материалами ВКР.



Руководитель: _____ доцент кафедры ОНД С.В. Нусс

(подпись, дата)

Проверено
на наличие

заимствования: _____ канд. экон. наук, доцент, К.В. Кондратьева

(подпись, дата)

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Лысьвенский филиал федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего образования
«Пермский национальный исследовательский политехнический университет»

Факультет: Профессионального образования

Направление: 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Профиль: Автоматизированный электропривод и робототехнические комплексы

Кафедра: Общенаучных дисциплин

Доцент с и.о. зав кафедрой ОНД

_____ К.В. Кондратьева

«_____» _____ 2026 г.

ЗАДАНИЕ
на выпускную квалификационную работу

Фамилия, имя, отчество: Власов Василий Валерьевич

Группа: АЭП-21-1бзЛФ

Начало выполнения работы: 23 марта 2026 г.

Срок предоставления на кафедру: 11 июня 2026 года

Защита работы на заседании ГЭК: 24 июня 2026 года

1. Выпускная квалификационная работа на тему: «Автоматическая система пожаротушения цеха по ремонту и сборке электротехнического оборудования ООО «Уралэнергосервис».

2. Исходные данные к работе: Описание объекта исследования; технологические требования к контролируемым параметрам. Постановка задачи на разработку системы управления технологическим процессом.

3. Содержание пояснительной записки:

а) Введение. Отразить актуальность выбранной темы, сформулировать цель и конкретные задачи исследований. Конкретизировать объект и предмет исследований. В краткой форме сформулировать необходимость разработки данной темы, ее теоретическое значение и практическую значимость для исследуемого предприятия.

б) Основная часть:

Вводная часть (конструкторская, технологическая, исследовательская) Во введении должны быть отражены состояние и актуальность рассмотрения представляемой темы.

Необходимо:

– Включить описание объекта автоматизации; принцип работы объекта автоматизации, сформулировать цель и поставить задачи на разработку системы управления.

– Конкретизировать имеющиеся проблемы, подчеркнуть значимость работы для теории и практики.

– Указать состояние разрабатываемой темы, к какой области науки и техники относится выполняемая работа.

– При написании введения необходимо увязать решение темы ВКР с общими научно-техническими задачами развития промышленности и науки.

Тщательно отобрать и логически увязать собранный материал, обратить внимание на логические переходы от одного раздела к другому.

в) Основной раздел содержит:

Анализ объекта, определение круга решаемых задач, связанных с регулированием технологических параметров (способы регулирования скорости вращения; используемое оборудование);

Организация современной системы регулирования: управление, контроль параметров, поддержание безопасных условий работы оборудования;

Современные микропроцессорные способы управления (Структурная схема управления оборудованием);

Функциональная схема системы регулирования;

Устройства автоматики и автоматические устройства, представленные на рынке;

Построить алгоритм работы системы, описать основные функции и механизм их реализации;

Выбрать компоненты: микроконтроллер, силовые ключи, устройство задания, приборы регистрации и контроля параметров.

Разработать устройства в CAD среде;

Функциональная структура программно-технического комплекса;

Особенности реализации;

В заключении должны быть сформулированы краткое изложение полученных результатов, соответствующие рассмотрению основных задач, поставленных в ВКР, указать связь с поставленными в работе задачами, значимость работы для теории и практики. Сформулировать перспективы дальнейших исследований, инновационный потенциал работы. Дополнительные указания: нет.

4. Перечень графического материала:

а) Технологическая схема автоматизации;

б) Схема электроснабжения автоматизации;

в) Алгоритм автоматизированного управления системой.

5. Основная литература

5.1 ГОСТ 7.32-2017 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления.

5.2 Белов, М.П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов: Учебник для вузов / М.П. Белов, В.А. Новиков, Л.Н. Рассудов. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 576 с.

5.3 Кузнецов, О. П. Системы автоматического управления: учебник для вузов / О. П. Кузнецов, Г. М. Лебедев. — 4-е изд., перераб. и доп. — Москва: Высшая школа, 1987. — 352 с. — ISBN 5-06-000060-4..

5.4 Глушков, В. М. Теория цифровых автоматов / В. М. Глушков. — Москва: Физматгиз, 1962. — 472 с.

5.5 Шатунов, А. П. Промышленная автоматизация: учебное пособие / А. П. Шатунов, В. Н. Шатунов. — Санкт-Петербург: Лань, 2020. — 416 с. — ISBN 978-5-8114-4123-7.

5.6 Справочник по теории автоматического управления / под ред. А. А. Красовского. — Москва: Наука, 1987. — 712 с.

5.7 Юревич, Е. И. Теория автоматического управления: учебник для вузов / Е. И. Юревич. — 3-е изд., перераб. и доп. — Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2016. — 560 с. — ISBN 978-5-9775-3501-2. Палагута, К.А. Микроконтроллерное управление электроприводом: Учебное пособие. — М.: МГИУ, 2008. — 298 с.

5.8 Попков, О.З. Основы преобразовательной техники. Учебное пособие — М.: изд-во МЭИ, 2010. — 200с.

5.9 Бородин, И. Ф. Автоматизация технологических процессов и производств: учебник для вузов / И. Ф. Бородин, В. В. Семёнов. — Москва: Академия, 2018. — 352 с. — ISBN 978-5-4468-0647-5.

5.10 Ключев, А. С. Автоматизация технологических процессов и производств: учебник для вузов / А. С. Ключев. — 3-е изд., перераб. и доп. — Москва: Энергоатомиздат, 2005. — 416 с. — ISBN 5-283-00150-3.

5.11 Степанов, А. С. Программируемые логические контроллеры в автоматизации производств: учебное пособие / А. С. Степанов. — Москва: Инфра-Инженерия, 2019. — 384 с. — ISBN 978-5-9729-0287-4.

5.12 Шрейнер, Р. Т. Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты / Р. Т. Шрейнер. — Екатеринбург: УРО РАН, 2000. — 654 с. — ISBN 5-7691-0936-7.

Руководитель ВКР _____ доцент кафедры ОНД С.В. Нусс
(подпись, дата)

Задание получил _____ В.В. Власов
(подпись, дата)

КАЛЕНДАРНЫЙ ГРАФИК ВЫПОЛНЕНИЯ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ БАКАЛАВРА

№ п/п	Содержание разделов	Объем этапа, в %	Срок выполнения		Подпись научного руководителя
			начало	конец	
	Введение	5/5	23.03.2026	31.03.2026	
1.	Общая часть	35/40	23.03.2026	31.03.2026	
1.1.	Описание работы	5/10	23.02.2026	13.03.2026	
2	Проектная часть	20/25	01.04.2026	30.05.2026	
2.1	Постановка задачи	35/40	01.04.2026	02.04.2026	
2.2	Выбор оборудования	50/90	03.04.2026	10.04.2026	
2.3	Разработка технологической и электрической схем	10/50	11.04.2026	21.04.2026	
2.4	Разработка алгоритма управления	25/65	22.04.2026	28.04.2026	
2.5	Реализация алгоритма управления	50/90	29.04.2026	05.05.2026	
	Заключение	2/92	06.05.2026	10.05.2026	
	Список использованных источников	1/93	23.04.2026	10.05.2026	
	Оформление ВКР	2/95	11.05.2026	15.06.2026	
	Представление ВКР на проверку и отзыв научному руководителю		16.06.2026	20.06.2026	
	Представление ВКР на проверку заведующему кафедрой		19.06.2026	21.06.2026	
	Защита ВКР на заседании ГЭК	5/100	24.06.2026	24.06.2026	

Руководитель ВКР  _____ доцент кафедры ОНД С.В. Нусс
(подпись, дата)

С календарным графиком ознакомлен _____ В.В. Власов
(подпись, дата)

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме: «Автоматическая система пожаротушения цеха по ремонту и сборке электротехнического оборудования ООО «Уралэнергосервис».

Работа состоит из введения, 5-ти разделов, заключения, списка использованных источников, состоящего из 36-и источников. Работа изложена на 78 листах печатного текста, содержит 51 таблицу и 24 рисунка. Графическая часть проекта представлена на 3 листах формата А1.

Целью данной ВКР является разработка автоматической системы пожаротушения и алгоритма ее работы как в автоматическом режиме, так и с помощью оператора АМР (автоматизированное рабочее место).

В данной работе были выполнены следующие основные этапы:

- дано краткое описание предприятия ООО «Уралэнергосервис» и его производственного процесса;
- проанализированы текущие недостатки работы существующей системы пожарной сигнализации и недостаточную безопасность персонала;
- произведен расчет и подбор параметров автоматической системы пожаротушения, количество пенообразователей, пеносмесителей, извещателей пожарных ручных, а также разных датчиков необходимых для работы системы;
- разработана система автоматического пожаротушения;
- выполнено проектирование силовой электрической схемы, произведены расчеты токовых нагрузок, подбор кабелей и аппаратов защиты и резервных источников питания;
- разработана технологическая схема оборудования и алгоритм работы системы пожаротушения;
- рассмотрены вопросы охраны труда, техники безопасности;
- составлены экономические расчеты затрат и окупаемости данного проекта.

СОДЕРЖАНИЕ

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ.....	5
ВВЕДЕНИЕ	6
ГЛАВА 1 Описание технологического процесса	7
1.1 Описание технологического процесса системы автоматического пожаротушения	7
1.2 Параметры технологического процесса	9
ГЛАВА 2 Описание и работа системы.....	13
2.1 Описание и работа системы автоматизированного управления пожаротушения цеха по ремонту и сборке электротехнического оборудования ООО «Уралэнергосервис»	13
2.2 Подсистема извещения пожара	13
2.3 Подсистема оповещения пожара	14
2.4 Выбор оборудования – верхний уровень	14
2.5 Средний уровень.....	16
2.6 Нижний уровень автоматизации.....	23
2.7 Алгоритм работы системы пожаротушения	30
ГЛАВА 3 Энергоснабжение	32
3.1 Описание схемы энергоснабжения системы пожаротушения	32
3.2 Расчет электрических нагрузок и выбор мощности трансформаторов	32
3.3 Выбор марок и сечений кабелей.....	40
3.4 Расчет кабельной сети по потерям напряжения при совместном питании секций шин одного трансформатора (аварийный режим сети)	46

3.5 Расчет кабельной сети при пуске наиболее удаленных и мощных потребителей	49
3.6 Расчет токов короткого замыкания	55
3.7 Выбор и проверка коммутационно-защитной аппаратуры	65
3.9 Выбор защит	67
ГЛАВА 4 Охрана труда	74
4.1 Общее положение	74
4.2 Пожаробезопасность	74
4.3 Классификация условий труда	76
4.4 Меры и средства по защите от вредных (опасных) факторов на производстве	78
ГЛАВА 5 Экономика	79
5.1 Обоснование инвестиционных затрат в проект автоматического пожаротушения цеха по ремонту и сборке электротехнического оборудования ООО «Уралэнергосервис»	79
5.2 Затраты по заработной плате инженеров-проектировщиков	80
5.3 Затраты по компьютерному обеспечению компьютерных работ	81
5.4 Затраты по формированию проектной документации	82
5.5 Затраты на оборудование автоматизации	83
5.6 Затраты на монтаж и наладку оборудования	84
5.7 Расчет эффективности инвестиций в проект автоматической системы пожаротушения цеха по ремонту и сборке электротехнического оборудования ООО «Уралэнергосервис»	86
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	91
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	93

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ

САПТ- система автоматического пожаротушения;
ГПС- генераторы пены средней кратности;
ЛВЖ- легко воспламеняющиеся жидкости;
ГЖ- горючие жидкости;
ГСМ- горюче-смазочные материалы;
ПС- пеносмеситель;
САУ- система автоматического управления;
АРМ- автоматизированное рабочее место;
ПО- пенообразователь;
РГС- резервуар горизонтальный стальной;
ПМП- преобразователь магнитный поплавковый;
ИПР- извещатель пожарный ручной;
АС- автоматизированная насосная станция;
ДПС- дифференциальный пожарный сигнализатор;
ГПП-главная понизительная подстанция;
ТМГ- трансформатор трехфазный, масляный, герметичный;
КТП- комплектная трансформаторная подстанция;
ДЭС- дизельная электростанция;
АВР- автоматический ввод резерва;
ВН- выключатель нагрузки;
ТО- токовая отсечка;
МТЗ- максимальная токовая защита;
ОЗЗ- защита от однофазных замыканий на землю.

ВВЕДЕНИЕ

Современный этап развития электромашиностроения в современном мире сопровождается ростом количества и масштабов пожаров, которые наносят ущерб, как самим предприятиям, так и окружающим сооружениям, населению, природной среде. Поэтому повышение пожарной безопасности цехов и объектов производства электротехнических изделий продолжает оставаться важной задачей в настоящее время.

Одним в числе самых надежных и эффективных способов решения задач, связанных с выявлением и тушением возгораний, являются системы автоматического пожаротушения, которые, в отличие от ручных средств пожаротушения, создают все условия для оперативной и результативной локализации возгораний с минимальным риском для жизни и здоровья.

Согласно ГОСТ 12.3.046-91 [2] необходимость применения и выбор типа автоматических установок пожаротушения обуславливаются уровнем пожарной опасности конкретного объекта с учетом скорости развития пожара в начальной стадии и экономической целесообразности их применения.

Работа установок пенного пожаротушения основывается на создании смеси из воды и концентрированного пенообразователя. Вода эффективно снижает температуру горящих материалов, а густая пена, полученная при смешивании воды и пенообразователя формирует плотный слой, блокирующий доступ кислорода к очагу возгорания. Высокая вязкость и устойчивость пены препятствует дальнейшему распространению возгорания и появлению новых очагов возгорания.

Современные концентрированные пенообразователи не представляют угрозы для человека и окружающей среды, так как и состав - это экологичные составляющие, поддающиеся легкой утилизации. После локализации возгорания пена легко удаляется, не оставляя загрязнений и не нанося вред имуществу. Благодаря этому пенное пожаротушение является одним из самых востребованных методов для борьбы с пожарами.

ГЛАВА 1 ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

1.1 Описание технологического процесса системы автоматического пожаротушения

Система автоматического пожаротушения (САПТ) входит в состав ООО «Уралэнергосервис», расположенной на территории Лысьвенского района Пермского края.

В соответствии с Федеральным законом от 22 июля 2008 г. №123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [5], согласно требованиям, защите автоматическими системами пожаротушения стационарного типа для закрытых помещений ООО «Уралэнергосервис» подлежат: цеха, склады горюче-смазочных материалов (включая ЛВЖ, ГЖ), а также баксы для автотранспорта.

Оборудование пенного пожаротушения ООО «Уралэнергосервис», входит в общий комплекс противопожарной защиты и предназначена для обнаружения и автоматического тушения пожара в цехе по ремонту и сборке электротехнического оборудования.

Использование автоматических системы пенного пожаротушения в ООО «Уралэнергосервис» позволяет решить следующие задачи:

- ликвидация пожара в помещении до возникновения критических значений опасных факторов пожара;
- ликвидация пожара в помещении до наступления пределов огнестойкости строительных конструкций;
- ликвидация пожара в помещении до причинения максимально допустимого ущерба защищаемому имуществу;
- ликвидация пожара в помещении до наступления опасности разрушения технологических установок.

Среди функций, выполняемых САПТ можно выделить следующие:

- автоматическая пожарная сигнализация;
- автоматическое пожаротушение;

- диагностика состояния оборудования;
- поддержание и контроль эксплуатационных режимов работы;
- визуализация поступающей информации;
- хранение и сбор данных;
- генерация отчетных форм и оперативных сводок;
- сохранение архива с возможностью отображения трендов событий и параметров.

Комплекс система автоматического пожаротушения (САПТ) состоит из:

- насосная станция, оснащенная насосами пожаротушения (задача – подача пенообразователя для образования пены средней кратности);
- резервуар для хранения пенообразователя;
- сеть трубопроводов с задвижками и генератор пены для создания густой пены;
- автоматику управления совместно с пожарной сигнализацией.

В защищаемых помещениях установлены генераторы пены средней кратности ГПС-600 (склад ЛВЖ и ГЖ – 2 шт., склад ГСМ – 2 шт., участок покраски – 3 шт., участок ремонта и сборки– 3 шт., участок упаковки– 2 шт.).

Генераторы пены ГПС-600 состоят из (рисунок1):

- 1) Корпуса, к которому прикреплено устройство, направляющее пену;
- 2) Соединительная головка;
- 3) Распылитель;
- 4) Пакет сеток.

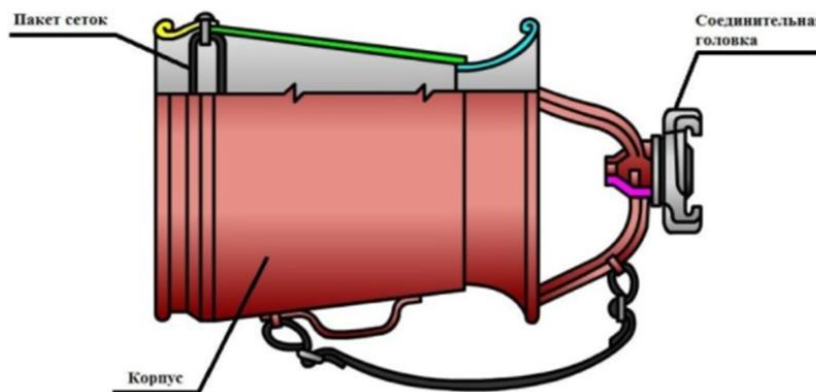


Рисунок 1 - Конструкция ГПС

ГПС-600 служит для образования пены средней кратности и смеси воды и пенообразователя.

Принцип работы: раствор пенообразователя под давлением подается на распылитель. Распылитель – устройство с прорезями, которые закручивают поток рабочей жидкости таким образом, чтобы раствор равномерно подавался на сетку. На сетке “выдуваются” пузырьки пены, а форма корпуса способствует дополнительному эжектированию воздуха.

Пеносмеситель ПС-1 (рисунок2): – предназначен для получения водного раствора пенообразователя, который используется для образования пены в генераторах пены средней кратности. Так же ПС-1 используется для дозирования пенообразователя подаваемого в сеть трубопроводов системы пожаротушения.

Принцип работы ПС-1 (рисунок2): вода под рабочим давлением поступает через камеру 3, в горловину диффузора 1, в полости корпуса 2 создается разрежение, за счет которого пенообразователь подсасывается в камеру 4, где он смешивается с водой. Данный раствор подается по трубопроводам в генераторы пены средней кратности ГПС-600.

