

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

Институт **Энергетический (ЭНИН)**

Направление подготовки **13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника**

Кафедра **Электроснабжение промышленных предприятий (ЭПП)**

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Проектирование системы электроснабжения вагоноремонтного завода

УДК 621.31.031:629.44/46

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А3Д	Харченко Алексей Иванович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
старший преподаватель	Сарсикеев Ермек Жасланович	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
старший преподаватель	Потехина Нина Васильевна			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Дашковский Анатолий Григорьевич	К.Т.Н., доцент		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Электроснабжение промышленных предприятий	Сурков Михаил Александрович	К.Т.Н.		

Томск – 2017 г.

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

Институт **Энергетический (ЭНИН)**
Направление подготовки **13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника**
Кафедра **Электроснабжение промышленных предприятий (ЭПП)**

УТВЕРЖДАЮ:
И. о. зав. кафедрой ЭПП

(Подпись) _____ (Дата) **Сурков М.А.**
(Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
5А3Д	Харченко Алексею Ивановичу

Тема работы:

Проектирование системы электроснабжения вагоноремонтного завода	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	от 15.02.2017 №969/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Объектом исследования является механический цех вагоноремонтного завода. В качестве исходных данных представлены: - генеральный план завода; - план механического цеха; - сведения об электрических нагрузках вагоноремонтного завода; - сведения об электрических нагрузках механического цеха.
---------------------------------	--

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<ul style="list-style-type: none"> - постановка задачи проектирования; - проектирование системы электроснабжения рассматриваемого завода; - детальное рассмотрение особенностей трансформаторных подстанций в системах электроснабжения с последующим выбором цеховых трансформаторов; - обсуждение результатов выполненной работы; - разработка раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»; - разработка раздела «Социальная ответственность»; - заключение.
Перечень графического материала	<ul style="list-style-type: none"> - картограмма электрических нагрузок предприятия; - план внутризаводского электроснабжения; - однолинейная схема цеха - эпюра отклонения напряжения - карта селективности действия аппаратов защиты - специальная часть.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
<i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Потехина Нина Васильевна
Социальная ответственность	Дашковский Анатолий Григорьевич
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
старший преподаватель	Сарсикеев Ермек Жасланович	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А3Д	Харченко Алексей Иванович		

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

Студенту:

Группа	ФИО
5А3Д	Харченко Алексею Ивановичу

Институт	Энергетический	Кафедра	Электроснабжение промышленных предприятий (ЭПП)
Уровень образования	бакалавр	Направление/специальность	13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Стоимость материальных ресурсов определялась исходя из средней стоимости по г. Томску. Зарботная плата рассчитывалась в соответствии с окладами сотрудников НИ ТПУ
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Премияльный коэффициент – 0,3; коэффициент доплат и надбавок – 0,1; районный коэффициент – 1,3
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Размер страховых взносов – 27,1%

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Анализ конкурентных технических решений, QuaD анализ
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Планирование научного исследования: составление перечня этапов работ, определение трудоемкости выполнения работ, составление календарного план-графика выполнения работ. Формирование бюджета научного исследования: расчет материальных затрат, заработной платы исполнителей темы, отчислений во внебюджетные фонды, накладных расходов.
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	Расчет интегрального показателя ресурсной эффективности научного исследования

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. <i>Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений</i>
2. <i>QuaD оценка схем ГПП</i>
3. <i>Календарный план-график проведения исследований</i>
4. <i>Бюджет затрат НИИ</i>
5. <i>Оценка ресурсной эффективности НИИ</i>

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
старший преподаватель	Потехина Нина Васильевна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А3Д	Харченко Алексей Иванович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5А3Д	Харченко Алексею Ивановичу

Институт	Энергетический	Кафедра	Электроснабжение промышленных предприятий (ЭПП)
Уровень образования	бакалавр	Направление/специальность	13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<i>1. Описание рабочего места</i>	Помещение закрытого типа с естественной вентиляцией воздуха. Помещение имеет как естественный, так и искусственный источник света. Основное рабочее оборудование ПЭВМ.
<i>2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме</i>	ГОСТ 12.0.003-74 (с измен. 1999 г.), СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03, СН 2.2.4/2.1.8.562-96, СН 2.2.4/2.1.8.556-96

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<i>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды</i>	- Вредные факторы возникают при работе на ПЭВМ; - Негативные факторы: электромагнитное и ионизирующее излучение, шум.
<i>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды</i>	- В розетках установлены удлинители (эл. сеть перегружена); - Физические опасные факторы: электрический ток.
<i>3. Охрана окружающей среды</i>	Бытовые отходы. Отходы, образующиеся при поломке ПЭВМ.
<i>4. Защита в чрезвычайных ситуациях</i>	Возможные ЧС: пожар.
<i>5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности</i>	Использовать оборудования и мебель согласно антропометрическим данным.

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Дашковский Анатолий Григорьевич	к.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А3Д	Харченко Алексей Иванович		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 141 с., 19 рис., 46 табл., 34 источника, 5 приложений.

Ключевые слова: система электроснабжения, расчетная нагрузка, картограмма нагрузок, трансформаторы, высоковольтное и низковольтное оборудование, ток короткого замыкания, карта селективности, однолинейная схема, финансовый менеджмент, социальная ответственность.

Объектом исследования является механический цех вагоноремонтного завода.

Цель работы – разработка системы электроснабжения механического цеха и вагоноремонтного завода.

В процессе выполнения работы произведен поэтапный расчет электрических нагрузок предприятия в целом и рассматриваемого цеха, выбор основного оборудования, а также произведены проверки выбранного оборудования.

В результате исследования были спроектированы системы электроснабжения механического цеха и вагоноремонтного завода.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: исследуемый завод состоит из 14 цехов, из них два цеха относятся к первой категории по степени надежности электроснабжения, напряжение питающей линии 110 кВ, рабочие напряжения внутри завода 6 и 0,4 кВ.

Область применения: предприятия РЖД.