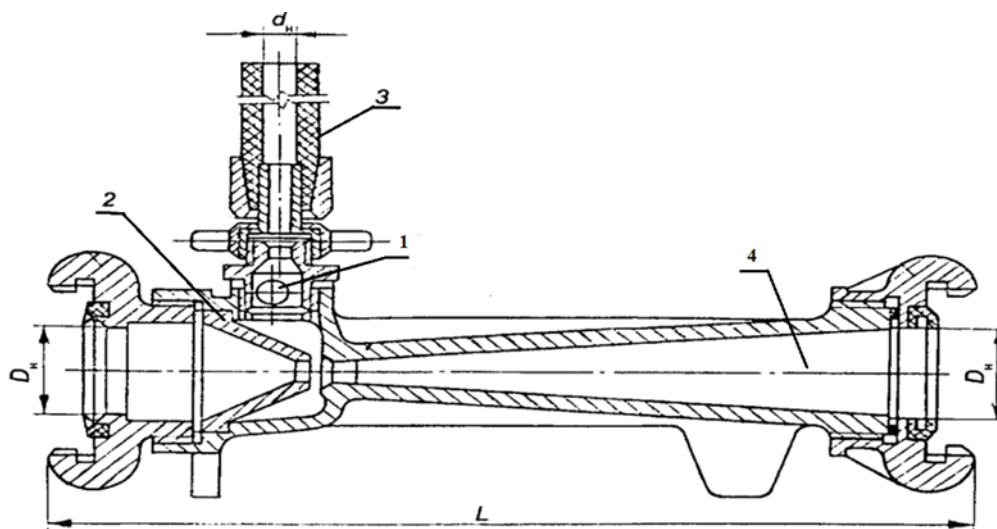


Рисунок 2 – Вид ПС-1

1.2 Параметры технологического процесса

Параметры технологического процесса указаны в таблицах 1 и 2:

Таблица 1 – входные сигналы

№	Обозначения на схеме	Тип датчика	Тип сигнала	Измеряемые параметры
22	GL	Датчик контроля положения	DI	Положение задвижки 1в
РГС-1				
3	TE	Датчик температуры	AI	Температура воды
6	LE	Датчик уровня	DI	Нижний уровень
77	LE	Датчик уровня	DI	Верхний уровень
РГС-2				
4	TE	Датчик температуры	AI	Температура воды
5	LE	Датчик уровня	DI	Нижний уровень
76	LE	Датчик уровня	DI	Верхний уровень
Емкость с ПО				
7	LE	Датчик уровня	DI	Нижний уровень
78	LE	Датчик уровня	DI	Верхний уровень
Насосная станция пенного пожаротушения				
1	PT	Датчик давления	AI	Давление в трубопроводе
2	PT	Датчик давления	AI	Давление в трубопроводе
24	GL	Датчик контроля положения	DI	Положение задвижки 2п
26	GL	Датчик контроля положения	DI	Положение задвижки 3п
36	GL	Датчик контроля положения	DI	Положение задвижки 8в
38	GL	Датчик контроля положения	DI	Положение задвижки 9в
40	GL	Датчик контроля положения	DI	Положение задвижки 10в
42	GL	Датчик контроля положения	DI	Положение насоса М-1
44	GL	Датчик контроля положения	DI	Положение насоса М-2
Участки сборки, покраски, упаковки внутри и снаружи				
8-15	XE	Извещатель пламени	DI	Уровень температуры
28	GL	Датчик контроля положения	DI	Положение задвижки 4п
30	GL	Датчик контроля положения	DI	Положение задвижки 5п
32	GL	Датчик контроля положения	DI	Положение задвижки 6п
34	GL	Датчик контроля положения	DI	Положение задвижки 7п

Склад ГСМ внутри и снаружи				
19-21	XE	Извещатель пламени	DI	Уровень температуры
74	GL	Датчик контроля положения	DI	Положение задвижки 5п
Склад ЛВЖ и ГЖ внутри и снаружи				
16-18	XE	Извещатель пламени	DI	Уровень температуры
72	GL	Датчик контроля положения	DI	Положение задвижки 8п

Таблица 2 – выходные сигналы

№	Обозначения на схеме	Тип датчика	Тип сигнала	Измеряемые параметры
23	NS (2 шт.)	Управляемая задвижка	DO	Открытие/закрытие задвижки 1в Включение/отключение привода
Насосная станция пенного пожаротушения				
25	NS (2 шт.)	Управляемая задвижка	DO	Открытие/закрытие задвижки 2п Включение/отключение привода
27	NS (2 шт.)	Управляемая задвижка	DO	Открытие/закрытие задвижки 3п Включение/отключение привода
37	NS (2 шт.)	Управляемая задвижка	DO	Открытие/закрытие задвижки 8в Включение/отключение привода
39	NS (2 шт.)	Управляемая задвижка	DO	Открытие/закрытие задвижки 9в Включение/отключение привода
41	NS (2 шт.)	Управляемая задвижка	DO	Открытие/закрытие задвижки 10в Включение/отключение привода
43	NS	Управляемый насос	DO	Включение/отключение насоса М-1
45	NS	Управляемый насос	DO	Включение/отключение насоса М-2

Участки сборки, покраски, упаковки внутри и снаружи				
29	NS (2 шт.)	Управляемая задвижка	DO	Открытие/закрытие задвижки 4п Включение/отключение привода
31	NS (2 шт.)	Управляемая задвижка	DO	Открытие/закрытие задвижки 5п Включение/отключение привода
33	NS (2 шт.)	Управляемая задвижка	DO	Открытие/закрытие задвижки 6п Включение/отключение привода
35	NS (2 шт.)	Управляемая задвижка	DO	Открытие/закрытие задвижки 7п Включение/отключение привода
46-49	SIB	ИПР	DO	
52-57	NS	Звуковой извещатель	DO	
62-67	NS	Световой извещатель	DO	
Склад ГСМ внутри и снаружи				
51	SIB	ИПР	DO	
60-61	NS	Звуковой извещатель	DO	
70-71	NS	Световой извещатель	DO	
75	NS (2 шт.)	Управляемая задвижка	DO	Открытие/закрытие задвижки 9п Включение/отключение привода
Склад ЛВЖ и ГЖ внутри и снаружи				
50	SIB	ИПР	DO	
58-59	NS	Звуковой извещатель	DO	
68-69	NS	Световой извещатель	DO	
73	NS (2 шт.)	Управляемая задвижка	DO	Открытие/закрытие задвижки 8п Включение/отключение привода

ГЛАВА 2 ОПИСАНИЕ И РАБОТА СИСТЕМЫ

2.1 Описание и работа системы автоматизированного управления пожаротушения цеха по ремонту и сборке электротехнического оборудования ООО «Уралэнергосервис»

Задачами САУ пожаротушения являются:

- повышение оперативности и качества принятия решений при возникновении пожароопасных ситуаций;
- исключение возникновения пожара;
- обеспечение пожарной безопасности людей;
- обеспечение пожарной безопасности материальных ценностей;
- ведение диагностики работы оборудования.

САУ пожаротушения предназначена для автоматизации пожаротушения и контроля за пожарным состоянием следующего технологического оборудования:

- участки сборки, покраски, упаковки;
- склад ГСМ;
- склад ЛВЖ и ГЖ.

САУ пожаротушением выполняет автоматизированный контроль параметров пожарной безопасности, характеризующих исправную работу технологического процесса.

Система пожарной автоматики контролирует возникновение пожара в защищаемых помещениях. Управление насосами пожаротушения осуществляется в автоматическом режиме.

Система САПТ включает в себя несколько подсистем.

2.2 Подсистема извещения пожара

Подсистема извещения о пожаре САУ ПТ – совокупность технических средств для формирования и передачи сигнала «Пожарная тревога» на пульт.

Подсистема извещения о пожаре реализуется посредством установки на защищаемых объектах ручных пожарных извещателей.

Подсистема извещения о пожаре обеспечивает включение селективного сигнала «Пожарной тревоги» на пульт на АРМ посредством звуковой и световой сигнализации.

По сигналу «Пожарная тревога» производится запуск подсистемы оповещения о пожаре. Запуск систем тушения пожаров от ручных пожарных извещателей не предусматривается.

Ручные пожарные извещатели установлены снаружи (у входов) и внутри (у выходов) защищаемых зданий.

2.3 Подсистема оповещения пожара

Подсистема оповещения о пожаре САУ ПТ – совокупность технических средств, предназначенных для своевременного сообщения обслуживающему персоналу объекта о возникновении пожара и необходимости эвакуации.

Подсистема оповещения о пожаре III типа реализуется посредством установки на защищаемых объектах звуковых и световых пожарных оповещателей.

Защищаемые помещения: цех с участками сборки, покраски и упаковки, склады ГСМ, ЛВЖ и ГЖ.

У каждого входа в помещение оборудованных системами тушения пеной средней кратности предусматриваются табло: «Пена - не входить!». У выхода табло: «Пена – уходи!».

2.4 Выбор оборудования – верхний уровень

Верхний уровень изделия выполняет в ходе работы системы в автоматическом режиме работы системы и в режиме управления с панельного компьютера следующие функции:

- прием информации о состоянии объекта с контроллера по Ethernet;
- диагностику, указанных выше, полевых шин, с сигнализацией и регистрацией отказа любой из них;

- мониторинг технологического процесса и регистрацию событий;
- оперативное управление технологическим процессом;
- архивацию событий нижнего уровня, действий оператора и команд управления, принимаемых с различных уровней САУ ТП;
- формирование базы данных;
- формирование трендов измеряемых параметров;
- автоматическую и ручную печать на принтере (по запросу пользователя) формируемых сводок и отчётов.

Верхний уровень представлен основным блоком АРМ:

- панельный компьютер Advantech PPC154T;
- Сетевая карта INTELLISLOT SNMP/WEB CARD;
- панель графическая монохромная LCD, панель оператора с сенсорным экраном, 16 оттенков серого, 115,2х88,4, 320х240 точек MAC E610;
- Дисплей: 30" TFT 1024×768 точек;
- Ethernet: 10/100Base-T (10/100/1000Base опция).

Переносной АРМ инженера:

- переносной компьютер ACER Aspire 3 A315-42-R94P (NX.HF9ER.02N);
- Дисплей: 15.6 дюймов, 1920×1080, антибликовый, тип матрицы — TN;
- Процессор: AMD Ryzen 5 3500U (4 ядра, 8 потоков, 2.1 — 3.7 ГГц в режиме Turbo);
- Видеокарта: интегрированная в процессор — AMD Radeon Vega 8;
- Оперативная память: 4 ГБ (DDR4-2400 МГц, два слота, в одном установлен модуль на 4 ГБ, второй слот свободен).[9]

Сервер HPE ProLiant ML350 Gen10 указан на рисунке 3.



Рисунок 3 – Внешний вид сервера HPE ProLiant ML350 Gen10

Характеристики:

- Тип процессора - [Intel® Xeon®](#);
- Модель процессор Intel Xeon Silver – 4210;
- Частота процессора, МГц – 2200;
- Максимальная частота, МГц - 3200;
- Количество ядер процессора - [10](#);
- Тип памяти - DDR4 ECC;
- Объем оперативной памяти - [16 Гб](#);
- Описание оперативной памяти - 16 Гб RDIMM (1 x 16 Гб);
- Максимальный объем оперативной памяти - [3 Тб](#);
- RJ-45 Network Connector - [4](#) [11].

2.5 Средний уровень

Контроллер Modicon M340, пример конфигурации указан на рисунке 4.

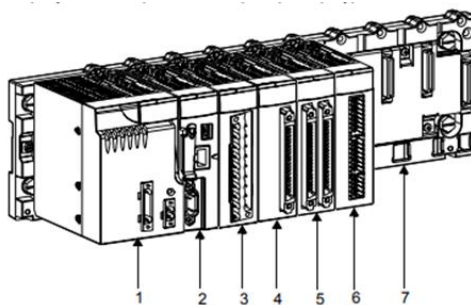


Рисунок 4 - пример конфигурации ПЛК Modicon M340

(1 – модуль питания, 2 - процессорный модуль, 3 – модуль входов-выходов (колодка подключения на 20 контактов), 4 - Модуль входов-выходов (один разъем на 40 контактов), 5 - Модуль входов-выходов (два разъема по 40 контактов), 6 – Счетный модуль, 7 – монтажное шасси на 8 мест. [4])

В состав каждой станции ПЛК входит процессорный модуль указанный на рисунке 5, выбор которого осуществляется на основе следующих основных характеристик указанных в таблице 4:

- возможности по обработке данных (количество контролируемых входов-выходов);
- объем памяти;
- коммуникационные возможности.



Рисунок 5 – внешний вид процессорного модуля P34 2020

(1 - Винт для надежного крепления модуля в слоте (маркировка 0) монтажного шасси, 2 - Блок индикации, который в зависимости от модели может иметь 5 или 7 светодиодных индикаторов: индикатор RUN (зеленый): работа процессорного модуля (выполнение программы); индикатор ERR (красный): неисправность процессорного модуля или системы; индикатор I/O (красный): неисправность модулей ввода-вывода; индикатор CARD ERR (красный): карта памяти отсутствует или неисправна, 3 - Разъем USB mini-B для подключения программного терминала (или панели Magelis XBT GT); 4 - Отсек под карту памяти для хранения резервной копии приложения (расположенный над отсеком светодиодный индикатор показывает, когда идет обращение к карте или ее распознавание), 5 - Порт Ethernet, 6 – Последовательный порт.)

Таблица 4 - Характеристики процессорного модуля РЗ4 2020 [5]

Кол-во стоек	2(с 4,6,8 или 12 слотами)
Максимальное число каналов на модулях ввода-вывода	1024 дискретных канала 256 аналоговых каналов
Емкость внутренней памяти: RAM для внутреннего использования - Программы, константы и символы - Локализованные/ нелокализованные данные	4096 Кб 3584 Кб 256 Кб
Кол-во RJ-45 портов	2 (1 – Ethernet, 2 – Modbus)

Монтажное шасси указано на рисунке 6.

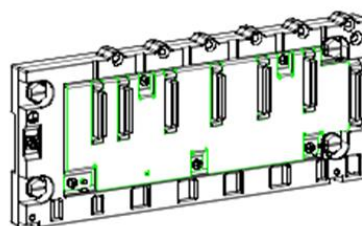


Рисунок 6 – Монтажное шасси на 4 слота

В зависимости от количества используемых в станции ПЛК модулей производится выбор монтажного шасси:

- монтажное шасси BMX XBP 0400 (4 слота);
- монтажное шасси BMX XBP 0600 (6 слотов);
- монтажное шасси BMX XBP 0800 (8 слотов);
- монтажное шасси BMX XBP 1200 (12 слотов).

В списке выше указано количество слотов для установки модулей. На каждом монтажном шасси есть один дополнительный слот, зарезервированный для установки модуля питания. [4]

Модуль питания CPS 2000 указан на рисунке 7, технические характеристики указаны в таблице 5.

На каждое шасси должен быть установлен модуль питания.

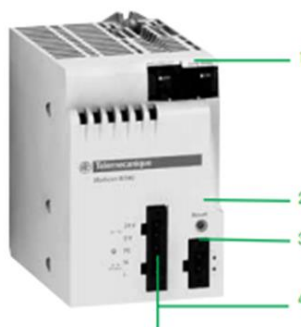


Рисунок 7 – Внешний вид модуля питания CPS 2000

(1 - Блок индикации, состоящий из следующих светодиодных индикаторов:
 - индикатор ОК (зеленый, загорается при наличии требуемого напряжения питания на монтажном шасси); - индикатор 24 В (зеленый), загорается при наличии напряжения питания датчика (только модули питания BMX CPS 2000/3500 AC) 2 - Кнопка RESET для “холодной” перезагрузки приложения,
 3 - 2 контактный разъем под съемную клеммную колодку (винтовую или пружинную) для подключения реле сигнализации, 4 – 5 контактный разъем под съемную клеммную колодку (винтовую или пружинную) для подключения: кабеля питания, защитного заземления, кабеля, выделенного питания напряжением 24 В для подключенных датчиков.)

Таблица 5 – Характеристика модуля питания CPS 2000 [12]

Первичное напряжение, В	220
Вторичное напряжение, В	24
Встроенные средства защиты	Предохранитель (доступ не предусмотрен)
Входной ток, А	1
Пусковой ток, А	30
Общая полезная мощность, Вт	20
Полезная мощность на выходе 3V3_VAC, Вт	8,3
Полезная мощность на выходе 24V VAC, Вт	16,5
Полезная мощность на выходе 24 В питания датчиков, Вт	10

Модуль аналогового ввода-вывода указан на рисунке 8, технические характеристики указаны в таблице 6.

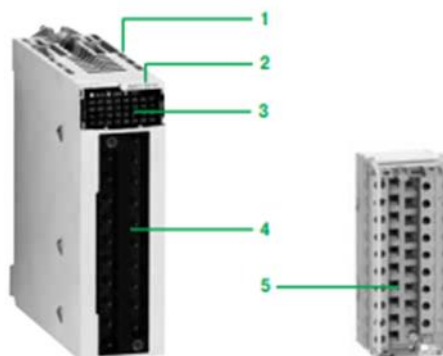


Рисунок 8 – Модуль аналогового ввода-вывода BMX AMI 0410 (1 - Прочный корпус обеспечивает надёжное крепление и защиту электронной платы, 2 - Идентификационная маркировка модуля (этикетка на правой стороне модуля), 3 - Блок индикации состояния канала и модуля; 4 - Разъем для установки 20- или 28-контактной съёмной клеммной колодки с винтовыми или пружинными зажимами для прямого подключения датчиков или исполнительных устройств к модулю, заказывается отдельно, 5 - 20- или 28-контактная съёмная клеммная колодка В).

Таблица 6 – характеристики модуля аналогового ввода-вывода BMX AMI 0410 [5]

Тип входов/выходов	Неизолированные входы и выходы высокого уровня
Тип	Напряжение питания/ток
напряжение	Входы: ± 10 В, 0...10 В, 0...5 В, 1...5 В
Диапазон: ток	Входы: 0...20 мА, 4...20 мА

Модули дискретного ввода-вывода указаны на рисунке 9, характеристики модулей BMX DDI указаны в таблицах 7,8,9,10.

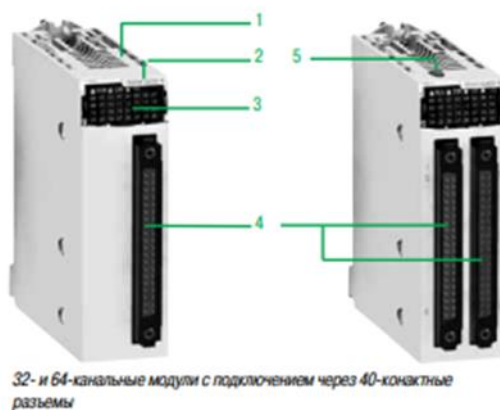


Рисунок 9 - Модули дискретного ввода-вывода BMX DDI 3202, BMX DDI 1602

(1 - Прочный корпус надежно поддерживает и обеспечивает защиту встроенной электроники, 2 - Идентификационная маркировка модуля (этикетка на правой стороне модуля), 3 - Блок индикации состояния каналов, 4 - Разъем для 20-контактной съемной клеммной колодки для подключения датчиков или промежуточных реле, отдельно заказывается, 5 - 20 контактная съемная клеммная колодка [5]).

Таблица 7 – характеристики модуля дискретного ввода BMX DDI 1602

Тип	Транзисторный
Напряжение питания, В	24
Ток на канал, мА	3,5

Таблица 8 – характеристики модуля дискретного ввода BMX DDI 3202

Тип	Транзисторный
Напряжение питания, В	24
Ток на канал, мА	2,5

Таблица 9 – характеристики модуля дискретного вывода BMX DDO 1602

Тип	Транзисторный
Напряжение питания, В	24
Ток на канал, мА	500

Таблица 10 – характеристики модуля дискретного вывода BMX DDO 3202

Тип	Транзисторный
Напряжение питания, В	24
Ток на канал, мА	100

Нормализатор сигнала с гальванической изоляцией ADAM-3014 указан на рисунке 10, характеристики нормализатора сигнала ADAM-3014 указаны в таблице 11.



Рисунок 10 – Внешний вид нормализатора сигнала ADAM-3014

Таблица 11 – характеристики нормализатора сигнала ADAM-3014

Диапазон входного сигнала по напряжению, В	+/- 10, +/- 5, +/- 1, 0...1, 0...5, 0...10
Диапазон входного сигнала по току, мА	0...20
Диапазон выходного сигнала по напряжению, В	+/- 10, +/- 5, 0...10
Диапазон выходного сигнала по напряжению, мА	0...20, -20...+20

Компактный 8-портовый неуправляемый коммутатор EDS-208 указан на рисунке 11.



Рисунок 11 – Коммутатор EDS-208

Коммутатор EDS-208 это 8-портовый компактный неуправляемый коммутатор в пластиковом корпусе на DIN-рейку, который обеспечивает адресную передачу данных получателю, что повышает производительность и безопасность сети, избавляя остальные сегменты от необходимости обрабатывать данные, которые им не предназначались. От базовой модели свитч отличается увеличенным до 8 количеством Ethernet-портов, поддерживающих скорости до 100 Мбит/с и оборудованных разъемами RJ-45. Устройство выполнено в пластиковом корпусе с высокой степенью защиты (IP 30), может работать от источников постоянного и переменного тока, характеризуется повышенной надежностью, характеристики коммутатора EDS-208[6] указаны в таблице 12.

Таблица 12 - Характеристики коммутатора EDS-208[6]

Внешний вид и материал	Пластик
IP защита изделия	IP 30
Количество Ethernet-разъемов	8
Количество 10/100 Mb Ethernet	8
Тип коннектора 10/100 Mb Ethernet:	8xRJ-45

2.6 Нижний уровень автоматизации

Уровнемер ПМП-152 указан на рисунке 12



Рисунок 12: А - датчик ПМП-152, Б - корпус датчика со снятой крышкой

Датчик состоит из направляющей – трубы, приваренной к стальному цилиндрическому корпусу с крышкой, заворачиваемой по резьбе. На направляющей находятся свободно перемещаемые поплавки со встроенным магнитом, ход которых ограничен хомутами. В направляющей находится металлический стержень, на котором крепятся платы с герконами (магниточувствительными герметичными контактами) с помощью винтов. Число плат с герконами соответствует числу контрольных уровней. Платы можно перемещать по стержню для изменения значений контрольных уровней.

Принцип работы датчика основан на применении герконов, изменяющих свое состояние под воздействием магнитного поля. Поплавков со встроенным магнитом перемещается по направляющей, и при достижении контрольного уровня вызывает замыкание (размыкание) геркона. Дальнейший ход поплавка ограничен хомутом. Характеристики датчика ПМП-152 указаны в таблице 13.

Таблица 13 – Характеристики датчика ПМП-152

Максимальное коммутируемое напряжение, В	80
Максимальный коммутируемый ток, мА	200
Выходной сигнал мощности, Вт	5
Длина направляющей, не более, мм	6000
Число контролируемых уровней	От 1 до 4
Температура окружающей среды, °С	От -100 до +125
Диапазон температур окружающей среды, °С	От -50 до + 60
Степень защиты	IP 66
Назначенный срок службы, лет	10

Табло Экран – С указан на рисунке 13-14, характеристики табло указаны в таблице 14.



Рисунок 13 – внешний вид табло Экран – С



Рисунок 14 – внешний вид табло Экран – С

Таблица 14 – Характеристика табло Экран – С [12]

Напряжение питания, В	24
Максимально потребляемый оповещательный ток, мА	110

Оповещатель звуковой MQVH-900-R 12-24VDC указан на рисунке 15, технические характеристики указаны в таблице 15.



Рисунок 15 – внешний вид оповещателя звукового MQVH-900-R 12-24VDC

Таблица 15 – Характеристика оповещателя звукового MQVN-900-R 12-24VDC [13]

Напряжение питания, В	24
Потребляемый оповещательный ток, мА	70
Звуковое давление на расстояние 1 м, дБ	Не менее 100

Пожарный извещатель ДПС – 038 указан на рисунке 16, технические характеристики указаны в таблице 16.



Рисунок 16 - Внешний вид извещателя ДПС-038

Таблица 16 – характеристики извещателя ДПС-038[10]

Параметр	Значение
Температура срабатывания, град.	90
Допустимый коммутируемый ток, мА	10-1200
Габаритные размеры	Не более 120x110x148мм

Извещатель пожарный ручной ИПР-Кск указан на рисунке 17, технические характеристики указаны в таблице 17.



Рисунок 17 – внешний вид ИПР-Кск

Таблица 17 – Характеристика ИПР-Кск [14]

Напряжение питания, В	24
Потребляемый оповещательный ток, мкА	70

Термопреобразователи сопротивления ОВЕН ДТС-И указан на рисунке 18.



Рисунок 18 – внешний вид термопреобразователи сопротивления ОВЕН ДТС-И

Термопреобразователи сопротивления ОВЕН ДТС-И со встроенным высокоточным нормирующим преобразователем предназначены для измерения и непрерывного преобразования температуры твердых, жидких, газообразных и сыпучих веществ в унифицированный выходной сигнал постоянного тока 4...20 мА. Технические характеристики указаны в таблице 18.

Таблица 18 – Характеристики термопреобразователи сопротивления ОВЕН ДТС-И [7]

Наименование	Значение
Номинальное значение напряжения питания, В	24 В
Диапазон допустимых напряжений питания, В	12...36 В
Максимальная мощность, потребляемая преобразователем, Вт	0,8 Вт
Диапазон выходного тока преобразователя, мА	4...20 мА

Преобразователи давления СЕНС ПД указан на рисунке 19.



Рисунок 19 – внешний вид преобразователя давления СЕНС ПД

Осуществляет непрерывное измерение избыточного давления и разрежения жидкости, пара или газа для автоматического контроля и регулирования технологических процессов.

Работает со следующими средами: воздух (атмосферный, сжатый), азот, вода (горячая, холодная, теплофикационная, обратная), пар, масло, газ (природный, доменный, коксовый), углеводородный конденсат, нефтепродукты (нефть, бензин, керосин и т. п.), кислород.

Предназначен для стационарной установки в помещениях и на открытых площадках опасных производственных объектов.

Внутри корпуса размещён электронный блок управления, плата с клеммами для подключения и первичный преобразователь – тензорезистивный элемент, выполненный на основе КНС-структуры; доступ к плате осуществляется через съёмную крышку, подключение проводников осуществляется через кабельные вводы.

Электронный блок преобразует полученную от чувствительного элемента информацию в стандартный цифровой или аналоговый сигнал.

Для каждого преобразователя могут быть заданы пороговые значения давления, разности давлений (до восьми значений), при достижении которых они передают сигналы управления исполнительными механизмами и сигнализацией. [3] Технические характеристики указаны в таблице 19.

Таблица 19 – Характеристики датчика СЕНС ПД

Верхний предел измерений, МПа	1,6 МПа
Выходной сигнал, В	От 9 до 42
Выходной сигнал, мА	4...20
Диапазон температур рабочей среды, °С	от -60 до +130
Потребляемая мощность, Вт	1
Климатическое исполнение	УХЛ1
Температура эксплуатации, хранения, транспортирования, °С	от -50 до +60
Степень защиты	IP66

2.7 Алгоритм работы системы пожаротушения

Процесс пожаротушения в цехе ремонта и сборке ООО «Уралэнергосервис» запускается при поступлении сигнала с двух извещателей пламени. Так же сигнал о пожаре может подать любой работник, используя ручной пожарный извещатель. Кроме того, сам оператор может подать команду на запуск процесса пожаротушения.

Когда с двух извещателей пламени поступает сигнал о пожаре, в первую очередь загораются световые извещатели “Пена – уходи!” над выходами цеха или склада, где произошло возгорание. Так же световые извещатели “Пена – не входить!” загораются снаружи помещений. Вместе с этим происходит звуковое оповещение о пожаре, как снаружи здания, где начался пожар, так и внутри.

После оповещения персонала, запускается последовательность открытия задвижек. Сначала открываются задвижки 1в,9в,10в – для подачи воды из РГС в пеносмесители. Затем открывается задвижка 2п для того, чтобы пенообразователь имел доступ к пеносмесителям. После открывается задвижка 3п. Таким образом полученная пена будет иметь доступ к генераторам пены того помещения или участка, которые следует тушить.

Следом открываются конкретные задвижки, те, которые откроют доступ пены к очагу пожара, это:

задвижка 4п – для подачи пены на участок упаковки;

задвижка 5п, 6п – для подачи пены на участок ремонта и сборки;

задвижка 7п – для подачи пены на участок покраски;

задвижка 8п – для подачи пены в помещение склада ЛВЖ и ГЖ;

задвижка 9п – для подачи пены в помещение склада ГСМ.

Как только персонал будет уведомлен о пожаре, и все задвижки для получения пены откроются - включается пенный насос М1 или М2, тем самым запуская процесс получения пены и поступления этой пены к очагу возгорания. Если вода в РГС достигнет нижнего уровня сработает датчик LE, то откроется задвижка 1в – вода из АС начнет поступать в РГС до верхнего

уровня и срабатывание датчика LE, после чего задвижка закроется, и вода перестанет поступать в РГС. Одновременно с поступлением пены, запускается таймер, рассчитанный на 15 минут. Если 15 минут прошли, оператору поступает сигнал на прекращение подачи пены на ГПС. Оператор принимает решение, прекращать тушение или нет, помимо этого, он может прекратить тушение до истечения 15 минут. Если оператор дал команду на продолжение тушения, то пена продолжает поступать на очаг возгорания. Если же оператор решил остановить процесс тушения пожара, то первым делом выключается пенный насос. Затем прекращается подача воды с РГС-1 и РГС-2 на ПС. Происходит закрытие всех ранее открытых задвижек.

ГЛАВА 3 ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ

3.1 Описание схемы энергоснабжения системы пожаротушения

Источником электроснабжения является закрытое распределительное устройство напряжением 10 кВ ГПП-1 и ГПП-2, которое в свою очередь запитываются от ПС 110/10 кВ ЛМЗ, принадлежащей ОАО «Пермьэнерго».

Проектируемые электропотребители автоматизированной системы управления пожаротушением ООО «Уралэнергосервис» относятся к потребителям особой группы I категории по надежности электроснабжения.

Нагрузки равномерно распределены между двумя секциями шин.

Питание шины I: пенный насос М-1, задвижки 4п-7п, 9п, 1в, 8в, 9в.

Питание шины II: пенный насос М-2(резервный), задвижки 2п, 3п, 8п, 10в, ЩО.

Обе секции шин получают питания с КТП-2х100/10/0,4 и ДЭС-630.

В случае прекращения работы одного из трансформаторов, включается АВР и обе секции шин получают питание от оставшегося трансформатора, который рассчитан на обеспечение питанием всех электроприемников.

3.2 Расчет электрических нагрузок и выбор мощности трансформаторов

Расчеты будем вести по Указания по расчетам электрических нагрузок РТМ 36.18.32.4-92*[32].

Таблица 20 – Технические характеристики электропотребителей

Наименование сооружений или групп электроприемников	кол., шт.	Напряжение, В	Ном. мощность, кВт	Номинальный ток, А	Коэф. использования $K_{\text{и}}$	$\cos\varphi$
Пенный насос	2	380	90	157	1	86
Задвижка с электроприводом	2	380	0,35	1	1	57
Светильники освещения	6	380	0,09	1	1	

Данные предоставлены ООО «Уралэнергосервис» проектом автоматизации системы пожаротушения цеха ООО «Уралэнергосервис». [34]

Рассчитаем номинальную активную мощность для 1 секции шин - сумма номинальных активных мощностей группы ЭП.

$$P_H = \sum_1^n p_H \quad (1)$$

$$P_H = 90 + 0,35 \cdot 8 = 92,8 \text{ кВт}$$

Групповая номинальная реактивная мощность - алгебраическая сумма номинальных реактивных мощностей, входящих в группу ЭП:

$$Q_H = \sum_1^n q_H = \sum_1^n p_H \cdot \operatorname{tg} \varphi = \sum_1^n p_H \cdot \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \varphi}}{\cos \varphi} \quad (2)$$

$$Q_H = \left(90 \cdot \frac{\sqrt{1 - 0,86^2}}{0,86} \right) \cdot 1 + \left(0,35 \cdot \frac{\sqrt{1 - 0,57^2}}{0,57} \right) \cdot 8 = 58,45 \text{ кВАр}$$

Эффективное число электроприемников (ЭП) $n_{\text{Э}}$ рекомендуется определять по выражению:

$$n_{\text{Э}} = \frac{(\sum P_H)^2}{\sum_1^n n p_H^2} \quad (3)$$

$$n_{\text{Э}} = \frac{92,8^2}{90^2 + 0,35^2 \cdot 8} = \frac{8611,84}{8100,98} = 1,06 \approx 1$$

Определим средневзвешенный коэффициент использования для группы ЭП с K_H :

$$K_H = \frac{\sum_1^n k_H p_H}{\sum_1^n p_H} \quad (4)$$

$$K_{и} = 1$$

Значение K_p принимаем равным 1.

Определим расчетную активную мощность подключенных к узлу питания ЭП:

$$P_p = K_p \sum K_{и} P_{н} \quad (5)$$

$$P_p = P_{н} = 92,8 \text{ кВт}$$

Определим расчетную реактивную мощность подключенных к узлу питания электроприемников:

Для питающих сетей напряжением до 1 кВ при $n_{э} \leq 10$:

$$Q_p = 1,1 \sum (K_{и} P_{н} \operatorname{tg} \varphi) = 1,1 \cdot Q_{н} \quad (6)$$

$$Q_p = 64,29 \text{ кВАр}$$

Определим полную расчетную мощность аварийного режима:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} \quad (7)$$

$$S_p = \sqrt{92,8^2 + 64,29^2} = 112,89 \text{ кВА}$$

Аналогичные расчеты проводятся для II секции шин и сводятся в таблицу 21.

Табл. 21 – Расчет электрических нагрузок [26]

Исходные данные					Расчетные величины			Эффективное число ЭП	Коэффициент расчетной нагрузки K_p	Расчетная мощность			Расчетный ток, A $I_{pBH} = S_p/(\sqrt{3}U_n)$	
По заданию технологов		По справочным данным								Активная, кВт	Реактивная, квар	Полная, кВ·А		
Наимен. ЭП	Кол-во ЭП, шт	Мощность, кВт		Коэффициент использования K_n	Коэффициент реактивной мощности $\frac{\cos\varphi}{\tan\varphi}$	$K_n P_n$	$K_n P_n \tan\varphi$	$\sum p_n^2$						
		Однофазное ЭП P_n	Общая $P_n = \sum P_n$											
I секция шин														
Пенный насос	1	90	90	1	0,86/0,59	90	53,1	8100	1	1	92,8	64,29	112,89	6,52
Залужка	8	0,35	2,8	1	0,57/1,44	2,8	4,032	0,98						
II секция шин														
Залужка	4	0,35	1,4	1	0,57/1,44	1,4	2,016	0,49	1	1	1,94	0,776	2,09	0,12
ЩО	1	0,54	0,54	1	-	0,54	0	0,54						
ИТОГО	14		94,74			94,74	59,148	8102,01			94,74	65,063	114,93	6,64

Выбор числа и мощности трансформаторов:

$$S_{pAv} = \sqrt{92,8^2 + 64,29^2} = 112,89 \text{ кВА}$$

Для выбора трансформатора нагрузку распределяем по секциям:

$$S_{pHор} = \frac{S_p}{k_3} = \frac{114,93}{2} = 57,475 \text{ кВА} \quad (8)$$

С учетом перегрузки мощность одного трансформатора:

$$S_{pHор} = \frac{S_p}{k_3} = \frac{57,475}{0,7} = 82,11 \text{ кВА}$$

Определим значение токовой расчетной нагрузки кабеля ВН [32]:

$$I_{pBH} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H} \quad (9)$$
$$I_{pBH} = \frac{57,475}{\sqrt{3} \cdot 10} = 3,322 \text{ А}$$

Проектируемые электропотребители автоматизированной системы управления пожаротушением ООО «Уралэнергосервис» относятся к потребителям особой группы I категории по надежности электроснабжения. Следовательно, принимаем 2 трансформатора. Выбираем трансформатор по каталогу [27].

Структура условного обозначения трансформатора ТМГ - 160/10/0.4:

Т - трансформатор трехфазный;

М - масляное охлаждение с естественной циркуляцией воздуха и масла;

Г – герметичное исполнение;

160 - номинальная мощность, кВА;

10 - напряжение обмотки высокого напряжения, кВ;

0,4 - напряжение обмотки низкого напряжения, кВ.

Технические характеристики ТМГ – 160/10/0.4 указаны в таблице 22.

Таблица 22 – Технические характеристики ТМГ- 160/10/0.4

Наименование	Единица изм.	Значение
Номинальная мощность	кВА	160
Номинальное напряжение ВН	кВ	10
Номинальное напряжение НН	кВ	0.4
Потери холостого хода	кВт	0.27
Потери короткого замыкания	кВт	1,97
Ток холостого хода	%	1,6
Напряжение короткого замыкания	%	4.5
ПБВ	%	2·2,5

Трансформатор силовой масляный ТМГ-160/10/0.4 (трехфазный, масляный, герметичный) служит для преобразования электроэнергии в сетях энергосистем и потребителей электроэнергии в условиях наружной или внутренней установки умеренного (от + 40 С° до минус 45 С°) или холодного (от + 40 С° до минус 60 С°) климата.

Выбор ДЭС осуществляется с помощью мощности потребителей и коэффициентов запаса по формуле:

$$P_{\text{ДЭС}} = (P_{\text{нас}} \cdot k_z + P_{\text{нас}} \cdot k_z + P_{\text{нас}} \cdot k_z) \cdot 1,2[28] \quad (10)$$

$$P_{\text{ДЭС}} = (90 \cdot 5,5 + 0,35 \cdot 12 \cdot 4,5 + 0,54) \cdot 1,2 = 617,328 \text{ кВт}$$

Выбираем ДЭС-630-0,4. [29]

Расчет потерь в трансформаторе:

Выбранная КТП должны удовлетворять условию по перегрузке.

Нормальный режим ТР1:

$$\beta_{\text{норм}} = \frac{S_{\text{р.тр1}}}{S_{\text{ном}}} = \frac{112,89}{100} = 1,13 \quad (11)$$

$$\Delta P_{\text{ТР1норм}} = \Delta P_{\text{В+Г}} + \beta^2 \cdot \Delta P_{\text{к.з.}} = \Delta P_{\text{х.х}} + \beta^2 \cdot \Delta P_{\text{к.з.}} = 0,27 + 1,13^2 \cdot 1,97 = 2,785 \text{ кВт} \quad (12)$$

$$\Delta Q_{\text{ТР1норм}} = \Delta Q_{\text{В+Г}} + \beta^2 \cdot \Delta Q_{\text{к.з.}} = \Delta Q_{\text{х.х}} + \beta^2 \cdot \Delta Q_{\text{к.з.}} = \frac{I_{\text{хх}} S_{\text{ном}}}{100} + \beta_{\text{р1}}^2 \frac{U_{\text{кз}} S_{\text{ном}}}{100} = \frac{1,6 \cdot 100}{100} + 1,13^2 \frac{4,5 \cdot 100}{100} = 7,346 \text{ кВар, где:} \quad (13)$$

где $\Delta P_{\text{х.х}}$ и $\Delta P_{\text{к.з.}}$ – активные потери холостого хода и короткого замыкания в трансформаторе при номинальной нагрузке; $\Delta Q_{\text{х.х}}$ и $\Delta Q_{\text{к.з.}}$ – реактивные потери холостого хода и потери в меди трансформатора.

С учетом потерь нагрузка для трансформатора:

$$S_{\text{рТР1норм}} = \sqrt{(P_{\text{р}} + \Delta P_{\text{ТРнорм}})^2 + (Q_{\text{р}} + \Delta Q_{\text{ТРнорм}})^2} = \sqrt{(92,8 + 2,785)^2 + (64,29 + 7,346)^2} = 119,45 \text{ кВА} \quad (14)$$

Нормальный режим ТР2:

$$\beta_{\text{норм}} = \frac{S_{\text{р.тр1}}}{S_{\text{ном}}} = \frac{107,19}{100} = 1,07 \quad (15)$$

$$\Delta P_{\text{ТР2норм}} = \Delta P_{\text{В+Г}} + \beta^2 \cdot \Delta P_{\text{к.з.}} = \Delta P_{\text{х.х}} + \beta^2 \cdot \Delta P_{\text{к.з.}} = 0,27 + 1,07^2 \cdot 1,97$$

$$= 2,525 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_{\text{ТР2норм}} = \Delta Q_{\text{В+Г}} + \beta^2 \cdot \Delta Q_{\text{к.з.}} = \Delta Q_{\text{х.х}} + \beta^2 \cdot \Delta Q_{\text{к.з.}} = \frac{I_{\text{хх}} S_{\text{НОМ}}}{100} + \beta_{\text{п1}}^2 \frac{U_{\text{кз}} S_{\text{НОМ}}}{100}$$

$$= \frac{1,6 \cdot 100}{100} + 1,07^2 \frac{4,5 \cdot 100}{100} = 6,752 \text{ кВАр}$$

С учетом потерь нагрузка для трансформатора:

$$S_{\text{рТР2норм}} = \sqrt{(P_{\text{р}} + \Delta P_{\text{ТРнорм}})^2 + (Q_{\text{р}} + \Delta Q_{\text{ТРнорм}})^2}$$

$$= \sqrt{(91,94 + 2,525)^2 + (55,116 + 6,752)^2} = 112,92 \text{ кВА}$$

Аварийный режим.