СОДЕРЖАНИЕ

	С.
ВВЕДЕНИЕ.....	10
1. Исходные данные.....	12
2. Расчет электрических нагрузок.....	17
2.1. Описание технологии производства.....	17
2.2. Определение схемы электроснабжения цеха.....	18
2.3. Расчет электрических нагрузок механического цеха.....	19
2.4. Определение расчетной нагрузки предприятия в целом.....	25
3. Построение картограммы нагрузок и определение условного центра электрических нагрузок.....	32
4. Выбор количества, мощности и расположения цеховых трансформаторных подстанций с учетом компенсации реактивной мощности.....	37
5. Выбор числа и мощности трансформаторов ГПП.....	43
6. Построение суточного графика нагрузки.....	45
7. Выбор сечения и проверка линии, питающей ГПП.....	48
8. Выбор сечений кабельных линий 6 кВ.....	50
9. Расчет токов короткого замыкания в сети выше 1000 В.....	54
9.1. Определение сопротивлений схемы замещения.....	54
9.2. Расчет токов КЗ.....	55
9.3. Проверка сечений КЛ на термическую стойкость к токам КЗ.....	60
10. Выбор высоковольтного оборудования.....	62
10.1. Выбор схемы ГПП.....	62
10.2. Выбор трансформаторов собственных нужд.....	63
10.3. Выбор контрольно-измерительных приборов.....	65
10.4. Выбор трансформаторов напряжения.....	65
10.5. Выбор трансформаторов тока.....	67
10.6. Выбор разъединителей.....	70
10.7. Выбор высоковольтных выключателей.....	71
10.8. Выбор предохранителей.....	76

10.9. Выбор ограничителей перенапряжения.....	76
11. Электроснабжение механического цеха.....	77
11.1. Выбор силовых распределительных пунктов.....	78
11.2. Выбор автоматических выключателей.....	79
11.3. Выбор сечений цеховой электрической сети.....	85
12. Проверка внутрицеховой сети по потерям напряжения.....	90
12.3. Расчет нагрузок режима максимальных нагрузок.....	90
12.2. Расчет нагрузок режима минимальных нагрузок.....	91
12.3. Расчет нагрузок послеаварийного режима.....	92
12.4. Расчет режимов.....	92
13. Расчет токов короткого замыкания до 1000 В.....	98
14. Построение карты селективности действия аппаратов защиты.....	103
15. Расчет рабочего освещения механического цеха.....	105
15.1 Выбор типа и количества светильников.....	105
15.2. Выбор сечений проводников.....	106
15.3 Выбор групповых щитков освещения.....	107
15.4 Выбор аппаратов защиты.....	107
16. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение... 108	
16.1 Анализ конкурентных технических решений.....	108
16.2 Оценка при помощи технологии QuaD.....	110
16.3 Планирование научно-исследовательской разработки.....	111
16.4 Бюджет научно-технического исследования.....	116
17. Социальная ответственность.....	121
17.1 Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды.....	121
17.2 Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды.....	124
17.3 Охрана окружающей среды.....	126
17.4 Защита в чрезвычайных ситуациях.....	127
17.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности... 129	

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	132
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	135
Приложение 1.....	137
Приложение 2.....	138
Приложение 3.....	139
Приложение 4.....	140
Приложение 5.....	141

ВВЕДЕНИЕ

Система электроснабжения – это совокупность электроустановок для передачи и распределения электрической энергии, обеспечивающих требования технологического процесса путем подачи электроэнергии от источников питания к потребителям в необходимом количестве и требуемого качества. Система электроснабжения предприятия должна обеспечивать удобство и безопасность обслуживания, требуемое качество электроэнергии в нормальном и послеаварийных режимах, кроме того, она должна быть экономичной. Поэтому для выполнения вышеизложенных требований необходимо на стадии проектирования обеспечить построение оптимальной системы электроснабжения.

Данная работа посвящена рассмотрению системы электроснабжения вагоноремонтного завода в общем и конкретно механического цеха.

Целью работы является проверка знаний дисциплин, которые были предусмотрены учебным планом, а также развитие у выпускника навыков самостоятельного решения практических вопросов проектирования систем электроснабжения промышленных предприятий.

Рассматриваемый вагоноремонтный завод имеет в своем составе нагрузки I, II, и III категории по степени надежности электроснабжения. В состав завода входят различные цеха, каждый выполняет свою роль, поставленную администрацией предприятия в соответствии с технологическим процессом. Производство продукции осуществляется посменно, цеха работают в 2 смены по 8 часов каждая.

Процесс выполнения данной работы предусматривает следующие этапы:

Во-первых, расчет нагрузки механического цеха методом коэффициента расчетной мощности. Цель данного этапа – изучение упомянутого метода и закрепление навыков его использования.

Во-вторых, расчет электрической нагрузки всего предприятия с учетом осветительной нагрузки цехов и территории предприятия, потерь мощности в

трансформаторах цеховых подстанций, ГПП и линиях. Для высоковольтных и низковольтных нагрузок расчет производится отдельно.

В-третьих, построение картограммы электрических нагрузок с целью определения наиболее оптимального места расположения ГПП на территории предприятия.

В-четвертых, расчет схемы внутризаводского электроснабжения. На данном этапе производится выбор числа и мощности цеховых трансформаторных подстанций и схемы их электроснабжения.

В-пятых, выбор напряжения питающей сети завода, сечения проводов, выбор мощности трансформаторов ГПП.

В-шестых, расчет токов короткого замыкания в сети выше 1000 В для проверки правильности выбора сечений проводников

На последнем этапе производится расчет электроснабжения механического цеха, который включает в себя: распределение приемников по пунктам питания; определение расчетных нагрузок по пунктам питания; выбор сечений питающей сети по длительно допустимой токовой нагрузке и проверка их по потере напряжения; выбор силовой распределительной сети и аппаратов защиты; построение эпюр отклонения напряжения от ГПП до наиболее мощного ЭП, расчет токов короткого замыкания в сети ниже 1000В для построения карты селективности действия защитных аппаратов.

1. Исходные данные

Целью исследования является разработка системы электроснабжения вагоноремонтного завода, генеральный план которого изображен на рисунке 1.1.