Выбранная КТП должны удовлетворять условию по перегрузке:

$$\beta_{\text{равар}} = \frac{S_{\text{р.тр1}}}{S_{\text{НОМ}}} = \frac{114,93}{100} = 1,15$$

$$\Delta P_{\text{ТРАВар}} = \Delta P_{\text{В+Г}} + \beta^2 \cdot \Delta P_{\text{к.з.}} = \Delta P_{\text{х.х}} + \beta^2 \cdot \Delta P_{\text{к.з.}} = 0,27 + 1,15^2 \cdot 1,97$$

$$= 2,87 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_{\text{ТРАВар}} = \Delta Q_{\text{В+Г}} + \beta^2 \cdot \Delta Q_{\text{к.з.}} = \Delta Q_{\text{х.х}} + \beta^2 \cdot \Delta Q_{\text{к.з.}} = \frac{I_{\text{хх}} S_{\text{НОМ}}}{100} + \beta_{\text{п1}}^2 \frac{U_{\text{кз}} S_{\text{НОМ}}}{100}$$

$$= \frac{1,6 \cdot 100}{100} + 1,15^2 \frac{4,5 \cdot 100}{100} = 7,55 \text{ кВАр}$$

$$S_{\text{рТРАВар}} = \sqrt{(P_{\text{р}} + \Delta P_{\text{ТРнорм}})^2 + (Q_{\text{р}} + \Delta Q_{\text{ТРнорм}})^2}$$

$$= \sqrt{(94,74 + 2,87)^2 + (65,063 + 7,55)^2} = 121,66 \text{ кВА}$$

Определим значение токовой расчетной нагрузки кабеля ВН с учетом потерь:

$$I_{pВН} = \frac{S_{pTPав}}{\sqrt{3} \cdot U_H} \quad (16)$$
$$I_{pВН} = \frac{121,66}{\sqrt{3} \cdot 10} = 7,02 \text{ A}$$

3.3 Выбор марок и сечений кабелей

По допустимому нагреву сечения токопроводящих жил проводов и кабелей выбираются по условию: [34]

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{I_p}{K_{\Pi}}, \quad (17)$$

где $I_{\text{доп}}$ – допустимый длительный ток проводов или кабелей, А;

I_p – расчетный ток линии, А;

K_{Π} – поправочный коэффициент на допустимый ток, учитывающий фактические условия прокладки проводов и кабелей.

Для электрических сетей напряжением до 1 кВ поправочный коэффициент K_{Π} , как правило, определяется по выражению:

$$K_{\Pi} = K_1 \cdot K_2 \quad (18)$$

где K_1 и K_2 – коэффициенты, учитывающие фактическую температуру окружающей среды и количество совместно проложенных проводников.

$$K_1 = \sqrt{\frac{\Theta_{\text{жн}} - \Theta_{\text{с}}}{\Theta_{\text{жн}} - \Theta_{\text{сн}}}} \quad (19)$$

где $\Theta_{\text{жн}}$ – длительно допустимая температура проводника, °С;

Θ_c – действительная температура окружающей среды, °C;

$\Theta_{сн}$ – температура окружающей среды для различных условий ($\Theta_{сн} = 15$ °C при прокладке в земле, $\Theta_{сн} = 25$ °C – в воздухе).

Для кабеля ВН:

$$K_1 = \sqrt{\frac{70 - 15}{70 - 25}} = 1,105$$

$$K_2 = 1$$

$$K_{\pi} = 1,105 \cdot 1 = 1,105$$

$$I_{доп} \geq \frac{7,02}{1,105}$$

$$I_{доп} \geq 6,36$$

Кабель ААБл 3х10: $I_{доп} = 55$ А: [33]

Кабель от МП1 до двигателя насоса М1 и от МП10 до двигателя насоса М10:

$$I_{нас.н} = I_n = 157 \text{ А}$$

Кабель от МП2-МП9 до двигателя задвижки М2-М9 и до ЩО:

$$I_{зав.н} = I_n = 1 \text{ А}$$

Расчетный ток для кабеля НН и от ДЭС, питающих секции шин, определяются по формуле:

$$I_p = \frac{S_{pTPавар}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} \quad (20)$$

$$I_{pHH} = \frac{114,93}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 174,62 \text{ A}$$

$$K_1 = \sqrt{\frac{70 - 15}{70 - 25}} = 1,105$$

$$K_{\Pi} = 1,105 \cdot 1 = 1,105$$

$$I_{доп} \geq \frac{174,62}{1,105}$$

$$I_{доп} \geq 158,25$$

Кабель ВБбШв 4х50: [33]

$$I_{доп} = 167 \text{ A} \geq 158,25$$

Кабель до двигателя насоса М1 и М10:

$$K_1 = \sqrt{\frac{70 - 15}{70 - 25}} = 1,105$$

$$K_{\Pi} = 1,105 \cdot 1 = 1,105$$

$$I_{доп} \geq \frac{157}{1,105}$$

$$I_{\text{доп}} \geq 142,08$$

Кабель ВВГнг(А) – FRLS 5x50: [33]

$$I_{\text{доп}} = 155 \text{ A} \geq 142,08$$

Кабель до двигателя задвижки М2-М9:

$$K_1 = \sqrt{\frac{70 - 15}{70 - 25}} = 1,105$$

$$K_{\pi} = 1,105 \cdot 1 = 1,105$$

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{1}{1,105}$$

$$I_{\text{доп}} \geq 0,905$$

Кабель ВВГнг(А) – FRLS 5x4: [33]

$$I_{\text{доп}} = 34 \text{ A} \geq 0,905$$

Расчет шинопроводов производится с учетом одновременности работы всех электроприемников, подключенных к данному шинопроводу, откуда формула для расчета имеет вид:

$$I_{\text{р.ш}} = \frac{\sum P_{\text{ном.1ш}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}} \cdot \cos \phi'} \quad (21)$$

где $I_{\text{р.ш}}$ – расчетный ток шинопровода, А;

$P_{\text{ном.}\Sigma}$ – суммарная активная мощность всех электроприемников, кВт;

U_n – напряжения сети, кВ;

$\cos \phi$ – коэффициент мощности на шинопроводе.

Определим расчетную активную мощность подключенных к узлу питания наибольшего кол-ва ЭП:

$$I_{p.ш} = I_{pHH} = 174,62 \text{ A}$$

Выберем шинопровод ШРА 4–250 $I_{доп} = 250 \text{ A} > 174,62 \text{ A}$

Проверка: [29]

$$I_{номШРА} \leq \frac{I_{п}}{2}$$

$$I_{п} = \frac{S_{п} \cdot k_3}{U_{ном}} \quad (22)$$

где $S_{п}$ –паспортная мощность машины;

k_3 –коэф. загрузки;

$I_{п}$ –значение пикового тока.

$$I_{п} = \frac{104,65 \cdot 5,5}{0,38} = 1514 \text{ A}$$

$250 \leq 757$ – удовлетворяет условию.

Выбор сечений кабелей по экономической плотности тока:

Методика выбора заключается в учете экономической плотности тока $j_{эк}$, величина которой приведена в таблица 4 [34].

Экономическое сечение кабеля определяется по расчетному току и округляется до ближайшего стандартного значения:

$$S_{эк} = \frac{I_{p.к}}{j_{эк}}, \text{ мм}^2 \quad (23)$$

Таблица 23 - Экономическая плотность тока

Проводники	Экономическая плотность тока, А/мм ² , при продолжительности использования максимума нагрузки, ч		
	более 1000 до 3000	более 3000 до 5000	более 5000
Неизолированные провода и шины:			
медные	2,5	2,1	1,3
алюминиевые	1,3	1,1	1,0
Кабели с бумажной и провода с резиновой и поливинилхлоридной изоляцией с жилами:			
медными	3,0	2,5	2,0
алюминиевыми	1,6	1,4	1,2
Кабели с резиновой и пластмассовой изоляцией с жилами:			
медными	3,5	3,1	2,7
алюминиевыми	1,9	1,7	1,6

Система пожаробезопасности ООО «Уралэнергосервис» работает круглосуточно.

Проверка кабеля до КТП:

$$S_{\text{эк}} = \frac{3,322}{1,2} = 2,77 \text{ мм}^2$$

Ранее выбранное сечение 10 мм² удовлетворяет данной проверке. Выбранные кабели заносим в таблицу 24.

Сети промышленных предприятий и сооружений напряжением до 1 кВ при числе часов использования максимума нагрузки предприятий до 4000-5000 проверке по экономической плотности не подлежат [33].

Таблица 24- Таблица выбранных кабелей

Наименование кабелей	Расчетный ток $I_p \cdot i$, А	Марка кабеля, количество жил	Сечение жилы $S_{\text{ж}}$ (мм ²), по условиям
Кабель 10 кВ от ЗРП к КТП	$I_{\text{р.к}} = I_{\text{р.тр(вн)}} = 3,32$	ААБл, 4 жил	10 мм ² $I_{\text{доп}} = 55 \text{ А}$
Кабель от шины1 до М1 и от шины2 до М10	$I_p = 157$	ВВГнг-FRLS, 5 жил	50 мм ² $I_{\text{доп}} = 155 \text{ А}$
Кабель от шины1-2 до двигателя задвижки М2-М9	$I_p = 1$	ВВГнг-FRLS, 5 жил	4 мм ² $I_{\text{доп}} = 34 \text{ А}$
Кабель 0,4 кВ от КТП к ЭП	$I_{\text{рнн}} = 174,62$	ВББШв, 4 жил	50 мм ² $I_{\text{доп}} = 167 \text{ А}$

3.4 Расчет кабельной сети по потерям напряжения при совместном питании секций шин одного трансформатора (аварийный режим сети)

Номинальное напряжение подстанций типа ТМГ – 160/10/0,4. Причем номинальное напряжение вторичной обмотки $U_{\text{ном.тр}} = 380$ В соответствует номинальному току нагрузки трансформатора. В режиме холостого хода трансформатора напряжение на вторичной обмотке повышается на 5% и составляет $U_0 = 400$ В. Регулирование напряжения в ТМГ осуществляется в диапазоне до 5 % с помощью ПБВ [25].

Проверка сети по потере напряжения проводится для наиболее мощных или наиболее электрически удаленных электроприемников, например, двигатель пенного насоса.

Потери напряжения в обмотках трансформатора:

$$\Delta U_{\text{тр}} = \sqrt{3} I_{\text{р.тр}} \cdot (R_{\text{тр}} \cdot \cos \varphi_{\text{тр}} + X_{\text{тр}} \cdot \sin \varphi_{\text{тр}}) \quad [23] \quad (24)$$

Потери напряжения в кабеле ВБбШв:

$$\Delta U_{\text{кл}} = \sqrt{3} I_{\text{р.к}} \cdot (R_{\text{кл}} \cdot \cos \varphi_{\text{эп}} + X_{\text{кл}} \cdot \sin \varphi_{\text{эп}}) \quad (25)$$

$R_{\text{кл}} = r_{\text{кл}} \cdot l_{\text{кл}}$ – удельное активное сопротивление кабеля, Ом;

$X_{\text{кл}} = x_{\text{кл}} \cdot l_{\text{кл}}$ – удельное реактивное сопротивление кабеля, Ом;

где $l_{\text{кл}}$ = фактическая длина кабеля, м.

Расчет активного сопротивления производится по:

$$R_{70} = R_{20} (1 + \alpha (70 - 20^\circ\text{C})) \quad (26)$$

где R_{70} – активное сопротивление медной жилы длиной 1 км, сечением 1 мм² при температуре 70°C, Ом/км;

α – температурный коэффициент сопротивления меди принимается 0,004 [23].

Таблица 25- Активные и индуктивные сопротивления при 20°C

Сечение жилы, мм ²	Активное сопротивление при 20°C, Ом/км, медной жилы	Индуктивное сопротивление, Ом/км, кабеля напряжением до 1 В
4	4,6	0,095
10(ал)	3,1	0,122
16	1,12	0,068
50	0,37	0,0625
70	0,26	0,0612
95	0,19	0,06

Потери напряжения на трансформаторе ТМГ:

$$I_{\text{рТП}} = \frac{114,93}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 165,89 \text{ А}$$

$$\cos\phi = \frac{P_{\text{авар}}}{S_{\text{авар}}} \quad (26)$$

$$\cos\phi = 0,824$$

$$R_{\text{тр}} = \frac{\Delta P_{\text{кз}} \cdot U_{0\text{тр}}^2}{S_{\text{тр.ном}}^2} \cdot 10^3 = \frac{1,97 \cdot 0,4^2}{100^2} \cdot 10^3 = 0,031 \text{ Ом} \quad (27)$$

$$\begin{aligned} X_{\text{тр}} &= \sqrt{U_{\text{кз}}^2 (\%) - \left(\frac{100 \cdot \Delta P_{\text{кз}}}{S_{\text{тр.ном}}} \right)^2} \cdot \frac{U_{0\text{тр}}^2}{S_{\text{тр.ном}}} \cdot 10 = \\ &= \sqrt{4,5^2 - \left(\frac{100 \cdot 1,97}{100} \right)^2} \cdot \frac{0,4^2}{100} \cdot 10 = 0,06 \text{ Ом} \end{aligned} \quad (28)$$

$$\Delta U_{\text{тр}} = \sqrt{3} \cdot 165,89 \cdot (0,031 \cdot 0,824 + 0,06 \cdot 0,567) = 17,11 \text{ В}$$

Потери напряжения на кабеле-1 ВББШв:

$$R_{70} = 0,37(1 + 0,004(70 - 20)) = 0,444$$

$$\Delta U_{\text{кл1}} = \sqrt{3} \cdot 165,89 \cdot (0,057 \cdot 0,824 + 0,008 \cdot 0,567) = 14,96 \text{ В}$$

$$R_{\text{кл1}} = 0,444 \cdot 0,13 = 0,057 \text{ Ом}$$

$$X_{\text{кл1}} = 0,0625 \cdot 0,13 = 0,008 \text{ Ом}$$

Дальнейшие расчеты проводятся аналогично.

Допустимые потери напряжения для линии в соответствии с [24]:

$$\Delta U_{\text{доп}} = 1,1 \cdot U_{\text{ном}} - 0,9 \cdot U_{\text{ном}} = 0,2 \cdot U_{\text{ном}} = 0,2 \cdot 380 = 76 \text{ В} \quad (29)$$

Найдем сумму потерь по формуле:

$$\sum \Delta U_{\text{авар}} = \Delta U_{\text{тр}} + \Delta U_{\text{кл1}} + \Delta U_{\text{ав1}} + \Delta U_{\text{ш}} + \Delta U_{\text{кл2}} + \Delta U_{\text{ав2}} = 17,11 + 14,96 + 1,686 + 0,199 + 2,616 + 1,645 = 38,216 \quad (30)$$

Результаты расчета по потерям напряжения при нормальном режиме работы электропотребителей заносим в таблицу 26.

Таблица 26 - Результаты расчета по потерям напряжения при нормальном режиме работы электропотребителей

Расчетные участки и точка	R, Ом	X, Ом	Потери напряжения $\Delta U_{\text{норм}}$ в участках сети, В
Трансформатор ТМГ	0,031	0,06	$\Delta U_{\text{тр}}=17,11$
Кабель-1	0,057	0,008	$\Delta U_{\text{кл1}}=14,96$
Автоматический выключатель-1	0,0065	0,0009	$\Delta U_{\text{ав1}}=1,686$
Шинопровод	0,21	0,21	$\Delta U_{\text{ш}}=0,199$
Кабель-2	0,01	0,002	$\Delta U_{\text{кл2}}=2,616$
Автоматический выключатель-2	0,0065	0,0009	$\Delta U_{\text{ав2}}=1,645$
$\sum U_{\text{авар}}= 38,216$			

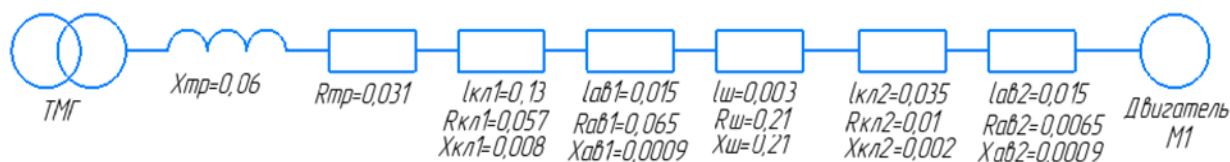


Рисунок 20 – Схема замещения

3.5 Расчет кабельной сети при пуске наиболее удаленных и мощных потребителей

Режимы работы двигателей на момент включения насоса: включены все привода задвижек и работают в номинальном режиме. Так же в номинальном режиме работают светильники освещения ручных пожарных оповещателей. Второй насос находится в выключенном состоянии.

Для возможности пуска электродвигателей величина напряжения должна быть не менее:

– для насосов:

$$0,8 \cdot U_{\text{дв.ном}} = 0,8 \cdot 380 = 304 \text{ В [24]} \quad (31)$$

Напряжение необходимое для надежного запуска электродвигателя насоса должно быть не менее 80% от номинального:

$$U_{\text{п.мин.доп}} = 0,8 \cdot U_{\text{ном.д}} = 0,8 \cdot 380 = 304 \text{ В}$$

Нагрузка для трансформатора (при выключенном насосе) [25]:

$$S_{\text{ТР}} = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{4,74^2 + 6,054^2} = 7,664 \text{ кВА}$$

Произведем расчет потерь напряжения при запуске электродвигателя насоса:

$$I'_{p.тр} = \frac{\Sigma S_{раб. \text{ ЭП}}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, \quad (32)$$

где $\Sigma S_{раб. \text{ ЭП}}$ – полная мощность работающих ЭП;

$U_{ном}$ – номинальное напряжение питания ЭП;

Трансформатор:

$$I'_{p.тр} = \frac{S_{тр}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{7,664}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 11,644 \text{ А}$$

$$\Delta U'_{тр} = \Delta U_{тр} \cdot \frac{I'_{p.тр}}{I_{p.тр}} = 17,11 \cdot \frac{11,644}{165,89} = 1,2 \text{ В} \quad (33)$$

Кабельная линия-1 ВБбШв:

$$\Delta U'_{кл1} = \Delta U_{кл1} \cdot \frac{I'_{p.кл1}}{I_{p.кл1}} = 14,96 \cdot \frac{11,644}{165,89} = 1,05 \text{ В}$$

Дальнейшие расчеты – аналогичны.

Результаты расчётов заносим в таблицу 27.

Таблица 27- Результаты расчётов потерь напряжения при пуске наиболее мощных и удаленных электропотребителей

Запуск привода пенного насоса		
Расчетные участки и точки	Расчетный ток $I'_{p.i}$, А	Потери напряжения $\Delta U'_{авар i}$ в участках сети, В
Трансформатор ТМГ	11,644	1,2
Кабельная линия-1	11,644	1,05
Автоматический выключатель-1	11,644	0,12
Шинопровод	11,644	0,014
Кабельная линия-2	0	0
Автоматический выключатель-2	0	0
$\Sigma U_{авар}$		2,384

Рассчитаем значения A_{ki} для цепей запускаемых двигателей.

Расчетная формула для трансформаторов:

$$A_{тр} = R_{тр} \cdot \cos\varphi_{п} + X_{тр} \cdot \sin\varphi_{п} \quad (34)$$

Расчетная формула для кабелей:

$$A_{кл} = l_{кл} \cdot (R_{кл} \cdot \cos\varphi_{п} + X_{кл} \cdot \sin\varphi_{п}) \quad (35)$$

где: $\cos\varphi_{п}$ – коэффициент мощности при пуске двигателей (принимаем $\cos\varphi_{п} = 0,3$)[25];

$R_{тр}$, $X_{тр}$ – активные и индуктивные сопротивления тр-ра;

$R_{кл}$ – активное сопротивление кабеля;

$l_{кл}$ – длина кабельной линии;

Определим значения A_{K_i} для цепи запускаемого двигателя:

$$A_{ТР} = R_{ТР} \cdot \cos\varphi_{п} + X_{ТР} \cdot \sin\varphi_{п} = 0,031 \cdot 0,3 + 0,06 \cdot 0,91 = 0,064$$

$$\begin{aligned} A_{кл1} &= l_{кл1} \cdot (r_{кл1} \cdot \cos\varphi_{п} + x_{кл1} \cdot \sin\varphi_{п}) = 0,13 \cdot (0,444 \cdot 0,3 + 0,0625 \cdot 0,91) \\ &= 0,024 \end{aligned}$$

Дальнейшие расчеты проводятся аналогично.

Результаты расчётов заносим в таблицу 28.

Таблица 28 - Сопротивления пусковой цепи

Сопротивление цепи при пуске двигателя			
Расчетные участки и точка	Характеристики кабеля		Величина A_{ki} для трансформатора и кабелей
	Sж, мм ²	Лк.л, км	
Трансформатор ТМГ	-	-	0,064
Кабельная линия-1	95	0,13	0,024
Автоматический выключатель-1	50	0,015	0,002
Шинопровод	35	0,003	0,0007
Кабельная линия-2	50	0,035	0,0058
Автоматический выключатель-2	50	0,015	0,002
$\sum A_{ki}$			0,0985

Определение расчетных значений напряжений $U_{п.р.}$ на зажимах двигателей при пуске и пускового тока двигателей $I_{п.р.}$

Расчетные формулы:

$$U_{п.р.} = \frac{U_{р.п.}}{1 + \sqrt{3} \cdot \frac{I_{п.ном.}}{U_{ном.д.}} \cdot (R_{п.} \cdot \cos \varphi_{п.} + X_{п.} \cdot \sin \varphi_{п.})} = \frac{U_{0тр} - \sum \Delta U'_{авар.и}}{1 + \sqrt{3} \cdot \frac{I_{п.ном.}}{U_{ном.д.}} \cdot \sum A_{ki}} \quad (36)$$

$$I_{п.р.} = I_{п.ном.} \cdot \frac{U_{п.р.}}{U_{ном.дв}} \quad (37)$$

где: $I_{п.ном.} = K_{п.} \cdot I_{ном.} = 5,5 \cdot 157 = 863,5$ А – номинальный пусковой ток запускаемого двигателя;

$$U_{п.р.} = \frac{U_{0тр} - \sum \Delta U'_{авар.и}}{1 + \sqrt{3} \cdot \frac{I_{п.ном.}}{U_{ном.д.}} \cdot \sum A_{ki}} = \frac{400 - 2,384}{1 + \sqrt{3} \cdot \frac{863,5}{380} \cdot 0,0985} = 286 < 304 \text{ В}$$

Условие $U_{п.р.} > 0,8 \cdot U_{ном.д.}$ не выполняется, запуск электродвигателя насоса будет ненадежным.

Используем ПБВ:

$$R_{тр} = \frac{\Delta P_{кз} \cdot U_{0тр}^2}{S_{тр.ном}^2} \cdot 10^3 = \frac{1,97 \cdot 0,42^2}{100^2} \cdot 10^3 = 0,034 \text{ Ом} \quad (38)$$

$$\begin{aligned} X_{тр} &= \sqrt{U_{кз}^2 (\%) - \left(\frac{100 \cdot \Delta P_{кз}}{S_{тр.ном}} \right)^2} \cdot \frac{U_{0тр}^2}{S_{тр.ном}} \cdot 10 = \\ &= \sqrt{4,5^2 - \left(\frac{100 \cdot 1,97}{100} \right)^2} \cdot \frac{0,42^2}{100} \cdot 10 = 0,07 \text{ Ом} \end{aligned} \quad (39)$$

$$\Delta U_{тр} = \sqrt{3} \cdot 165,89 \cdot (0,034 \cdot 0,824 + 0,07 \cdot 0,567) = 19,45 \text{ В}$$

$$\sum \Delta U_{авар} < 76 \text{ В}$$

$$\Delta U'_{тр} = \Delta U_{тр} \cdot \frac{I'_{р.тр}}{I_{р.тр}} = 19,45 \cdot \frac{11,644}{165,89} = 1,36 \text{ В} \quad (40)$$

$$\sum U_{авар} = 2,544$$

$$A_{тр} = 0,0648$$

$$\sum A = 0,0993$$

$$U_{п.р.} = \frac{420 - 2,544}{1 + \sqrt{3} \cdot \frac{863,5}{380} \cdot 0,0993} = 300,32 < 304 \text{ В}$$

Повысим сечение кабеля ВБбШв до 70 мм².

Потери напряжения на кабеле-1 ВБбШв:

$$R_{70} = 0,37(1 + 0,004(70 - 20)) = 0,312$$

$$\Delta U_{\text{кл1}} = \sqrt{3} \cdot 165,89 \cdot (0,04 \cdot 0,824 + 0,008 \cdot 0,567) = 10,77 \text{ В}$$

$$R_{\text{кл1}} = 0,312 \cdot 0,13 = 0,04 \text{ Ом}$$

$$X_{\text{кл1}} = 0,0612 \cdot 0,13 = 0,008 \text{ Ом}$$

Кабельная линия-1 ВББШВ:

$$\Delta U'_{\text{кл1}} = \Delta U_{\text{кл1}} \cdot \frac{I'_{\text{р.кл1}}}{I_{\text{р.кл1}}} = 10,77 \cdot \frac{11,644}{165,89} = 0,76 \text{ В} \quad (41)$$

$$\sum U_{\text{авар}} = 2,254$$

$$\sum A = 0,0943$$

$$U_{\text{п.р.}} = 304,66 > 304 \text{ В}$$

Условие $U_{\text{п.р.}} > 0,8 \cdot U_{\text{ном.д.}}$ выполняется, запуск электродвигателя насоса будет надежным.

$$I_{\text{п.р}} = I_{\text{п.ном}} \cdot \frac{U_{\text{п.р1}}}{U_{\text{ном.дв}}} = 863,5 \cdot \frac{304,66}{380} = 692,29 \text{ А} \quad (42)$$

Полученные результаты заносим в таблицу 29.

Таблица 29- При пуске наиболее удалённых и мощных потребителей

При пуске двигателя 90 кВт			
$\sum \Delta U'_{\text{авар}i}, \text{ В}$	$\sum A_{ki}$	$U_{\text{п.р}}$	$I_{\text{п.р}}$
2,254	0,0943	304,66	692,29

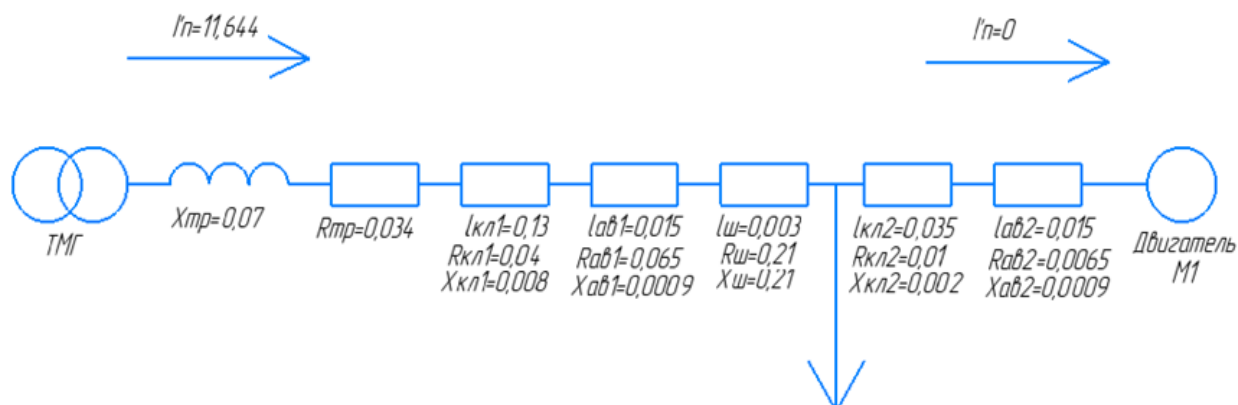


Рисунок 21 – Схема замещения

3.6 Расчет токов короткого замыкания

Сделаем расчетную схему и схему замещения при совместной работе секций шин и изобразим на рисунках 22 и 23. Расчет проведен с помощью методики предоставленной в ГОСТ 28249 [31].

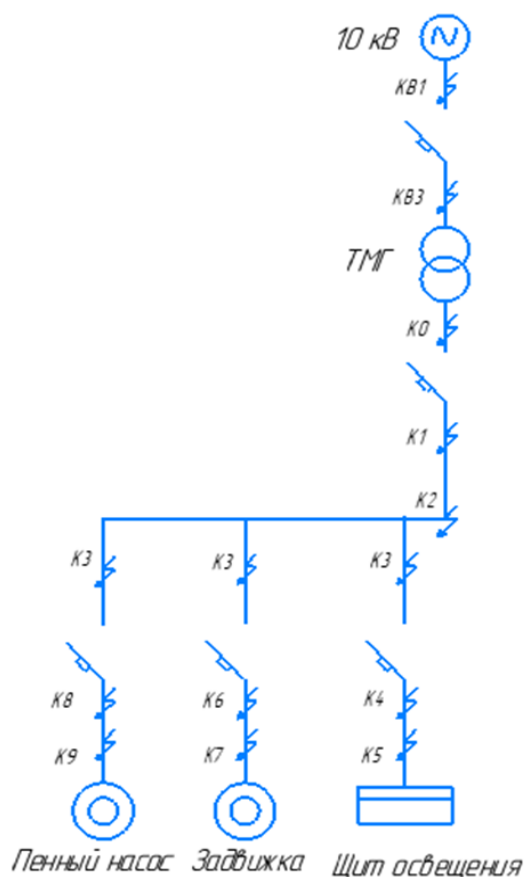


Рисунок 22 - Расчетная схема

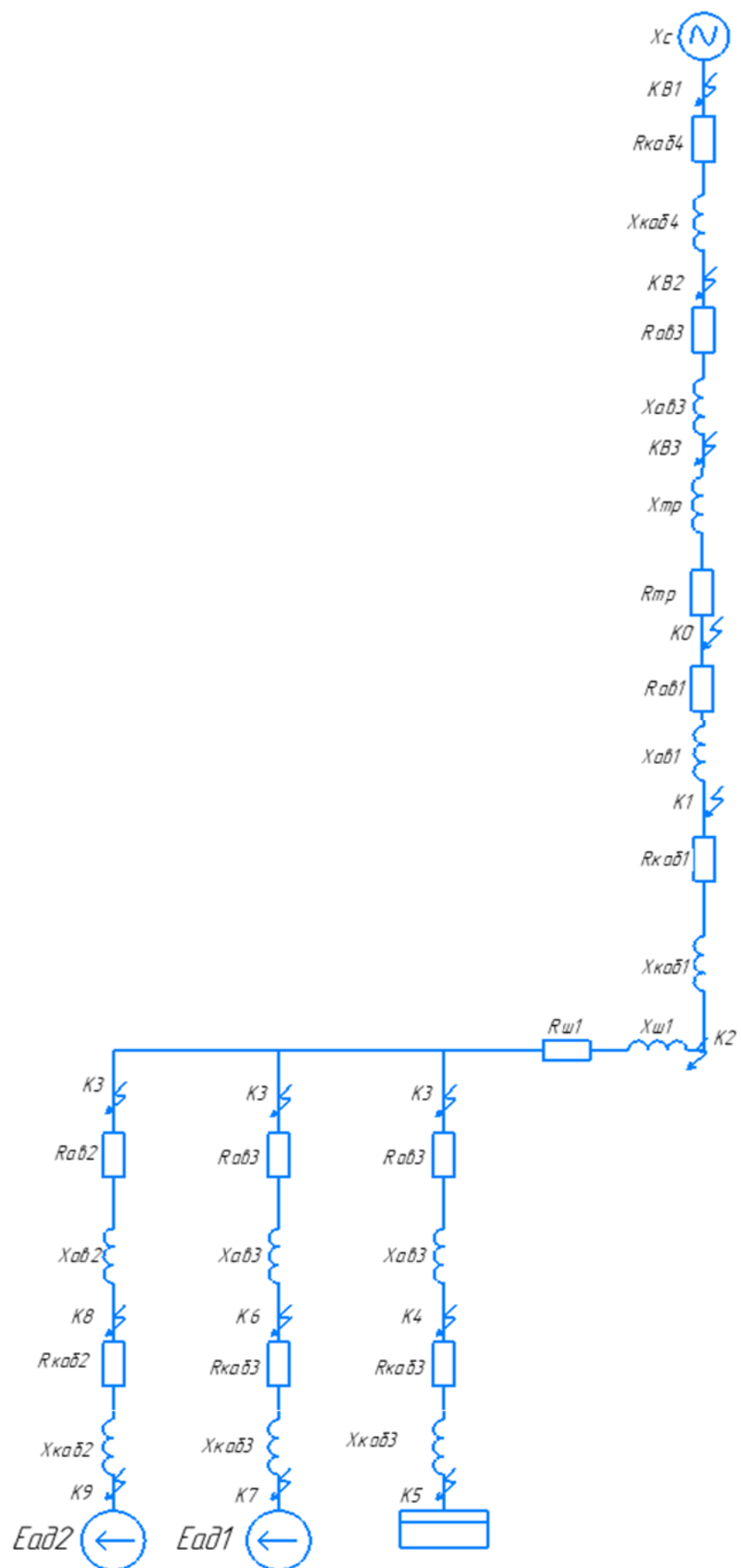


Рисунок 23 – Схема замещения ТКЗ

1) Активное и индуктивное сопротивление силового трансформатора, приведенное к стороне НН:

$$R_{\text{тр}} = 34 \text{ мОм}$$

$$X_{\text{тр}} = 70 \text{ Ом}$$

2) Сопротивление питающей системы:

$$x_c = \frac{U_{\text{ср.НН}}^2 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot I_{\text{откл.ном}} \cdot U_{\text{ср.ВН}}}, \quad (42)$$

где x_c – сопротивление питающей системы, мОм

$U_{\text{ср.НН}}^2$ – среднее номинальное напряжение сети, подключенной к обмоткам НН трансформатора, В;

$U_{\text{ср.ВН}}$ – среднее номинальное напряжение сети, подключенной к обмоткам ВН трансформатора, кВ;

$I_{\text{откл.ном}}$ – номинальный ток выключателя, установленного на стороне ВН понижающего трансформатора, кА; Т.к. $I_{\text{рВН}} = 3,32 \text{ А}$, то $I_{\text{откл.ном}} = 16 \text{ А}$ [29].

$$x_c = \frac{400^2 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 16 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 10^3} = 0,577 \text{ мОм}$$

3) Влияние сопротивления питающей системы на НН:

$$x_{\text{сНН}} = \frac{0,577}{692,52} = 0,0008 \text{ мОм}$$

4) Сопротивления шинпровода на отрезках:

$$R_{\text{ш}} = R_0 \cdot l_{\text{участка}} \quad (43)$$

$$X_{ш} = X_0 \cdot l_{\text{участка}} \quad (44)$$

$$R_{ш1} = 0,21 \cdot 0,003 = 0,00063 \text{ мОм};$$

$$X_{ш1} = 0,21 \cdot 0,003 = 0,00063 \text{ мОм};$$

5) Сопротивления катушек автоматических выключателей [29]:

$$\text{AB} - 1: I_{\text{расц.ном}} = 250 \text{ А}; R_{\text{AB1}} = 0,65 \text{ мОм} \quad X_{\text{AB1}} = 0,17 \text{ мОм}$$

$$\text{AB} - 2: I_{\text{расц.ном}} = 160 \text{ А}; R_{\text{AB2}} = 1,1 \text{ мОм} \quad X_{\text{AB2}} = 0,5 \text{ мОм}$$

$$\text{AB} - 3: I_{\text{расц.ном}} = 50 \text{ А}; R_{\text{AB3}} = 7 \text{ мОм} \quad X_{\text{AB3}} = 4,5 \text{ мОм}$$

Данные вычислений заносим в таблицу 30.

Таблица 30 - Сопротивление элементов схемы замещения

Сопротивление силового трансформатора:	$R_{\text{тр}} = 34 \text{ мОм}$	$X_{\text{тр}} = 70 \text{ мОм}$
Кабель от ТМГ к шине:	$R_{\text{кл1}} = 0,04 \text{ мОм}$	$X_{\text{кл1}} = 0,008 \text{ мОм}$
Кабель от шины до задвижки и ЩО:	$R_{\text{кл3}} = 0,4416 \text{ мОм}$	$X_{\text{кл3}} = 0,0076 \text{ мОм}$
Кабель от шины к двигателю насоса:	$R_{\text{кл2}} = 0,01 \text{ мОм}$	$X_{\text{кл2}} = 0,002 \text{ мОм}$
Кабель на стороне ВН:	$R_{\text{кл4}} = 0,19 \text{ мОм}$	$X_{\text{кл4}} = 0,006 \text{ мОм}$
Сопротивление шинпровода	$R_{\text{ш1}} = 0,00063 \text{ мОм}$	$X_{\text{ш1}} = 0,00063 \text{ мОм}$
Сопротивление катушек автоматических выключателей:	$R_{\text{AB1}} = 0,65 \text{ мОм}$ $R_{\text{AB2}} = 1,1 \text{ мОм}$ $R_{\text{AB3}} = 7 \text{ мОм}$	$X_{\text{AB1}} = 0,17 \text{ мОм}$ $X_{\text{AB2}} = 0,5 \text{ мОм}$ $X_{\text{AB3}} = 4,5 \text{ мОм}$

1) Для оценки необходимости учета подпитки от двигателей найдем суммарный номинальный ток двигателей:

$$I_{\Sigma \text{д}} = 157 + 12 \cdot 1 = 169 \text{ А}$$

Ток КЗ без учета сопротивления дуги:

$$r_{\Sigma 2} = r_{TP} + r_{K.AB1} + r_{KL1} = 34 + 0,65 + 0,04 = 34,69 \text{ мОм} \quad (45)$$

$$x_{\Sigma 2} = x_c + x_{TP} + x_{KL1} = 0,577 + 70 + 0,13 + 0,008 = 70,715 \text{ мОм} \quad (46)$$

$$I_{n0K2max} = \frac{U_{срНН}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{x_{\Sigma 1}^2 + r_{\Sigma 1}^2}} \quad (47)$$

$$I_{n0K2max} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{70,715^2 + 34,69^2}} = 2,93 \text{ кА}$$

Ток $I_{\Sigma д}$ больше, чем $0,01 I_{n0K1max}$, следовательно, подпитка нужна.

2) Рассчитаем параметры двигателя пенного насоса:

$$Z_{AD1} = \frac{U_{ном} \cdot 10^3}{\sqrt{3} K_{п} I_{AD,ном}} = \frac{380 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 5,5 \cdot 157} = 254,07 \text{ мОм} \quad (48)$$

— полное сопротивление АД

$$r_{AD1} = \frac{0,63 P_{ном} \cdot 10^6}{(K_{п} I_{AD,ном})^2} = \frac{0,63 \cdot 90 \cdot 10^6}{(5,5 \cdot 157)^2} = 76,04 \text{ мОм} \quad (49)$$

— сверхпереходное активное сопротивление;

$$x''_{AD1} = \sqrt{Z_{AD}^2 - r_{AD}^2} = \sqrt{254,07^2 - 76,04^2} = 242,42 \text{ мОм} -$$

— сверхпереходное индуктивное сопротивление; (50)

$$E''_{\Phi AD1} = \sqrt{(U_{\phi} \cos \phi_{ном} - I_{AD,ном} r_{AD1})^2 + (U_{\phi} \sin \phi_{ном} - I_{AD,ном} x''_{AD1})^2} =$$

$$\sqrt{(220 \cdot 0,86 - 157 \cdot 76,04 \cdot 10^{-3})^2 + (220 \cdot 0,51 - 157 \cdot 242,42 \cdot 10^{-3})^2} =$$

$$101,83 \text{ В} \quad (51)$$

— фазное значение сверхпереходной ЭДС АД.