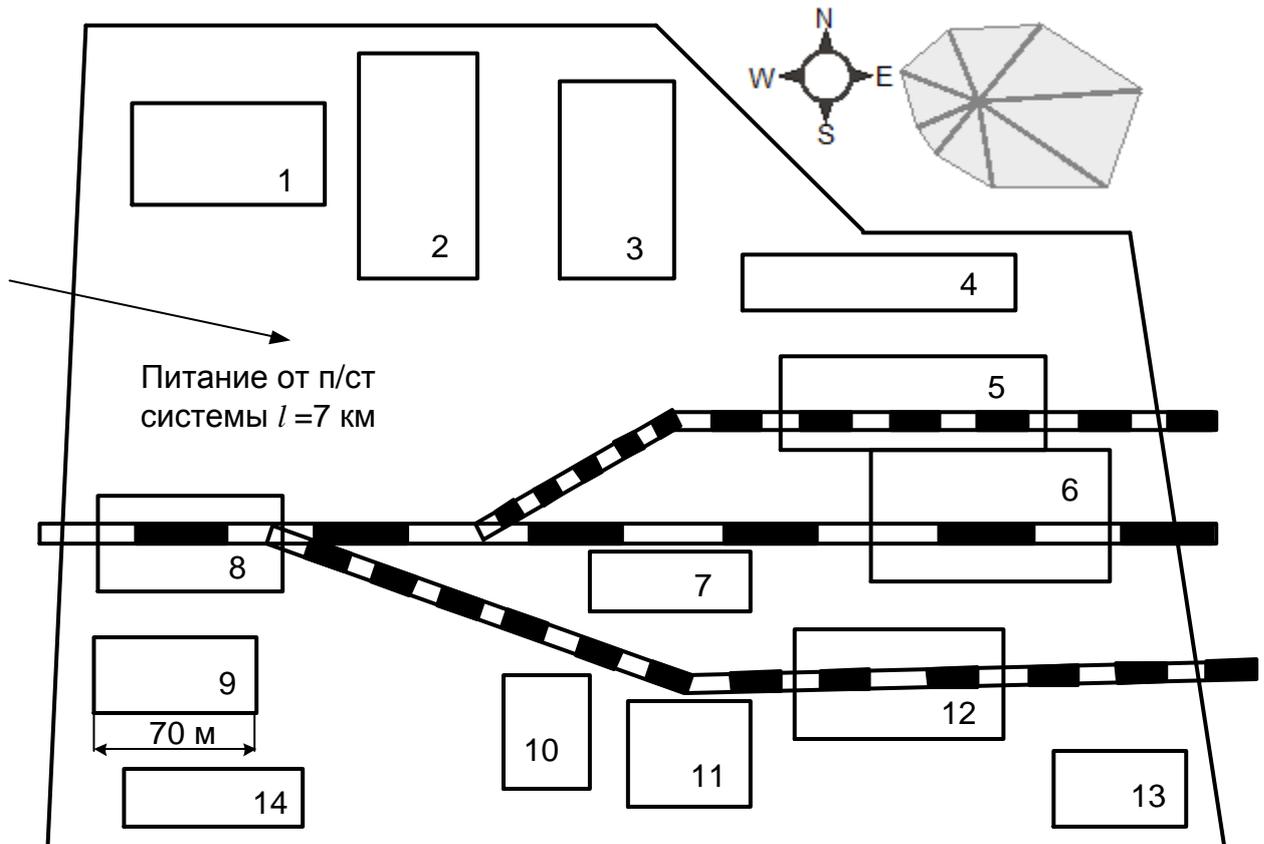


Рисунок 1.1 – Генеральный план вагоноремонтного завода

Таблица 1.1 – Сведения об электрических нагрузках по цехам вагоноремонтного завода

№	Наименование цеха		Установленная мощность, кВт
1	Пилорама		1400
2	Литейный	6 кВ	4600
		0,38 кВ	2500
3	Кузнечный		350
4	Склад		150
5	Подъемный		110
6	Колесный		1100
7	Инструментальный		1200
8	Покрасочный		650
9	Деревообрабатывающий		670
10	Котельная		510
11	Компрессорный	6 кВ (СД)	410
		0,38 кВ	55
12	Сварочный		850
13	Механический		-
14	Заготовительный		170

Таблица 1.2 – Характеристика производственных помещений

№	Наименование цеха		Категория ЭП по надежности	Характеристика среды
1	Пилорама		III	пожароопасная
2	Литейный	6 кВ	I	жаркая
		0,38 кВ		
3	Кузнечный		II	жаркая
4	Склад		III	нормальная
5	Подъемный		II	нормальная
6	Колесный		II	нормальная
7	Инструментальный		III	нормальная
8	Покрасочный		II	химически активная
9	Деревообрабатывающий		II	пыльная
10	Котельная		I	жаркая, пыльная
11	Компрессорный	6 кВ (СД)	II	нормальная
		0,38 кВ		
12	Сварочный		II	взрывоопасная
13	Механический		II	нормальная
14	Заготовительный		III	нормальная