Аналогично рассчитаем параметры двигателя задвижки:

$$r_{1\Sigma\text{АД1}} = 1,74; x_{1\Sigma\text{АД1}} = 1,132$$

$$r_{1\Sigma\text{АД2}} = 7,66; x_{1\Sigma\text{АД2}} = 5,05$$

$$r_{1\Sigma\text{АД2}} = 7,18; x_{1\Sigma\text{АД2}} = 4,57$$

Токи подпитки от АД1 (насос), от АД2(самая дальняя задвижка от шины), от АД3(сама ближняя задвижка к шине):

$$I_{n0\text{АД1}} = \frac{E''_{\text{ФАД1}}}{\sqrt{(x''_{\text{АД1}} + x_{1\Sigma\text{АД1}})^2 + (r''_{\text{АД1}} + r_{1\Sigma\text{АД1}})^2}} = \frac{101,83}{\sqrt{(242,42+1,132)^2 + (76,04+1,74)^2}} = 0,40 \text{ кА} \quad (52)$$

Аналогично найдем токи подпитки двух задвижек, результаты расчетов указаны в таблице 31.

Таблица 31 – результаты расчетов токов подпитки

Параметры	Двигатель пенного насоса АД1	Двигатель задвижки (дальняя от шины) АД2	Двигатель задвижка (ближняя к шине) АД3
$Z_{\text{АД}}, \text{мОм}$	254,07	48754,02	48754,02
$r_{\text{АД}}, \text{мОм}$	76,04	10888,88	10888,88
$x''_{\text{АД}}, \text{мОм}$	242,42	47522,48	47522,48
$E''_{\text{ФАД}}, \text{В}$	101,83	175,41	175,41
$r_{1\Sigma\text{АД1}}, \text{мОм}$	1,74	7,66	7,18
$x_{1\Sigma\text{АД1}}, \text{мОм}$	1,132	5,05	4,57
$I_{n0\text{АД}}, \text{кА}$	0,4	0,003	0,003

1) Рассчитаем суммарные сопротивления до точек КЗ:

КВ1:

$$r_{\Sigma\text{В1}} = 0 \text{ мОм}$$

$$x_{\Sigma\text{В1}} = x_c = 0,577 \text{ мОм}$$

К0:

$$r_{\Sigma 0} = r_{\Sigma\text{КВ4}} + r_{\text{ТР}} + r_{\text{КЛ4}} = 14,003 + 34,00 + 0,000304 = 48,003 \text{ мОм} \quad (53)$$

$$x_{\Sigma 0} = x_{\Sigma_{KB4}} + x_{c_{HH}} + x_{TP} + x_{кЛ4} = 5,083 + 70 + 0,0008 + \frac{0,006}{625} =$$

$$= 75,08 \text{ мОм}$$

2) Расчет токов трехфазного короткого замыкания:

$$I_n^{(3)} = \frac{U_{\text{ср.ном}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{r_{\Sigma}^2 + x_{\Sigma}^2}} \quad (54)$$

$$I_{K0}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{48,003^2 + 75,08^2}} = 2,59 \text{ кА}$$

Дальнейшие расчеты проводятся по аналогичному принципу.

3) Расчет токов однофазного короткого замыкания:

$$I_{kn}^{(1)} = \frac{U_{\phi}}{\frac{z_1^{(1)}}{3} + z_{пт}} \quad (55)$$

$$z_1^{(1)} = \sqrt{(r_{1r} + r_{2r} + r_{0r})^2 + (x_{1x} + x_{2x} + x_{0x})^2} \quad (56)$$

где U_{ϕ} – фазное напряжение, В; $U_{\phi} = 0,235 \text{ кВ}$;

r_{1r}, x_{1x} – активное и индуктивное сопротивление генератора тока прямой последовательности, мОм;

r_{2r}, x_{2x} – то же обратной последовательности, мОм;

r_{0r}, x_{0x} – то же нулевой последовательности;

$z_{пт}$ – сопротивление петли фаза-нуль от генератора до места КЗ, мОм.

Сопротивление контактов шин, аппаратов, трансформаторов тока при расчете однофазных токов КЗ - не учитывается.

Сопротивление петли фаза-нуль находят по формуле:

$$z_{пт} = z_{пт.уд.1} \cdot l_1 + z_{пт.уд.2} \cdot l_2 + z_{пт.уд.n} \cdot l_n \quad (57)$$

где $z_{пт.уд.1}$ – удельное сопротивление петли фаза-нуль каждого из последовательного включенных участков цепи от трансформатора до точки КЗ, мОм/м;

L – длина этого участка, м.

Принимаем $\frac{z_1^{(1)}}{3} = 47$ мОм по таблице 32.

Таблица 32 – Расчетные сопротивления масляных трансформаторов по [27]

Мощность трансформатора, кВт·А	Первичное напряжение, кВ	$Z_T/3$, Ом	
		Схема соединения трансформатора	
		Y/Y ₀	Δ/Y , Y/Y [*]
25	6-10	1,036	0,302
40	6-10	0,649	0,187
69	6-10	0,412	0,12
	20-35	0,379	0,139
100	6-10	0,259	0,0754
	20-35	0,288	0,109
160	6-10	0,162	0,047
	20-35	0,159	0,068
250	6-10	0,104	0,03
	20-35	0,102	0,0433
400	6-10	0,065	0,019
	20-35	0,063	-
630	6-10	0,043	0,014
	20-35	0,04	-
1000	6-10	0,027	0,009
	20-35	0,0256	0,0107
1600	6-10	0,018	0,0056
	20-35	0,017	0,0065
2500	6-10	-	0,0036

Рассчитаем сопротивления для точек КЗ:

$$K2: z_{пт2} = z_{пт.уд2} \cdot l_2 = 0,54 \cdot 130 = 70,2 \text{ мОм}$$

$$K5: z_{пт5} = z_{пт2} + z_{пт.уд5} \cdot l_8 = 70,2 + 1,97 \cdot 80 = 227,8 \text{ мОм}$$

$$K9: z_{пт9} = z_{пт2} + z_{пт.уд9} \cdot l_{11} = 70,2 + 0,66 \cdot 35 = 93,3 \text{ мОм}$$

Однофазные токи КЗ:

Точка К2:

$$I_{K2}^{(1)} = \frac{0,235 \cdot 10^6}{\frac{z_T^{(1)}}{3} + z_{пт}} = \frac{0,235 \cdot 10^6}{47 + 70,2} = 2005,12 \text{ A}$$

Расчет остальных точек КЗ ведется аналогично и расчеты заносим в таблицу 33.

Таблица 33 – Результаты расчетов точек КЗ

№ К _n	r _{Σn} , МОм	x _{Σn} , МОм	I _{Kn} ⁽³⁾ , кА	I _{Kn} ⁽¹⁾ , кА
K _{KB1}	0	0,577	10,00607	-
K _{KB2}	0,000304	0,57701	10,0059	-
K _{KB3}	7,000304	5,07701	0,667645	-
K ₀	41,00061	75,07782	2,699673	-
K ₁	41,65061	75,24782	2,685167	-
K ₂	41,69061	75,25582	2,684344	2005,12
K ₃	41,69124	75,25645	2,684317	2005,12
K ₄	48,69124	79,75645	2,471407	2005,12
K ₅	49,13284	79,76405	2,465146	855,17
K ₆	48,69124	79,75645	2,471407	2005,12
K ₇	49,13284	79,76405	2,465146	855,17
K ₈	42,79124	75,75645	2,654286	2005,12
K ₉	42,80124	75,75845	2,654083	1674,98

Проверка сечений кабелей по условию термической стойкости.

Расчет ведем по [29]:

$$S_{ст} = \frac{I_K^{(3)}}{C} \cdot \sqrt{t_{откл} + T_{a.ср}} \quad (58)$$

где $t_{откл} = t_{c.o} + t_a$ – время отключения КЗ;

$t_{c.o}$ – время срабатывания отсечки автоматического выключателя, с;

$$t_{c.o} = 0,1 \text{ с}$$

t_a – время гашения дуги, с;

$$t_a = 0,01 \text{ с}$$

$T_{a.ср}$ – усредненное значение времени затухания свободных токов КЗ, с;

$$T_{a.ср} = 0,03 \text{ с}$$

C – постоянная времени, зависящая от вида изоляции и материала жил кабеля, $A \cdot c / \text{мм}^2$;

Для кабелей с медными жилами и поливинилхлоридной изоляцией:

$$C = 114 A \cdot c / \text{мм}^2$$

Кабели с алюминиевыми однопроволочными жилами и бумажной изоляцией [33]

$$C = 92 A \cdot c / \text{мм}^2$$

Проверка кабеля КЛЗ - ВВГнг(А) – FRLS 5х4:

$$S_{\text{ст}} = \frac{2471}{114} \cdot \sqrt{0,1 + 0,01 + 0,03} = 8,11 \geq 4$$

Принимаем сечение кабеля КЛЗ - ВВГнг(А) – FRLS 5х16.

В таком случае, кабель от шины до задвижки:

Таблица 34 - Активные и индуктивные сопротивления при 20°C

Сечение жилы, мм^2	Активное сопротивление при 20°C, Ом/км, медной жилы	Индуктивное сопротивление, Ом/км, кабеля напряжением до 1 В
16	1,15	0,0675

$$R_{70} = 1,15(1 + 0,004(70 - 20)) = 1,38$$

$$R_{\text{клз}} = 1,38 \cdot 0,08 = 0,11 \text{ мОм}$$

$$X_{\text{клз}} = 0,0675 \cdot 0,08 = 0,0054 \text{ мОм}$$

Таблица 35 – Результаты перерасчетов точек кз

№ K_n	$r_{\Sigma n}$, мОм	$x_{\Sigma n}$, мОм	$I_{Kn}^{(3)}$, кА
K ₅	48,80124	84,26725	2,469769
K ₇	48,80124	79,76185	2,469769

Проверка кабеля КЛ2 - ВВГнг(А) – FRLS 5х16:

$$S_{\text{ст}} = \frac{2469}{114} \cdot \sqrt{0,1 + 0,01 + 0,03} = 8,11 \leq 16$$

Остальные кабели удовлетворяют условиям термической стойкости.

Таблица 36 - Таблица выбранных кабелей

Наименование кабелей	Марка кабеля, количество жил	Сечение жилы $S_{\text{ж}}$ (мм ²)
Кабель 10 кВ от ЗРП к КТП	ААБл, 4 жил	16 мм ²
Кабель от шины1 до М1 и от шины2 до М10	ВВГнг-FRLS, 5 жил	50 мм ²
Кабель от шины1-2 до двигателя задвижек М2-М9	ВВГнг-FRLS, 5 жил	4 мм ²
Кабель 0,4 кВ от КТП к ЭП	ВБбШв, 4 жил	70 мм ²

3.7 Выбор и проверка коммутационно-защитной аппаратуры

Выбираем выключатель после трансформаторов, на ДЭС, на АВР.

Выключатель автоматический ВА51- 35 250А, технические характеристики указаны в таблице 37.

Выберем по расчетному току в аварийном режиме.

Таблица 37 – Технические характеристики выключатель автоматический ВА51- 35 250А [29]

Номинальный ток, А	250
Напряжение, В	До 660
Предельная отключающая способность, кА	19

Выбираем выключатель на задвижки и ЩО.

Выключатель автоматический MS 116 1А, технические характеристики указаны в таблице 38.

Таблица 38 – Технические характеристики выключатель автоматический MS 116 [30]

Номинальный ток, А	1
Напряжение, В	До 660
Предельная отключающая способность, кА	50

Выбираем выключатель на линии от шины до насоса.

Выключатель автоматический ВА5135 160А, технические характеристики указаны в таблице 39.

Таблица 39 – Технические характеристики выключатель автоматический ВА5135 160А [29]

Номинальный ток, А	160
Напряжение, В	До 660
Предельная отключающая способность, кА	40

Выберем выключатель на ВН:

Выбираем выключатель ВБМ-10, технические характеристики указаны в таблице 40.

Таблица 40 – Технические характеристики выключатель автоматический ВБМ-10 [29]

Номинальный ток, А	16
Напряжение, кВ	10
Предельная отключающая способность, кА	20

Выбранные автоматические выключатели проверяется на способность отключить максимальный ток КЗ, в качестве которого берется расчетный ток трехфазного КЗ на выводах выключателя:

Выключатель автоматический ВА51-35 250А: $19000 \geq 2699$

Выключатель автоматический ВА5135 160А: $40000 \geq 2684$

Выключатель автоматический MS116 1А: $50000 \geq 2684$

Выключатель автоматический ВБМ-10: $20000 \geq 10006$

Выбор трансформатора тока на ДЭС:

Трансформаторы тока выбирают по:

$$U_c \leq U_{\text{ном}}$$

$$I_{\text{раб}} \leq I_{\text{ном}}$$

Выбираем ТТЕ 250/5А – 3 шт. технические характеристики указаны в таблице 41.

Таблица 41 – Технические характеристики ТТЕ 250/5А [31]

Номинальный первичный ток, А	250
Номинальный ток вторичной обмотки ТТ, А	5
Номинальное напряжение, В	Не более 600

Выбор трансформатора тока на ВН для ВБМ-10:

Выбираем ТОЛК-10, технические характеристики указаны в таблице 42.

Таблица 42 – Технические характеристики ТОЛК-10 [32]

Номинальное напряжение, кВ	10
Номинальный ток вторичной обмотки ТТ, А	5
Номинальный ток первичной, В	10

3.9 Выбор защит

Требуемые защиты согласно [33].

Защита ЛЭП: ТО, МТЗ, от ОЗЗ, от перегрузок.

Защита трансформатора: МТЗ, ТО, от перегрузок.

Защита двигателей: Защита от многофазных замыканий, защита мин. напряжения.

Защита двигателей.

Правильно настроенная защита от перегрузок не должна срабатывать при пусках и самозапуске электродвигателей [35]:

$$I_{\text{с.п.}} = \frac{K_{\text{отс}}}{K_{\text{в}}} I_{\text{ном.дв}} = (1,2 - 1,4) I_{\text{ном.дв}} \quad (59)$$

Проверка до насосов:

$$I_{\text{с.п.}} = (1,2 - 1,4)I_{\text{ном.дв}} = 1,2 \cdot 157 = 188,4 \text{ А}$$

Примем ток расцепителя $I_{\text{с.п.}} = 200 \text{ А}$:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{к}}^{(1)}}{I_{\text{с.п.}}} \geq 3 \quad (60)$$

$$\frac{1674,98}{200} = 8,24 \geq 3$$

Проверка выключателей двигателей задвижек удовлетворяют условиям.

Расчет токовой отсечки.

Отстройка автоматов от пусковых токов [35]:

$$I_o \geq K_{\text{н}} \cdot I_{\text{пуск}}$$

где $I_{\text{пуск}}$ – пусковой ток;

I_o – ток срабатывания отсечки, А;

$K_{\text{н}}$ – коэффициент надежности отстройки отсечки, для электромагнитного расцепителя принимаем 1,8.

$K_{\text{ч}}$ при однофазных КЗ должен быть больше или равен 1,5.

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{к}}^{(1)}}{I_o} \geq 1,5 \quad (61)$$

Проверка выключателя от шины до насоса:

$$I_o \geq K_{\text{н}} \cdot I_{\text{пуск}}$$

$$1250 \geq 1,25 \cdot 863,5$$

$1250 \geq 1079$ – условие по отстройке выполняется.

$K_{\text{ч}} = \frac{1916}{1250} = 1,53$ – условие по чувствительности выполняется.

Остальные выключатели так же проходят проверку.

Проверка выключателей двигателей задвижек удовлетворяют условиям
Защита минимального напряжения.

Ссылаясь на [35] для привода задвижки и пенного насоса следует применить данную защиту. Работа на сухом ходу недопустима для данных устройств.

Защита трансформатора.

Расчет по [22]:

Ток срабатывания МТЗ от перегрузки выбирается по условию:

$$I_{с.р.} = \frac{k_{отс} \cdot I_{номВН}}{k_B \cdot K_{ТТ}} \quad (62)$$

где $I_{номВН}$ – номинальный ток трансформатора ВН;

$K_{Т}$ – коэффициент трансформации трансформаторного тока;

$k_{отс} = 1,05$;

k_B – коэффициент возврата, принимаем - 0,8.

$$I_{с.р.} = \frac{1,05 \cdot 7,02}{0,8 \cdot 2} = 4,6 \text{ А}$$

Ток срабатывания ТО от междуфазных КЗ, определяется:

$$I_{с.з.}^{ТО} = k_{отс} \cdot I_{п0} \quad (63)$$

где $I_{п0}$ – максимальный ток внешнего КЗ, определяемый при повреждениях на шинах НН за трансформатором, кА.

$$I_{с.з.}^{ТО} = 1,2 \cdot 3,79 = 4,548$$

$$k_{отс} = 1,2$$

Ток срабатывания токовых реле отсечки:

$$I_{c.p.} = \frac{I_{c.з} \cdot k_{cx}}{K_{TT}} = \frac{4,548 \cdot 1}{2} = 2,274 \text{ А} \quad (64)$$

где $I_{c.з}$ — первичный ток срабатывания защиты;

k_{cx} — коэффициент схемы;

$$K_{ч} = \frac{I_{p.min}}{I_{c.p}} = \frac{2685 \cdot \sqrt{3}}{25 \cdot 2,274} = 40,9 \text{ — основная зона т. К1} \quad (65)$$

$$K_{ч} = \frac{I_{p.min}}{I_{c.p}} = \frac{2471 \cdot \sqrt{3}}{25 \cdot 2,274} = 37,64 \text{ — резервная зона т. К6}$$

где $I_{p.min}$ — минимальное значение тока в реле при металлическом двухфазном КЗ на выводах ВН защищаемого трансформатора.

МТЗ:

$$I_{c.з.} = \frac{k_H \cdot k_{сзп}}{K_B} I_{p.max} = \frac{1,2 \cdot 1}{0,8} 174,62 = 261,93 \text{ А} \quad (66)$$

где $k_{сзп}$ — коэффициент самозапуска. Самозапуск практически исключен, следовательно, $k_{сзп} = 1$ [22].

Защита ЛЭП.

Ячейки ЗРУ-10кВ обеспечивают следующие защиты ЛЭП:

1) Защита от ОЗЗ (МТЗ НП)

На кабельных линиях 6(10) кВ должна быть предусмотрена защита от однофазных замыканий на землю, в качестве которой применяется максимальная токовая защита нулевой последовательности [23].

$$I_{c.з} = k_{отс} \cdot 3I_{0л} \quad (67)$$

где $k_{отс} = 2,25$ для защит с выдержкой времени;

$I_{0л}$ — ток нулевой последовательности, обусловленный емкостью линии.

2) МТЗ-1

Первая ступень используется в качестве токовой отсечки от междуфазных КЗ:

$$I_{с.з(А)}^I \geq k_H \cdot I_{к.мах}^{(3)} \quad (68)$$

где $k_H = 1,2$ – коэффициент надежности для ТО без выдержки времени, установленных на ЛЭП [23];

$I_{к.мах}^{(3)}$ – максимальный ток КЗ в конце защищаемой линии.