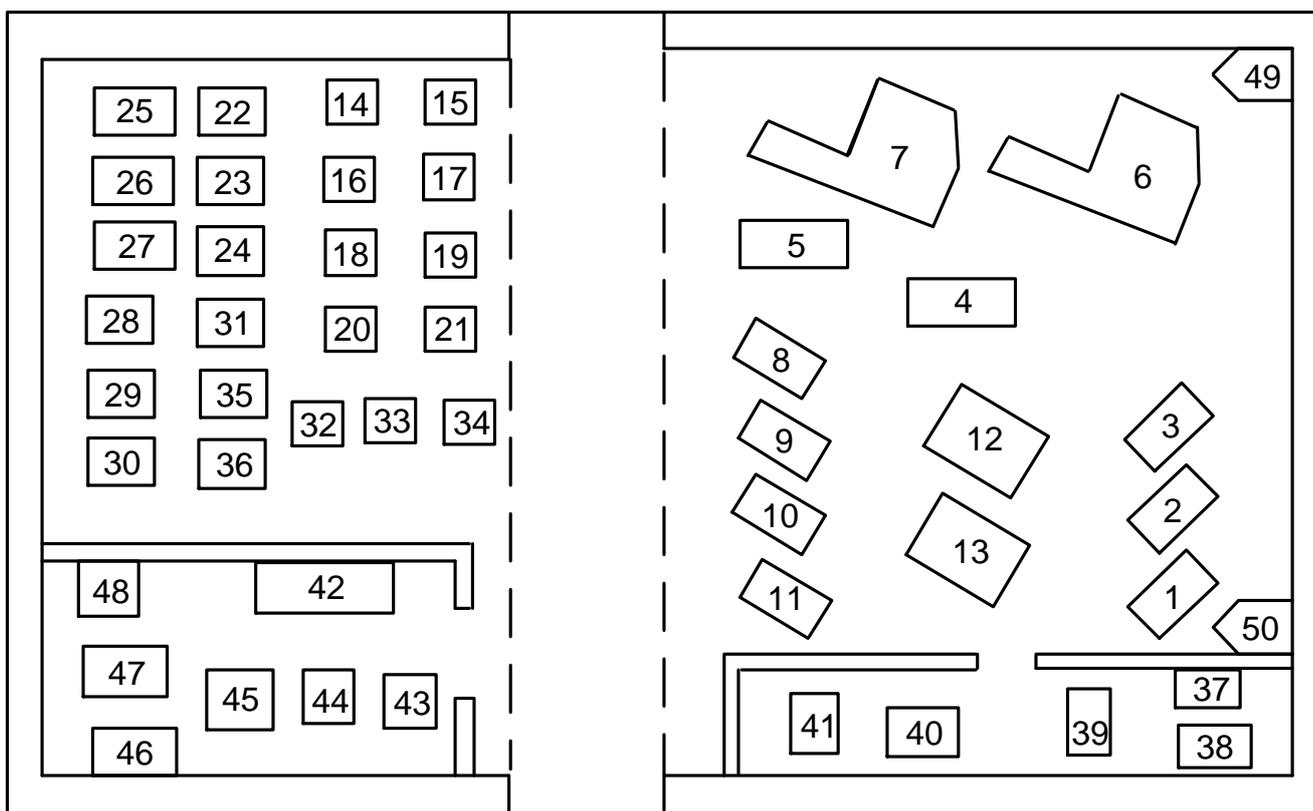


Рисунок 1.2 – План механического цеха

Таблица 1.3 – Сведения об электрических нагрузках механического цеха

Номер на плане	Наименование электрооборудования	P_H , кВт	$K_{и}$	$\cos\varphi$
1-3	Вертикально-фрезерный станок	8	0,12	0,5
4, 5	Фрезерный станок с ЧПУ	20	0,6	0,7
6, 7	Универсально-фрезерный станок	11	0,12	0,5
8-11	Токарно-револьверный станок	6	0,12	0,5
12, 13	Токарно-винторезный станок	12	0,12	0,5
14-21	Настольно-сверлильный станок	6	0,12	0,5
22-24	Резьбонарезной полуавтомат	2,2	0,12	0,5
25, 26	Заточной станок	5	0,12	0,5
27	Листозагибочная машина	22	0,2	0,65
28-31	Точильно-шлифовальный станок	7	0,12	0,5
32-34	Вертикально-сверлильный станок	3	0,12	0,5

Продолжение таблицы 1.3

35, 36	Радиально-сверлильный станок	9	0,12	0,5
37, 38	Универсально-заточной станок	10	0,12	0,5
39	Плоскошлифовальный станок	19	0,14	0,5
40, 41	Полировальный станок	5	0,12	0,5
42	Сварочная машина	9	0,2	0,7
43-48	Сварочная кабина	8	0,25	0,6
49, 50	Вентиляторы	10	0,8	0,85

2. Расчет электрических нагрузок

2.1. Описание технологии производства

Вагоноремонтный завод осуществляет ремонт вагонов, колесных пар, покрасочные работы, изготовление деталей и запасных частей, а также модернизацию вагонов. В состав завода входят основные, заготовительные (обрабатывающие) и вспомогательные цеха.

Основными цехами завода являются – подъемный, колесный, сварочный и покрасочный.

В подъемном цеху вагоны поднимаются подъемными кранами или домкратами, из под них выкатываются тележки, которые также подлежат ремонту. На время ремонта вагон оборудуется ложными тележками.

Колесный цех производит ремонт ходовой части вагонов, к которой относятся тележки, колесные пары, пружины и роликовые подшипники.

В сварочном цеху производится сборка вагонов, сварочные и газорезочные работы.

В покрасочном цеху осуществляется мойка вагонов и ходовых частей, покраска вагонов, а также их составных частей.

К заготовительным и обрабатывающим цехам относятся – литейный, кузнечный, деревообрабатывающий, механический и заготовительный.

В литейном цеху осуществляется производство различных отливок.

Кузнечный цех изготавливает заготовки методом свободной ковки и детали методом холодной и горячей штамповки.

В механическом цехе происходит обработка деталей после их изготовления в литейном и кузнечном цехах. Также здесь изготавливаются шплинты, гайки, болты, валики и осуществляется ремонт деталей рычажной передачи.

В заготовительном цехе производится раскрой и резка металла, необходимого размера, штамповка шайб, заготовок на гайки, болты и валики.

Деревообрабатывающий цех предназначен для обработки древесины и изготовления из нее деталей определенных размеров и формы. Основная продукция цеха – бруски для платформ цистерн, дверные и оконные блоки.

Вспомогательные цеха не создают никакой продукции, они предназначены для обслуживания основных и заготовительных цехов. К ним относятся пилорама, компрессорный и инструментальные цеха, склад и котельная.

Компрессорный цех обеспечивает основные и заготовительные цеха сжатым воздухом под высоким давлением.

Инструментальный цех осуществляет ремонт и изготовление инструментов и приспособлений.

Котельная предназначена для отопления цехов и подачи горячей воды и пара.

На складе хранится продукция, поступающая с заготовительных и обрабатывающих цехов, и по мере необходимости используется для работы основных цехов.

2.2 Определение схемы электроснабжения цеха

Для проведения расчета электрических нагрузок цеха методом коэффициента расчетной активной мощности, прежде всего, необходимо проработать схему электроснабжения цеха.

В механическом цехе окружающая среда не оказывает вредного влияния на электросети (отсутствует технологическая пыль, газы и пары; относительная влажность воздуха не превышает 60% при 20°C); электроприемники, расположенные в цехе, относятся ко II категории по надежности электроснабжения, что позволяет применить магистральную схему электроснабжения электроприемников цеха. Однако взаимное расположение электроприемников делает нецелесообразным питание их по магистральной схеме, поэтому будет использована радиальная схема.

Достоинствами радиальной схемы являются: высокая надежность; удобство эксплуатации; легко применимы устройства автоматики.

К основным недостаткам данной схемы относятся: высокая стоимость из-за большого расхода проводникового материала и коммутационной аппаратуры; трудности при реконструкции сети.

Схема электроснабжения механического цеха приведена на рисунке 2.2.1.

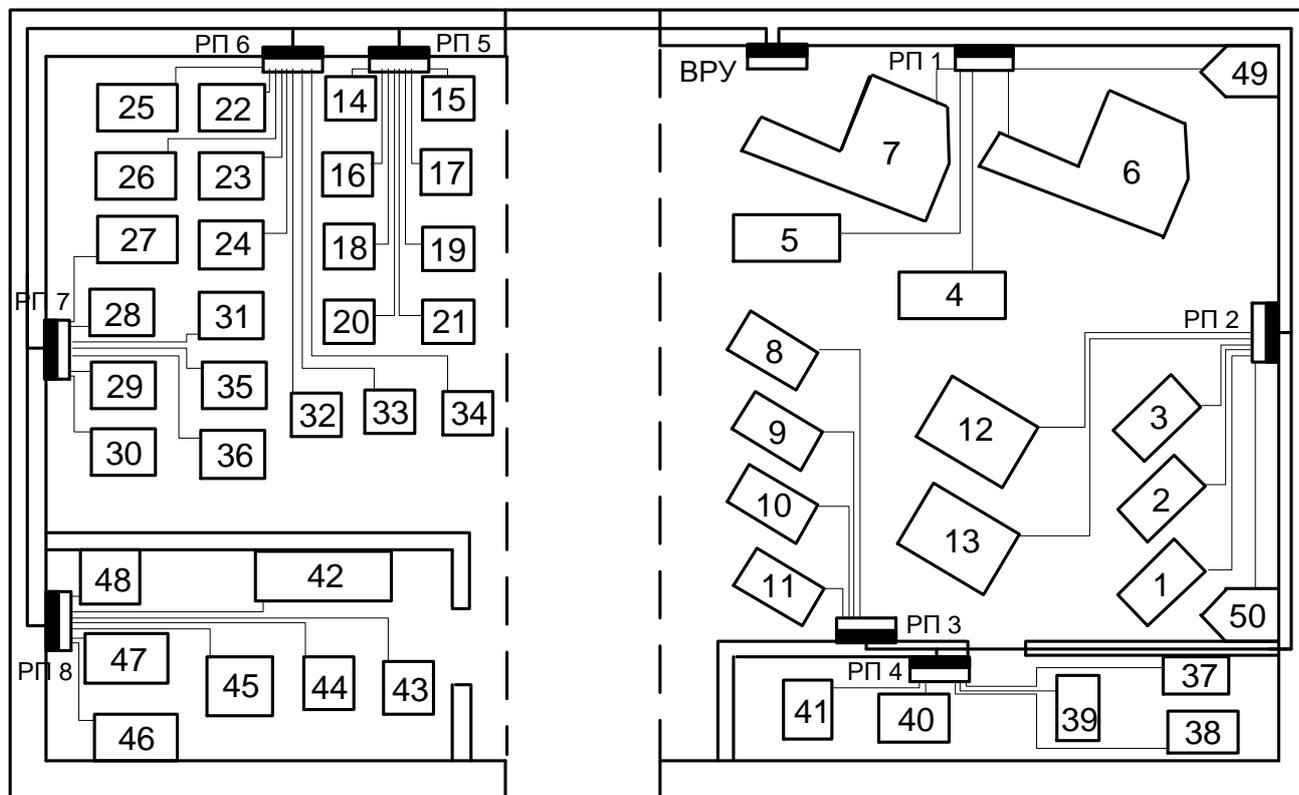


Рисунок 2.2.1 – Схема электроснабжения механического цеха

2.3 Расчет электрических нагрузок механического цеха

Произведем расчет электрических нагрузок механического цеха с использованием метода коэффициента активной мощности.

Пример расчета для РП1:

Расчет силовой нагрузки.

От РП1 будут получать питание 5 ЭП.

По исходным данным заполним графы с 1 по 4, а исходя из справочных данных графы 5-6 таблицы 2.3.1.

Рассчитаем величины (графы 7 и 8) $k_H \cdot P_H$ и $k_H \cdot P_H \cdot \text{tg}\varphi$, а так же определим суммарное значение этих величин:

$$\sum k_H \cdot P_H = 0,6 \cdot 40 + 0,12 \cdot 22 + 0,8 \cdot 10 = 34,64 \text{ кВт};$$

$$\sum k_H \cdot P_H \cdot \operatorname{tg} \varphi = 24 \cdot 1,02 + 2,64 \cdot 1,73 + 8 \cdot 0,62 = 34,01 \text{ кВар.}$$

Определим средневзвешенный коэффициент использования:

$$K_H = \frac{\sum k_H \cdot P_H}{\sum P_H} = \frac{34,64}{72} = 0,48.$$

Для графы 9 определим расчетные величины $n \cdot p_H^2$, а так же сумму значений этих величин:

$$\sum n \cdot p_H^2 = 2 \cdot 20^2 + 2 \cdot 11^2 + 1 \cdot 10^2 = 1142 \text{ кВт.}$$

Найдем эффективное число электроприемников:

$$n_{\text{Э}} = \frac{(\sum P_H)^2}{\sum (n \cdot p_H^2)} = \frac{(72)^2}{1142} = 4,54 \approx 4.$$

Найдем коэффициент расчетной нагрузки K_P :

Если $y = K_P$, $x = K_H$, то K_P будет вычисляться по формуле (2.3.1):

$$y = y_1 - \frac{y_1 - y_2}{x_2 - x_1} \cdot (x - x_1). \quad (2.3.1)$$

Для РП1: $y_1 = 1,25$, $y_2 = 1,21$, $x_1 = 0,4$, $x_2 = 0,5$, $x = 0,48$.

$$K_P = y = 1,25 - \frac{1,25 - 1,21}{0,5 - 0,4} \cdot (0,48 - 0,4) = 1,22.$$

Вычислим расчетную активную мощность РП1:

$$P_P = K_P \cdot \sum k_H \cdot P_H = 1,22 \cdot 34,64 = 42,26 \text{ кВт.}$$

Вычислим расчетную реактивную мощность РП1.