3) МТЗ-2

Используется в качестве максимальной токовой защиты от междуфазных КЗ с выдержкой времени:

$$I_{с.з(А)}^{II} = k_3 I_{с.з(В)}^I \quad (69)$$

где k_3 – это коэффициент запаса;

$k_3 I_{с.з(В)}^I$ – ток срабатывания первой ступени защиты смежной линии, А.

Выдержка времени принимается II ступени защиты принимается за ступень селективности ($\Delta t = 0,4$ с) больше выдержек ступеней защиты, от которых произведена отстройка:

$$t_{с.з(А)}^{II} = t_{с.з(В)}^{I(II)} + \Delta t \quad (70)$$

Чувствительность второй ступени проверяется в случае металлического КЗ в конце защищаемой линии при минимальном режиме:

$$K_q = \frac{I_{к.мин(k2)}^{(2)}}{I_{с.з}} \geq 1,5 \quad (71)$$

4) Третья ступень от перегрузки МТЗ используется в качестве защиты от перегрузок. Ток срабатывания МТЗ-3 отстраивается от максимального тока нагрузки присоединения:

5)

$$I_{с.з} = \frac{k_3 k_{сзп}}{k_B} I_{нагр\Sigma} \quad (72)$$

где $k_3 = 1,1$ – коэффициент запаса по избирательности;

$k_{сзп} = 1,5 \dots 2,5$ – коэффициент отстройки от самозапуска двигателей;

$k_B = 0,95$ – коэффициент возврата токовых защит;

$I_{нагр\Sigma}$ – максимальный ток нагрузки, А:

$$I_{нагр\Sigma} = \frac{S_{max}}{\sqrt{3} \cdot 0,9 \cdot U_{ном}} \quad (73)$$

где S_{max} – максимальная мощность нагрузки, кВА.

Проверяется отстройка от токов срабатывания вторых или третьих ступней защит смежных линий:

$$I_{с.з.(1)} = k_3 \cdot I_{с.з.(2)} \quad (74)$$

Выдержка времени третьей ступени защиты принимается на ступень селективности больше выдержек времени защит, от которых произведена отстройка.

Чувствительность третьей ступени защиты проверяется при минимальном КЗ в конце смежного участка:

$$K_q = \frac{I_{к.мин(k3)}^{(2)}}{I_{с.з}} \geq 1,2 \quad (75)$$

Таблица 43 - Зоны защит

Коммутационный аппарат	Основная зона	Резервная зона
Автомат ЗРУ	KB3 – обеспечена яч. ЗРУ	K1 – обеспечена яч. ЗРУ
Автомат на ВН	40,9	37,64
Автомат на НН	1,65	1,28
Автомат на линии насоса	1,53	-
Автомат линии задвижки	53,45	-

ГЛАВА 4 ОХРАНА ТРУДА

4.1 Общее положение

Здоровье и работоспособность работников ООО «Уралэнергосервис» во многом зависит от производственной среды. Неблагоприятные условия плохо сказываются на его трудовых действиях и, в первую очередь, на здоровье, так как организм вынужден приспосабливаться к тем или другим факторам.

Производственная среда – взаимосвязь технических, технологических факторов и организационных факторов. Данные факторы влияют на энергетические затраты, нервно-мышечную и психическую деятельность, его здоровье и продуктивность.

В случае наличия множества вредных производственных факторов на предприятии, пагубно влияющих на здоровье и эмоциональное самочувствие персонала, может возникнуть пожар, ведь дезориентированный сотрудник не сможет качественно выполнять свою работу.

Одна из важнейших профессий рабочего по пожаробезопасности – слесарь по контрольно-измерительным приборам, т.к. он занимается ремонтом и обслуживанием пожаробезопасного оборудования (пожарных извещателей, генераторов пены, световых извещателей и др.). Производственная среда не должна влиять на его здоровье и продуктивность.

4.2 Пожаробезопасность

Современный этап развития электромашиностроения в современном мире сопровождается ростом количества и масштабов пожаров, которые наносят ущерб, как самим предприятиям, так и окружающим сооружениям, населению, природной среде. Поэтому повышение пожарной безопасности цехов и объектов производства электротехнических изделий продолжает оставаться важной задачей на сегодняшний день.

Одним из самых надежных и эффективных способов решения задач, связанных с выявлением и тушением возгораний, являются системы автоматического пожаротушения, которые, в отличие от ручных средств

пожаротушения, создают все условия для оперативной и результативной локализации возгораний с минимальным риском для жизни и здоровья.

Применение таких систем, где огнетушащее вещество при возгорании автоматически подается в защищаемое помещение, особенно оправданно при защите дорогостоящего оборудования, материалов или ценностей. Автоматические установки пожаротушения (АУПТ) позволяют ликвидировать на ранней стадии возгорание твердых, жидких и газообразных веществ, а также электрооборудования под напряжением. Эти установки можно классифицировать по их назначению, виду огнетушащего вещества, режиму работы, степени автоматизации, конструктивному исполнению, принципу действия и инерционности.

Одним из самых надежных и эффективных способов решения задач, связанных с выявлением и тушением возгораний, являются системы автоматического пожаротушения, которые, в отличие от ручных средств пожаротушения, создают все условия для оперативной и результативной локализации возгораний с минимальным риском для жизни и здоровья.

Принцип действия установок пенного пожаротушения базируется на генерации смеси, которая состоит из воды и специального вещества для образования густой пены. Вода прекрасно охлаждает поверхность возгорания, а пена образует густой слой и перекрывает доступ кислорода. В связи с этим пеной можно быстро погасить не только твердые материалы, но и горючие жидкости. Благодаря высокой стабильности пенного раствора огонь не распространяется далее и гарантированно исключает появление повторных очагов горения.

Современные пенные концентраты безопасны для жизни и здоровья человека, а их содержание – это экологически чистые компоненты, которые легко утилизируются.

4.3 Классификация условий труда

Условия труда по степени вредности и (или) опасности подразделяются на четыре класса - оптимальные, допустимые, вредные и опасные условия труда.

Оптимальными условиями труда (1 класс) являются условия труда, при которых воздействие на работника вредных и (или) опасных производственных факторов отсутствует или уровни воздействия, которых не превышают уровни, установленные нормативами (гигиеническими нормативами) условий труда и принятые в качестве безопасных для человека, и создаются предпосылки для поддержания высокого уровня работоспособности работника.

Допустимыми условиями труда (2 класс) являются условия труда, при которых на работника воздействуют вредные и (или) опасные производственные факторы, уровни воздействия которых не превышают уровни, установленные нормативами (гигиеническими нормативами) условий труда, а измененное функциональное состояние организма работника восстанавливается во время регламентированного отдыха или к началу следующего рабочего дня (смены).

Вредными условиями труда (3 класс) являются условия труда, при которых уровни воздействия вредных и (или) опасных производственных факторов превышают уровни, установленные нормативами (гигиеническими нормативами) условий труда, в том числе:

1) подкласс 3.1 (вредные условия труда 1 степени) - условия труда, при которых на работника воздействуют вредные и (или) опасные производственные факторы, после воздействия которых измененное функциональное состояние организма работника восстанавливается, как правило, при более длительном, чем до начала следующего рабочего дня (смены), прекращении воздействия данных факторов, и увеличивается риск повреждения здоровья;

2) подкласс 3.2 (вредные условия труда 2 степени) - условия труда, при которых на работника воздействуют вредные и (или) опасные производственные факторы, уровни воздействия которых способны вызвать стойкие функциональные изменения в организме работника, приводящие к появлению и развитию начальных форм профессиональных заболеваний или профессиональных заболеваний легкой степени тяжести (без потери профессиональной трудоспособности), возникающих после продолжительной экспозиции (пятнадцать и более лет);

3) подкласс 3.3 (вредные условия труда 3 степени) - условия труда, при которых на работника воздействуют вредные и (или) опасные производственные факторы, уровни воздействия которых способны вызвать стойкие функциональные изменения в организме работника, приводящие к появлению и развитию профессиональных заболеваний легкой и средней степени тяжести (с потерей профессиональной трудоспособности) в период трудовой деятельности;

4) подкласс 3.4 (вредные условия труда 4 степени) - условия труда, при которых на работника воздействуют вредные и (или) опасные производственные факторы, уровни воздействия которых способны привести к появлению и развитию тяжелых форм профессиональных заболеваний (с потерей общей трудоспособности) в период трудовой деятельности.

Опасными условиями труда (4 класс) являются условия труда, при которых на работника воздействуют вредные и (или) опасные производственные факторы, уровни воздействия которых в течение всего рабочего дня (смены) или его части способны создать угрозу жизни работника, а последствия воздействия данных факторов обуславливают высокий риск развития острого профессионального заболевания в период трудовой деятельности [36].

4.4 Меры и средства по защите от вредных (опасных) факторов на производстве

На рабочем месте слесаря есть ряд опасных и вредных производственных факторов, которые рассмотрены выше. В связи с этим рассмотрим меры и средства защиты от них.

Фактор - тяжесть и напряженность трудового процесса:

- 1) При работе за компьютером в течение часа, нужно делать перерывы 5-10 минут;
- 2) Производственный контроль;
- 3) Заземление оборудования;
- 4) Раз в год устраивать проверку знаний по электробезопасности;
- 5) Инструктажи;
- 6) Проводить медицинские осмотры;
- 7) Соблюдать требования инструкций по охране труда.

Фактор – шум:

- 1) Обеспечение СИЗ (беруши);
- 2) Ослабление шума на путях передачи;
- 3) Сокращение времени контакта с шумом.

Фактор – световая среда:

- 1) Своевременная замена ламп освещения;
- 2) Оборудовать дополнительные светильники общего назначения.

ГЛАВА 5 ЭКОНОМИКА

5.1 Обоснование инвестиционных затрат в проект автоматического пожаротушения цеха по ремонту и сборке электротехнического оборудования ООО «Уралэнергосервис»

Инвестиции, направляемые на реализацию проектных решений на ООО «Уралэнергосервис» формируются из двух составляющих. Во-первых, это единовременные затраты на проектирование в соответствии с техническим заданием. Во-вторых, это затраты на новое оборудование, включая затраты на демонтаж старого оборудования и на монтаж и наладку вновь приобретенного.

Капитальные затраты на проектные работы определяются по статьям сметы затрат проектной организации по прямым и косвенным расходам. Рассмотрим последовательно методику расчета этих статей.

Прямые расходы включают следующие статьи затрат:

- 1) затраты по заработной плате инженеров-проектировщиков;
- 2) затраты по компьютерному обеспечению проектных работ;
- 3) затраты по формированию проектной документации.

Рассчитаем затраты по заработной плате инженеров-проектировщиков. Эти затраты определяются исходя из должностного оклада инженера-проектировщика и затрат времени на разработку проектной документации по основным этапам проектирования. Характеристика этапов проектирования системы электроснабжения представлена в таблице 44.

Таблица 44 - Характеристика этапов проектирования системы автоматизации, мес.

№ п/п	Наименование этапа	Затраты времени
1	Уточнение технического задания	0,5
2	Работа с литературой	0,5
3	Разработка технических предложений	1,3
4	Разработка методики расчета	0,2
5	Разработка технологической части	2,2
6	Разработка экономической части	0,5
7	Оформление проектной документации	2
8	Утверждение проекта	0,4
ИТОГО затраты времени на проектирование		7,6

5.2 Затраты по заработной плате инженеров-проектировщиков

Фонд заработной платы инженеров-проектировщиков состоит из основной и дополнительной заработной платы. Тарифная заработная плата за месяц по месячному окладу инженера-проектировщика в проекте составляет 32400 руб./мес. Время работы на проектирование изделия известно из таблицы 43 и составляет 7,6 мес.

$$\Phi ЗП_{осн} = (ЗП_{тар} \cdot K_{пр} \cdot R_k \cdot K_{д. тар}) \cdot T_p, \quad (76)$$

где $ЗП_{тар} = 24654$ – тарифная заработная плата за месяц по месячному окладу инженера-проектировщика, руб.;

$K_{пр} = 1,4$ – коэффициент премиальных выплат по данным предприятия;

$R_k = 1,15$ – районный коэффициент;

$K_{д. тар} = 1,0$ – коэффициент доплат к тарифному фонду (ночные, бригадирские, за переработку);

$T_p = 7,6$ – время работы по проектированию изделия, мес.

$$\Phi ЗП_{осн} = (24654 \cdot 1,4 \cdot 1,15 \cdot 1,0) \cdot 7,6 = 301666,34 \text{ руб.}$$

Фонд дополнительной заработной платы включает выплаты за очередной отпуск ($\Phi ЗП_{доп}$):

$$\Phi ЗП_{доп} = \Phi ЗП_{осн} \cdot K_{доп}, \quad (77)$$

где $K_{доп} = 0,15$ – коэффициент дополнительной заработной платы, принимаемый по нормативу дополнительной заработной платы от 15 до 20%.

$$\Phi ЗП_{доп} = 301666,34 \cdot 0,15 = 45249,951 \text{ руб.}$$

Соответственно, общий фонд заработной платы составит:

$$\PhiЗП = \PhiЗП_{осн} + \PhiЗП_{дон} \quad (78)$$

$$\PhiЗП = 301666,34 + 45249,951 = 346916,291 \text{ руб.}$$

Страховые взносы составляют 30% от общего ФОТ и равны:

$$СВ = 0,3 \cdot \PhiЗП \quad (79)$$

$$СВ = 0,3 \cdot 346916,291 = 104974,88 \text{ руб.}$$

Таким образом, совокупные расходы на оплату труда инженера-проектировщика составят *497141,12 руб.*

5.3 Затраты по компьютерному обеспечению компьютерных работ

Затраты по работам на компьютере определяются по времени использования компьютера на этапах проектирования и стоимости одного часа работы компьютера. Общие затраты по компьютерному обеспечению определяются по формуле:

$$З_{ком.} = (T_p \cdot П_{см} \cdot T_{см}) \cdot C_{ч. ком.}, \quad (80)$$

где $T_p = 4,9$ – продолжительность проектирования на этапах с использованием компьютера, мес.;

$П_{см} = 20$ – количество рабочих смен в месяц в соответствии с регламента работы инженера-проектировщика, дн;

$T_{см} = 8$ – продолжительность смены, час.;

$C_{ч. ком.} = 2,0$ – затраты на компьютер за один час работы. Принимаются по данным предприятия, руб.

$$З_{ком.} = (4,9 \cdot 20 \cdot 8) \cdot 2,0 = 1568 \text{ руб.}$$

5.4 Затраты по формированию проектной документации

Затраты по формированию проектной документации принимаются по данным проектной организации на уровне 10–15% от фонда заработной платы на проектные работы. Тогда, затраты по формированию проектной документации составят:

$$З_{\text{ФОР.ПР.ДОК}} = 0,15 \cdot \text{ФЗП} = 0,15 \cdot 346916,291 = 52037,44 \text{ руб.} \quad (81)$$

Таким образом, совокупные затраты на проектирование составляют 549178,56 руб.

Далее необходимо рассчитать косвенные расходы, которые, по данным предприятия, составляют 20-25% от уровня прямых затрат на проектирование:

$$З_{\text{НАК}} = 0,25 \cdot З_{\text{ФОР.ПР.ДОК}} = 0,25 \cdot 549178,56 = 137294,64 \text{ руб.} \quad (82)$$

Смета затрат на проектные работы формируется на основе произведенных выше расчетов и представлена в таблице 45.

Таблица 45 - Смета затрат на проектные работы, руб.

№ п/п	Статьи затрат	Сумма
1.	Прямые затраты, в т.ч.	
1.1	Заработная плата на проектирование	346916,291
1.2	Страховые взносы	104974,88
1.3	Затраты по компьютерному обеспечению	1568
1.4	Затраты по оформлению проектной документации	52037,44
	ИТОГО прямые затраты	505496,611
2.	Косвенные расходы	137294,64
	ИТОГО по сметному расчету	643183,251
3.	Плановые накопления – прибыль проектной организации	64318,32
	ИТОГО по смете	707501,576

5.5 Затраты на оборудование автоматизации

Затраты на оборудование представлены в таблицах 46-47.

Таблица 46 - Инвестиционные затраты на оборудование

№ п/п	Наименование оборудования	Количество единиц, шт./м.	Цена, единицы, руб.	Общая стоимость, руб.
1	Modicon m340	1	77552,00	77552,00
2	Модуль питания CPS 2010	1	14364,07	14364,07
3	Модуль аналогового ввода ВМХ	1	35211,00	35211,00
4	Модуль дискретного ввода-вывода ВМХ	6	30896,47	185378,82
5	Кабель ВВГнг(А)-5х95	2/70	2775,45	194281,50
6	Кабель ВВГнг(А)-5х2,5	2/360 6/480	91,78	77095,20
7	Кабель КВВГЭнг(А)-5х1,5	2/70	66,69	4668,30
8	Кабель КВВГЭнг(А)-14х1,5	2/360 6/480	192,12	161380,80
9	Кабель КВВГЭ – 3х1 от Modicon m340 к задвижкам и насосам	14/2800	44,32	124040,00
10	Извещатель пожарный пламени ДПС- 038	14	3650,00	51100,00
11	Извещатель пламени ручной ИП	6	8317,00	49902,00
12	Преобразователь давления СЕНС ПД	2	24600,00	49200,00
13	Уровнемер ПМП-152	2	45600,00	91200,00
14	Термопреобразователи сопротивления ОВЕН ДТС-И	3	1110,00	3330,00
15	Станция оператора (АРМ)	1	89822,00	89822,00
16	Переносной компьютер ACER	1	47190,00	47190,00
17	Коммутатор EDS-208	1	9345,00	9345,00
18	Сервер HPE ProLiant	1	259772,00	259772,00
19	Нормализатор ADAM-3014	14	18470,00	258580,00
20	Табло Экран-С	10	11537,00	115370,00
21	Оповещатель звуковой ВС-07	10	11166,00	111660,00
ИТОГО				2010442,69

Таблица 47 - Расчет амортизационных отчислений линейным методом

№ п/п	Оборудование	Балансовая стоимость	Норма амортизации, %	Амортиза- ционные отчисления (руб.)
1	Modicon m340	77552,00	4	3102,08
2	Уровнемер ПМП-152	91200,00	4	3648,00
3	Станция оператора (АРМ)	89822,00	4	3592,88
4	Переносной компьютер ACER	47190,00	4	1887,60
5	Сервер HPE ProLiant	259772,00	4	10390,88
ИТОГО				22621,44

Исходя из расчетов, представленных в таблице 46 видно, что ежегодные амортизационные отчисления по данному перечню оборудования составляют 22621,44 руб.

5.6 Затраты на монтаж и наладку оборудования

Затраты на монтаж и наладку оборудования определяются по заработной плате рабочих наладчиков специализированной организации с учётом накладных расходов.

Заработная плата основная и дополнительная рабочих-наладчиков определяется по затратам времени на наладку тарифным ставкам видам доплат и количеству занятых рабочих. В соответствии с данными предприятия, фонд основной заработной платы рабочих-наладчиков составляет 26000 руб.:

$$\Phi ЗП_{осн} = \sum_j T_{ст. j} \cdot П_j \cdot \Phi_{вр. нм} \cdot P_k \cdot K_{д. тар} = 15000 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 1,15 \cdot 1 = 103500 \text{ руб.} \quad (83)$$

Фонд дополнительной заработной платы:

$$\Phi ЗП_{доп} = \Phi ЗП_{осн} \cdot K_{доп}. \quad (84)$$

где $K_{доп} = 0,2$ – коэффициент, учитывающий дополнительную заработную плату;

$$\Phi ЗП_{доп} = 103500 \cdot 0,2 = 20700 \text{ руб.}$$

Таким образом, общая величина заработной платы рабочих-наладчиков составит:

$$\begin{aligned} \Phi ЗП_{р.н.} &= \Phi ЗП_{осн} + \Phi ЗП_{доп}. \\ \Phi ЗП_{р.н.} &= 103500 + 20700 = 124200 \text{ руб.} \end{aligned} \quad (85)$$

Страховые взносы составляют 30% от общего ФОТ и равны:

$$CB = 0,3 \cdot \Phi ЗП_{р.н.} = 0,3 \cdot 124200 = 37260 \text{ руб.} \quad (86)$$

Косвенные расходы специализированной организации по выполнению работ у заказчика по монтажу и наладке оборудования:

$$P_{накл.} = \frac{П_{н} \%}{100} \cdot \left(\Phi ЗП_{р.н.} + \frac{П_{CB} \%}{100} \cdot \Phi ЗП_{р.н.} \right) \quad (87)$$

где $P_{накл.}$ – косвенные расходы проектной организации;

$П_{CB} \%$ – процент отчислений на страховые взносы;

$П_{н} \%$ – процент косвенных расходов от величины фонда оплаты труда с учетом страховых взносов (от 30 до 50%)

$$P_{накл.} = 30/100 \cdot (124200 + (30/100) \cdot 124200) = 48,438 \text{ руб.}$$

Инвестиционный бюджет представлен в таблице 48.