Поскольку эффективное число ЭП $n_{\text{Э}} < 10$, то расчетную реактивную мощность следует определять по формуле:

$$Q_P = 1,1 \cdot \sum k_H \cdot P_H \cdot \operatorname{tg} \varphi = 1,1 \cdot 34,01 = 37,4 \text{ кВар.}$$

Полную расчетную мощность определим по формуле:

$$S_P = \sqrt{P_P^2 + Q_P^2} = \sqrt{42,26^2 + 37,4^2} = 56,44 \text{ кВА.}$$

Определим расчетный ток:

$$I_P = \frac{S_P}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{56,44}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 85,75 \text{ А.}$$

Расчет осветительной нагрузки механического цеха.

Номинальная активная мощность осветительной нагрузки:

$$P_{HO} = p_{уд} \cdot F = 16 \cdot 10^{-3} \cdot 1854,94 = 26,68 \text{ кВт},$$

где $p_{уд}$ - удельная плотность осветительной нагрузки, Вт/м², [1, табл. 1.11];

F – площадь цеха, м².

Расчетная максимальная нагрузка от электрического освещения:

$$P_{PO} = K_{CO} \cdot P_{HO} = 0,95 \cdot 26,68 = 28,2 \text{ кВт},$$

где K_{CO} - коэффициент спроса осветительной нагрузки, [1, табл. 1.10].

Расчеты силовой нагрузки остальных РП цеха аналогичны.

Результаты расчета электрических нагрузок механического цеха приведены в таблице 2.3.1.

Таблица 2.3.1 – Результаты расчета нагрузок механического цеха

Исходные данные					Расчетные величины			n_{Σ}	K_p	Расчетная мощность			I_p, A	
по заданию технологов				по справочным данным		$k_{и} \cdot P_H$	$k_{и} \cdot P_H \cdot \text{tg}\varphi$			$n P_H^2$	$P_p, \text{кВт}$	$Q_p, \text{кВар}$		$S_p, \text{кВА}$
Наименование ЭП	$n, \text{шт}$	Номинальная мощность, кВт		$k_{и}$	$\cos\varphi/\text{tg}\varphi$									
		P_H	P_H											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
РП1														
Фрезерный станок с ЧПУ	2	20	40	0,6	0,7/1,02	24	24,48	800						
Универсально-фрезерный станок	2	11	22	0,12	0,5/1,73	2,64	4,57	242						
Вентилятор	1	10	10	0,8	0,85/0,62	8	4,96	100						
Итого по РП1:	5		72	0,48		34,64	34,01	1142	4	1,22	42,26	37,4	56,44	85,75
РП2														
Вертикально-фрезерный станок	3	8	24	0,12	0,5/1,73	2,88	4,98	192						
Токарно-винторезный станок	2	12	24	0,12	0,5/1,73	2,88	4,98	288						
Вентилятор	1	10	10	0,8	0,85/0,62	8	4,96	100						
Итого по РП2:	6		58	0,24		13,76	14,92	580	5	1,57	21,6	16,4	27,13	41,2
РП3														
Токарно-револьверный	4	6	24	0,12	0,5/1,73	2,88	4,98	144						
Итого по РП3:	4		24	0,12		2,88	4,98	144	4	2,88	8,29	5,48	9,94	15,1

Продолжение таблицы 2.3.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
РП4														
Универсально-заточной станок	2	10	20	0,12	0,5/1,73	2,4	4,15	200						
Плоскошлифовальный станок	1	19	19	0,14	0,5/1,73	2,66	4,6	361						
Полировальный станок	2	5	10	0,12	0,5/1,73	1,2	2,08	50						
Итого по РП4:	5		49	0,128		6,26	10,83	611	3	3,4	21,28	11,9	24,39	37,1
РП5														
Настольно-сверлильный станок	8	6	48	0,12	0,5/1,73	5,76	9,96	288						
Итого по РП5:	8		48	0,12		5,76	9,96	288	8	2,13	12,27	10,96	16,45	24,9
РП6														
Резьбонарезной полуавтомат	3	2,2	6,6	0,12	0,5/1,73	0,79	1,37	14,52						
Заточной станок	2	5	10	0,12	0,5/1,73	1,2	2,08	50						
Вертикально-сверлильный станок	3	3	9	0,12	0,5/1,73	1,08	1,89	27						
Итого по РП6:	8		25,6	0,12		3,07	5,34	91,5	7	2,24	6,88	5,87	9,04	13,7
РП7														
Листозагибочная машина	1	22	22	0,2	0,65/1,17	4,4	5,15	484						
Точильно-шлифовальный станок	4	7	28	0,12	0,5/1,73	3,36	5,8	196						
Радиально-сверлильный станок	2	9	18	0,12	0,5/1,73	2,16	3,74	162						
Итого по РП7:	7		68	0,146		9,92	14,68	842	5	2,15	21,33	16,16	26,76	40,66

Продолжение таблицы 2.3.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
РП8														
Сварочная машина	1	9	9	0,2	0,7/1,02	1,8	1,84	81						
Сварочная кабина	6	8	48	0,25	0,6/1,33	12	15,96	384						
Итого по РП8:	7		57	0,24		13,8	17,8	465	7	1,42	19,6	19,58	27,7	42,1
ВРУ														
РП1	5	10-20	72			34,64	34,01	1142						
РП2	6	8-12	58			13,76	14,92	580						
РП3	4	6	24			2,88	4,98	144						
РП4	5	5-19	49			6,26	10,83	611						
РП5	8	6	48			5,76	9,96	288						
РП6	8	2,2-5	25,6			3,07	5,34	91,5						
РП7	7	7-22	68			9,92	14,68	842						
РП8	7	8-9	57			13,8	17,8	465						
Итого по ВРУ:	50	2,2-22	401,6	0,22		90,1	112,5	4163,5	38	0,75	67,58	112,5	131,24	199,4
Осветительная нагрузка			29,68	$K_{co} = 0,95$							28,2	-		
Итого по ВРУ:			431,28								95,78	112,5	147,75	224,5

2.4 Определение расчетной нагрузки предприятия в целом

Расчетную нагрузку предприятия определим по расчетным активным и реактивным нагрузкам цехов (до и выше 1000 В) с учетом осветительной нагрузки цехов и территория предприятия, а также потерь мощности в трансформаторах цеховых ТП и ГПП и потерь в высоковольтных линиях.

В составе предприятия имеются цеха с высоковольтным оборудованием – это компрессорный и литейный цеха. В них будут установлены синхронные двигатели, паспортные данные которых представлены в таблице 2.4.1. Двигатели серии СДСЗ предназначены для приводов прокатных станов, а СДК для приводов компрессоров в помещениях с нормальной окружающей средой. При расчете высоковольтной нагрузки принято, что СД работают в режиме перевозбуждения, поэтому в первом приближении можно принять, что они потребляют из сети только активную мощность.

Таблица 2.4.1 – Паспортные данные СД

Название цеха	Номер цеха на генплане	Марка двигателя	Номинальная мощность $P_{ном}$, кВт	Количество двигателей n , шт
Литейный	2	СДСЗ-17-49-12УХЛ4	2500	2
Компрессорный	11	СДК2-16-36-12КУ4	500	1

Расчет силовой и осветительной нагрузок цехов.

Расчетная силовая нагрузка цеха определяется по методу коэффициента спроса, расчет произведем на примере кузнечного цеха.

Расчетную активную силовую нагрузку кузнечного цеха определим по формуле:

$$P_P = K_C \cdot P_H = 0,45 \cdot 350 = 157,5 \text{ кВт.}$$

где K_C - коэффициент спроса, принимается по справочным данным [1, табл. 1.6].

Расчетную реактивную силовую нагрузку кузнечного цеха определим по формуле:

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi = 157,5 \cdot 0,88 = 138,6 \text{ кВар.}$$

Расчеты активной и реактивной нагрузок остальных цехов аналогичны, результаты расчетов сведены в таблицу 2.4.2.

При расчете осветительной нагрузки было принято, что освещение цехов и территории предприятия будет выполнено лампами накаливания.

Расчетную активную осветительную нагрузку кузнечного цеха определим по формуле:

$$P_{HO} = p_{уд} \cdot F = 16 \cdot 10^{-3} \cdot 4197,7 = 67,16 \text{ кВт,}$$

где $p_{уд}$ - удельная плотность осветительной нагрузки, Вт/м², [1, табл. 1.11];

F – площадь цеха, м².

Расчетная осветительная нагрузка:

$$P_{PO} = K_{CO} \cdot P_{HO} = 0,95 \cdot 67,16 = 63,81 \text{ кВт,}$$

где K_{CO} - коэффициент спроса осветительной нагрузки по [1, табл. 1.10].

Расчетная активная нагрузка кузнечного цеха:

$$P_p + P_{PO} = 157,5 + 63,81 = 221,31 \text{ кВт.}$$

Расчетная реактивная нагрузка равна расчетной силовой нагрузке цеха:

$$Q_p = 138,6 \text{ кВар.}$$

Полная расчетная нагрузка кузнечного цеха:

$$S_p = \sqrt{(P_p + P_{PO})^2 + Q_p^2} = \sqrt{221,31^2 + 138,6^2} = 261,12 \text{ кВА.}$$

Расчеты для остальных цехов аналогичны, результаты расчета силовой и осветительной нагрузок цехов приведены в таблицах 2.4.2 и 2.4.3.

Суммарная расчетная нагрузка предприятия на стороне НН:

$$\begin{aligned} S_p^H &= \sqrt{(\sum P_p^H + \sum P_{PO})^2 + (\sum Q_p^H)^2} = \\ &= \sqrt{(4889,58 + 663,8)^2 + 3962,69^2} = 6822,24 \text{ кВА.} \end{aligned}$$

Суммарная расчетная нагрузка предприятия на шинах 6 кВ ГПП.

Определим потери в трансформаторах и высоковольтных линиях для определения суммарных расчетных активной и реактивной мощностей на шинах 6 кВ ГПП.

Приближенные потери активной и реактивной мощности в трансформаторах ТП:

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot S_P^H = 0,02 \cdot 6822,24 = 136,4 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot S_P^H = 0,1 \cdot 6822,24 = 682,22 \text{ кВар}.$$

Приближенные потери активной мощности в высоковольтных линиях:

$$\Delta P_{Л} = 0,03 \cdot S_P^H = 0,03 \cdot 6822,24 = 204,67 \text{ кВт}.$$

Суммарная расчетная активная мощность, отнесенная к шинам 6 кВ ГПП:

$$\begin{aligned} P_{P\Sigma} &= (\sum P_P^H + \sum P_P^B) \cdot K_{p.m(a)} + P_{PO} + \Delta P_T + \Delta P_{Л} = \\ &= (4889,58 + 3655) \cdot 0,95 + 663,8 + 136,4 + 204,67 = 9122,2 \text{ кВт}, \end{aligned}$$

где $K_{p.m(a)} = 0,95$ - коэффициент одновременности максимумов нагрузки для активной мощности.

Суммарная расчетная реактивная мощность, отнесенная к шинам 6 кВ ГПП:

$$\begin{aligned} Q_{P\Sigma} &= (\sum Q_P^H + \sum Q_P^B) \cdot K_{p.m(p)} + \Delta Q_T = \\ &= (3962,69 + 0) \cdot 0,9 + 682,22 = 4248,6 \text{ кВар}, \end{aligned}$$

где $K_{p.m(p)} = 0,9$ - коэффициент одновременности максимумов нагрузки для реактивной мощности.