Таблица 48- Инвестиционный бюджет, руб.

№ п/п	Статьи затрат	Сумма, руб.
1	Инвестиционные затраты на проектирование	707501,576
2	Инвестиционные затраты на оборудование	450847,4
2.1	В том числе: затраты на приобретение нового оборудования	2010442,69
2.2	затраты на монтаж и наладку оборудования по основной и дополнительной заработной плате рабочих наладчиков	124200
2.3	страховые взносы	37260
2.4	накладные расходы специализированной организации по монтажу и наладке оборудования	48,438
	ИТОГО по смете инвестиционных затрат	3330300,1

Таким образом, из таблицы 47 видно, что совокупные инвестиционные затраты на реализацию проекта по автоматизации составят 3330300,1 руб.

5.7 Расчет эффективности инвестиций в проект автоматической системы пожаротушения цеха по ремонту и сборке электротехнического оборудования ООО «Уралэнергосервис»

Годовой экономический эффект от реализации проекта заключается в:

1) сокращении ущерба (к примеру простой цеха) вызванных аварийными ситуациями или необходимостью частых и продолжительных ремонтов устаревшего оборудования;

2) снижении затрат на плановое обслуживание устаревшего оборудования;

Рассмотрим более подробно каждый пункт.

Среднегодовые затраты на профилактические проверки и ремонты оборудования снизятся на 70 %, экономический эффект составит:

$$\text{Эр} = 2600000 * 0,7 = 1820000 \text{ руб.} \quad (88)$$

Годовой экономический эффект от снижения затрат на плановое обслуживание и ремонт оборудования: 1820000 руб.

Исходя из этого, оценим эффективность капитальных вложений в проект автоматизации пожаротушения цеха по ремонту и сборке ООО «Уралэнергосервис».

Существует много методов определения ставки дисконтирования. Наиболее распространенным является кумулятивный метод, предполагающий сложение трех показателей: темпа инфляции, ставки рефинансирования ЦБ РФ:

Ставка дисконтирования определена кумулятивным методом и составляет для данного проекта 22,25 %:

$$E = i + j + r = 4 + 4,25 + 14,0 = 22,25 \% \quad (89)$$

где i – темп инфляции (в соответствии с прогнозом Минэкономразвития составляет 4 %);

j – ключевая ставка ЦБ РФ (4,25 %);

r – поправка на риск, которая составляет для данного проекта 14,0 %.

Расчет чистого дисконтированного дохода представлен в таблице 49. Горизонт планирования составляет 5 лет, что обусловлено средним сроком службы необходимого оборудования.

Таблица 49 – Расчет значения 14 % поправки на риск

Номер	Фактор риска	Величина поправки на риск
1	Новизна технологии	1,4
2	Изменение цен на оборудование	3,2
3	Размер компании	2,4
4	Финансовая структура	2,1
5	Изменение цен на оборудование	2,2
6	Доходы	2,7

Таблица 50 - Расчет чистого дисконтированного дохода проекта автоматизации пожаротушения цеха ООО «Уралэнергосервис»

№ п/ п	Наименование показателя						
		0-й	1-й	2-й	3-й	4-й	5-й
1.	Экономический эффект		1820000	1820000	1820000	1820000	1820000
2.	Амортизация		22621,44	22621,44	22621,44	22621,44	22621,44
3.	Денежный поток		1 842 621,44	1 842 621,44	1 842 621,44	1 842 621,44	1 842 621,44
4.	Коэффициент дисконтирования		0,8	0,67	0,547	0,4477	0,36623

5.	Дисконти- рованный денежный поток		1507256, 802	1232929,8 99	1008531,6 15	824974,736	674825,959
6.	Дисконти- рованный доход нарастающ им итогом	- 33303 00,1	- 1823043, 3	- 590113,39 9	418418,21 55	1243392,95 2	1918218,91 1

Из таблицы 50 видно, что чистый дисконтированный доход по проекту составляет 1918218,911 руб. за 5 лет. Следовательно, можно говорить о том, что инвестиции в проект автоматизации пожаротушения цеха по ремонту и сборке ООО «Уралэнергосервис» принесут прибыль.

На рисунке 24 представлена графическая интерпретация дисконтированного срока окупаемости инвестиций.

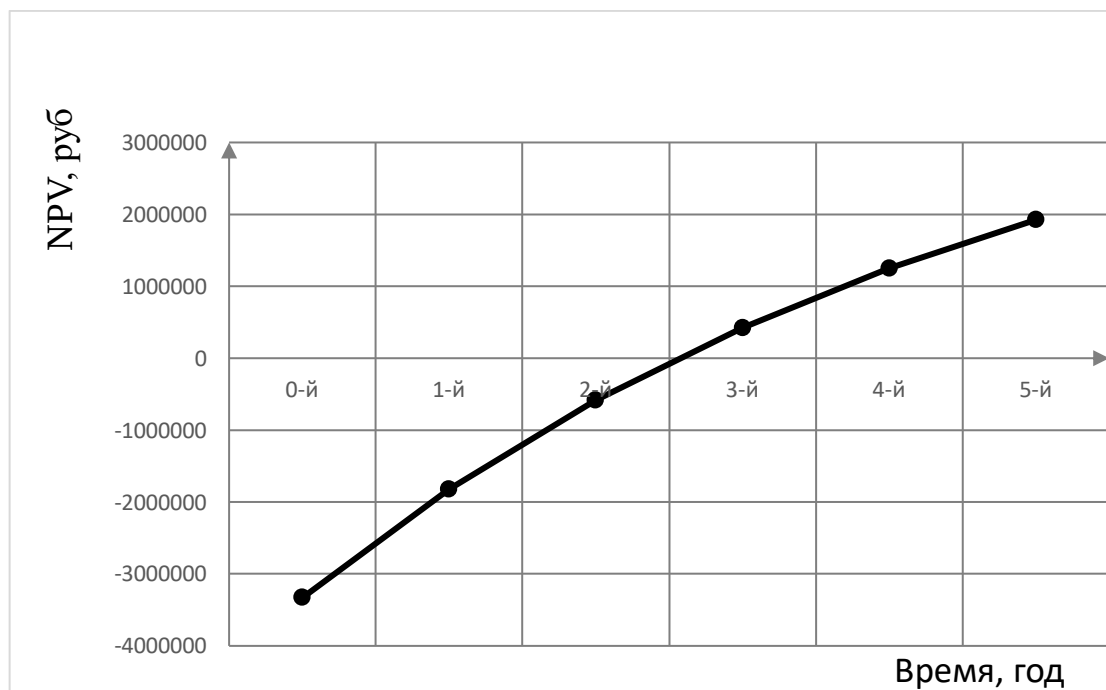


Рисунок 24 - Дисконтированный срок окупаемости инвестиций

Индекс доходности (PI), это интегральный эффект, или чистый дисконтированный доход приходящийся на 1 руб. авансированных капитальных вложений составляет 1,969:

$$PI = \frac{\sum_1^n DCF}{|IC|} \quad (90)$$

$$PI = (1507256,802 + 1232929,899 + 1008531,615 + 824974,736 + 674825,9599)/3330300,1 = 1,576$$

Проект эффективен, поскольку $PI > 1$.

Внутренняя норма доходности (IRR) для данного проекта составляет 58,78 %. Принимаем $E_2 = 80\% > E_1$, таким образом, чтобы $NPV_2 < 0$. При данных условиях NPV' составит, рисунок 25:

$$NPV' = -3330300,1 + \frac{1842621,44}{1 + 0,8} + \frac{1842621,44}{(1 + 0,8)^2} + \frac{1842621,44}{(1 + 0,8)^3} + \frac{1842621,44}{(1 + 0,8)^4} + \frac{1842621,44}{(1 + 0,8)^5} = -1148918 \text{ руб}$$

Тогда IRR составит:

$$IRR = 0,2225 + \frac{1918218,911}{(1918218,911 - (-1148918))} \cdot (0,8 - 0,2225) = 0,5878 \approx 58,78 \%$$

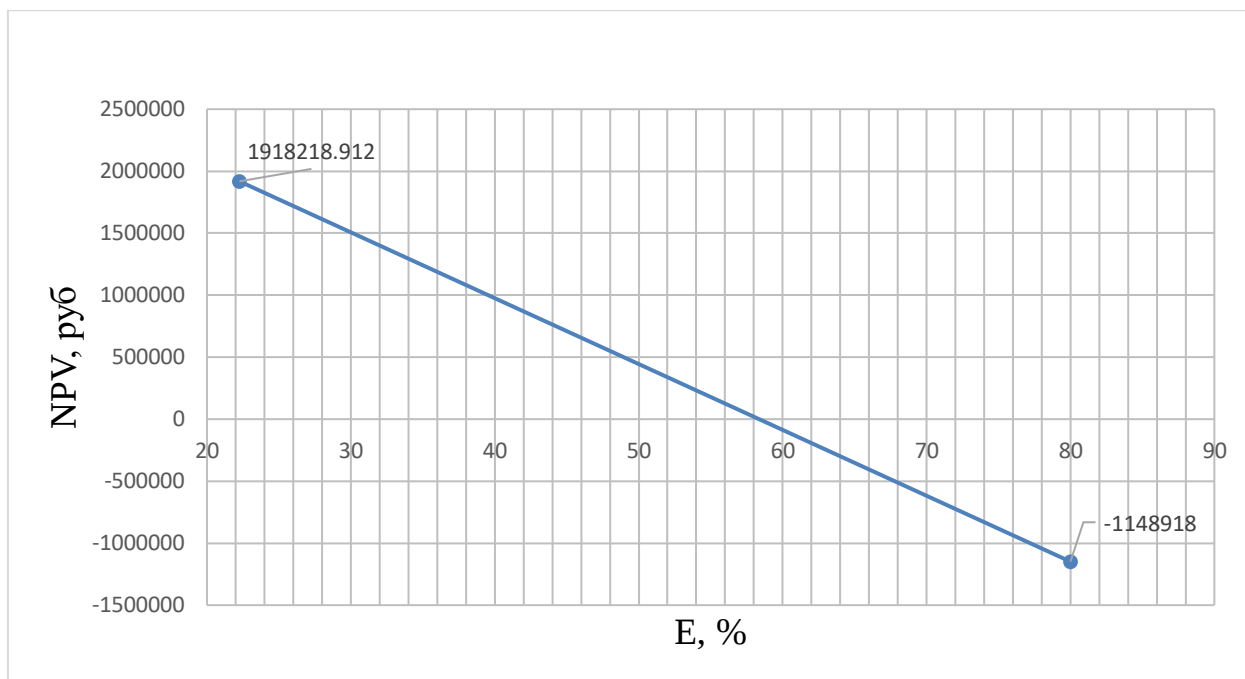


Рисунок 25 - Зависимость NPV от IRR

Все вычисленные ранее экономические показатели заносим в таблицу 51.

Таблица 51- Показатели эффективности проекта

№	Показатель	Ед. измерения	Значение
1	Инвестиции в проект	Тыс. руб.	3330300,100
2	NPV	Тыс. руб.	1918218,911
3	PI	о. е.	1,576
4	IRR	%	58,78
5	DPP	лет/месяц	2,1

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для выполнения данной автоматизации мною выбраны датчики: датчики уровня ПМП-152, датчики температуры ОВЕН ДТС-И, датчики пожаротушения ДПС (на участках цеха и складах), датчики давления СЕНС ПД (2 шт. после каждого насоса). Так же выбраны световые извещатели внутри и снаружи помещений (таблички с надписями “Пена – уходи!” и “Пена – не входить!”), помимо этого внутри и снаружи помещений расположены звуковые извещатели, с целью оповещения персонала о пожаре. Выбраны извещатели пожарные ручные, чтобы при обнаружении пожара персонал смог сам об этом сообщить.

Данные с датчиков передаются на средний уровень, а именно на дискретные и аналоговые модули ввода/вывода контроллера Modicon M340.

Выбрано 3 уровня системы автоматизации. Нижний уровень состоит из этих самых датчиков, а также устройств управления приводами. Средний уровень состоит из модулей аналогового и дискретного ввода – для получения информации от датчиков, аналогового и дискретного вывода – для управления и обмена информацией с другими устройствами. Верхний уровень системы состоит из автоматизированного рабочего места оператора (пост охраны) АРМ, переносного ПК инженера и сервера для хранения информацией.

Проведены расчеты по энергоснабжению, было выбрано 2 трансформатора ТМГ, выбраны и проверены кабели, защитная и коммутационная аппаратура. Были рассчитаны и выбраны уставки защит, обеспечивающие надежное и селективное отключение поврежденных участков сети.

В разделе охрана труда я рассмотрел должность слесаря по ремонту электрических машин и аппаратов. (В том числе ремонт оборудования пожаротушения, такие как пеногенераторы, пеносмесители и др.) Были рассмотрены такие вредные факторы как шум, свет, тяжесть трудового процесса. Я провел анализ, что все это никак не сказывается на здоровье работника и на его трудовых действиях.

Помимо этого, были проведены экономические расчеты. Инвестиционные затраты на выбранное мною оборудование составили примерно 3,3 млн рублей. В эти инвестиции входят затраты на проектирование, на само оборудование, его монтаж и наладку. Чистый дисконтированный доход за 5 лет составил чуть меньше 2 млн., а сам проект окупится уже на третий год.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Бабуров, В.П. Производственная и пожарная автоматика / В.П. Бабуров, В.В. Бабурин, В.И. Фомин, В.И. Смирнов // Производственная и пожарная автоматика. Ч. 2. Автоматические установки пожаротушения: Учебник. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2007.

2 ГОСТ 12.3.046-91 Система стандартов безопасности труда. Установки пожаротушения автоматические. Общие технические требования. – М: ИПК Издательство стандартов, 2002.

3 Научно-производственное предприятие “Сенсор” [Электронный ресурс]: Режим доступа -<http://www.nppsensor.ru/product/150/specification>

4 Программирование ПЛК Modicon M340 с помощью ПО Unity Pro, Процессорные модули, корзины и модули питания, Руководство по конфигурированию и монтажу. Ноябрь, 2017.

5 Платформа автоматизации Modicon M340. Каталог, 2017.

6 МОХА. Каталог. [Электронный ресурс]. Режим доступа - <https://moxa.pro/catalog/eds-208>

7 Овен, оборудование для автоматизации. [Электронный ресурс]. Режим доступа - https://owen.ru/product/dtshh5_termosoprotivleniya_s_vihodnim_signalom_420_ma

8 Спецарматура, интернет-магазин. Каталог. [Электронный ресурс] Режим доступа - https://spb.specarmatura.ru/catalog/zadvizhka_30s941nzh_pod_privod/zadvizhka_30s941nzh_du150/?r1=yandext&r2=&ymclid=16055238160090971643100001

9 ЗАО “Вива Телеком” - [Электронный ресурс]. Каталог. Режим доступа - <https://viva-telecom.org/8935/advantech/ppc-154t/>

10 Tankiz. Каталог. [Электронный ресурс]. Режим доступа - <https://tankiz.com/dps-038-teplovoy-pozharnyy-izveshchatel-18436/characteristics>

11 ТФК, фирменный магазин HP. [Электронный ресурс]. Режим доступа - <https://www.tfk.ru/products/servers/hp-proliant-ml/ml-350/p11051-421.html>.

- 12 Паспорт 4371-007-43082497-05004 ПС “Оповещатель пожарный, Экран – С”, 2016. ЗАО Эридан. Режим доступа – www.eridan.ru.
- 13 Паспорт 4371-015-43082497-09-01 ПС “Оповещатель пожарный MQVN-900-R 12-24VDC ”, 2020. ЗАО Эридан. Режим доступа – www.eridan.ru.
- 14 Паспорт 4371-006-43082497-04-02 ПС “Извещатель пожарный ручной”, 2020. ЗАО Эридан. Режим доступа – www.eridan.ru
- 15 Киреева, Э.А. Электроснабжение цехов промышленных предприятий/ Киреева Э.А., Орлов В.В., Старкова Л.Е. – Москва, 2003.
- 16 Беляев, А.В. Выбор аппаратуры, защит и кабелей в сетях 0,4 кВ/ Беляев А.В. – Санкт-Петербург, 2008.
- 17 Гост 28249.
- 18 Указания по расчетам электрических нагрузок РТМ 36.18.32.4-92.
- 19 Правила устройства электроустановок (7-е издание) – Москва, 2013.
- 20 Радкевич В. Н./Выбор электрооборудования систем электроснабжения промышленных предприятий/ Радкевич В. Н., Козловская В. Б., Колосова И. В.– Минск, 2017.
- 21 Соловьев А.Л. Защита асинхронных электрических двигателей напряжением 0,4 кВ: Учебное пособие. – Санкт – Петербург, 2007.
- 22 Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов – Москва, 2002.
- 23 ГОСТ Р МЭК 60287-1-1- 2009. Кабели электрические. Расчет номинальной токовой нагрузки – Москва, 2009.
- 24 Электродвигатели асинхронные трехфазные серии 5АИ и АИР общепромышленные. Руководство по эксплуатации.
- 25 Карпов Ф.Ф. / Как проверить возможность подключения к электрической сети двигателей с короткозамкнутым ротором. – Москва, 2009.
- 26 Форма 636-92.
- 27 “ЭСМ” [электронный ресурс]: каталог выпускаемой продукции. - Режим доступа: <https://fsk-nsk.ru/transformatory/transformatory-silovye-raspredelitelye-maslyanye-tm-tmg/transformatory-razedinitelnye-silovye-maslyanye-serii-tmg/tmg-100-10-6-0-4-kv>

28 “ПСМ” [электронный ресурс]: каталог выпускаемой продукции. Режим доступа: https://www.powerunit.ru/about_company/articles/how_to_choose_diesel_genset_power/

29 “Электроэнергетика” [электронный ресурс]: каталог. Режим доступа: <https://forca.ru/spravka/shiny-i-tokoprovody/tehnicheskie-harakteristiki-shinoprovodov-shra-4.html>

30 “Электро-Профи” [электронный ресурс]: каталог. Режим доступа: http://www.elprom-st.ru/uploads/Products/product_507/MS_116.pdf

31 “ЭТМ” [электронный ресурс]: каталог. Режим доступа: <https://www.etm.ru/cat/nn/2033312/#>

32 “ЭТК ОНИКС” [электронный ресурс]: каталог. Режим доступа: <https://etk-oniks.ru/articles/transformatory/transformatory-toka/klass-napryazheniya-tt-2-10kv/transformatory-toka-tolk-10-tolk-10-2/>

33 “Быстрокабель” [электронный ресурс]: каталог выпускаемой продукции. Режим доступа: <https://bystrokabel.ru/item/aabl-10kv/aabl-3h25---10kv>

34 Проект автоматизации системы пожаротушения ООО «Уралэнергосервис».

35 Инструкция по охране труда для слесаря по ремонту электрических машин и аппаратов. г. Ижевск, 2020.

36 [Федеральный закон от 28.12.2013 N 426-ФЗ \(ред. от 27.12.2019\) "О специальной оценке условий труда"](#)