Расчетная нагрузка предприятия на шинах 6 кВ ГПП:

$$S_{P\Sigma} = \sqrt{(P_{P\Sigma})^2 + (Q_{P\Sigma})^2} = \sqrt{9122,2^2 + 4248,6^2} = 10063,1 \text{ кВА}.$$

Полная расчетная нагрузка предприятия со стороны ВН ГПП.

Найдем потери мощности в трансформаторах ГПП и мощность КУ с целью определения расчетной нагрузки предприятия со стороны высшего напряжения трансформаторов ГПП.

Потери мощности в трансформаторах ГПП:

$$\Delta P_{mГПП} = 0,02 \cdot S_{P\Sigma} = 0,02 \cdot 10063,1 = 201,3 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_{mГПП} = 0,1 \cdot S_{P\Sigma} = 0,1 \cdot 10063,1 = 1006,3 \text{ кВар.}$$

Для определения мощности КУ необходимо найти количество реактивной мощности Q_C , которая будет передаваться в сеть предприятия из сети энергосистемы. Значение мощности Q_C зависит от напряжения питающей предприятие сети. На основании рекомендаций, если потребляемая предприятием мощность находится в диапазоне 10-150 МВА, то целесообразно использовать напряжение 110 кВ. Также определим напряжение питающей линии по формуле Илларионова:

$$U_{эк} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{l} + \frac{2500}{P_{P\Sigma}}}} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{7} + \frac{2500}{9,122}}} = 57,8 \text{ кВ.}$$

На основании рекомендаций [2, стр. 134], расчета напряжения линии, питающей ГПП, по формуле Илларионова, а также учитывая развитие завода в дальнейшем, принимаем напряжение питающей линии ГПП 110 кВ.

Реактивная мощность передаваемая предприятию из сети энергосистемы:

$$Q_C = \alpha \cdot P_{P\Sigma} = 0,29 \cdot 9122,2 = 2645,4 \text{ кВар.}$$

Мощность компенсирующих устройств:

$$Q_{KV} = Q_{P\Sigma} - Q_C = 4248,6 - 2645,4 = 1603,2 \text{ кВар.}$$

Полная мощность предприятия со стороны 110 кВ ГПП:

$$\begin{aligned} S_{pГПП} &= \sqrt{(P_{P\Sigma} + \Delta P_{mГПП})^2 + (Q_{P\Sigma} + \Delta Q_{mГПП} - Q_{KV})^2} = \\ &= \sqrt{(9122,2 + 201,3)^2 + (4248,6 + 1006,3 - 1603,2)^2} = 10013,1 \text{ кВА.} \end{aligned}$$

Таблица 2.4.2 – Результаты расчета силовой нагрузки предприятия

№	Наименование цеха	Силовая					
		P_n	K_c	$\cos\varphi$	$tg\varphi$	P_p	Q_p
		кВт				кВт	кВар
Потребители электроэнергии 0,38							
1	Пилорама	1400	0,35	0,7	1,02	490	499,8
2	Литейный	2500	0,75	0,9	0,48	1875	900
3	Кузнечный	350	0,45	0,75	0,88	157,5	138,6
4	Склад	150	0,3	0,5	1,73	45	77,85
5	Подъемный	110	0,65	0,75	0,88	71,5	62,92
6	Колесный	1100	0,5	0,75	0,88	550	484
7	Инструментальный	1200	0,3	0,7	1,02	360	367,2
8	Покрасочный	650	0,5	0,7	1,02	325	331,5
9	Деревообрабатывающий	670	0,35	0,7	1,02	234,5	239,19
10	Котельная	510	0,6	0,8	0,75	306	229,5
11	Компрессорный	55	0,5	0,8	0,75	27,5	20,625
12	Сварочный	850	0,4	0,6	1,33	340	452,2
13	Механический	401,6	-	-	-	67,58	112,5
14	Заготовительный	100	0,4	0,65	1,17	40	46,8
	Итого по 0,38 кВ	10046,6				4889,58	3962,69
Потребители электроэнергии 6 кВ							
2	Литейный	4600	0,75	1	0	3450	0
11	Компрессорный	410	0,5	1	0	205	0
	Итого по 6 кВ	5010				3655	0
	Итого по предприятию	15056,6				8544,58	3962,69

Таблица 2.4.3 – Результаты расчета осветительной и общей нагрузки предприятия

№	Наименование цеха	Осветительная нагрузка					Силовая и осветительная нагрузка		
		F	$P_{уд}$	$P_{но}$	$K_{со}$	$P_{ро}$	$P_p+P_{ро}$	Q_p	S_p
		м ²	Вт/ м ²	кВт		кВт	кВт	кВар	кВА
Потребители электроэнергии 0,38									
1	Пилорама	3648,73	15	54,73	0,85	46,52	536,52	499,8	733,25
2	Литейный	4929,4	18	88,73	0,95	84,29	1959,29	900	2156,11
3	Кузнечный	4197,7	16	67,16	0,95	63,81	221,31	138,6	261,12
4	Склад	2823,9	13	36,71	0,6	22,03	67,03	77,85	102,73
5	Подъемный	4637,64	15	69,56	0,85	59,1	130,6	62,92	144,97
6	Колесный	5717,8	16	91,48	0,95	86,91	636,91	484	799,94
7	Инструментальный	1758,6	16	28,14	0,95	26,73	386,73	367,2	533,29
8	Покрасочный	3246,4	18	58,44	0,95	55,51	380,51	331,5	504,66
9	Деревообрабатывающий	2279,1	17	38,74	0,95	36,81	271,31	239,19	361,69
10	Котельная	1828,6	17	31,09	0,95	29,53	335,53	229,5	406,51
11	Компрессорный	2374,5	13	30,87	0,85	26,24	53,74	20,625	57,56
12	Сварочный	4226,9	15	63,40	0,85	53,89	393,89	452,2	599,70
13	Механический	1854,94	-	-	-	28,20	95,78	112,5	147,75
14	Заготовительный	1893,2	15	28,40	0,95	26,98	66,98	46,8	81,71
	Освещение территории	107746,7	0,16	17,24	1	17,24	17,24	0	24,5
	Итого по 0,38 кВ	153164,1				663,8	5553,38	3962,69	6822,24

Продолжение таблицы 2.4.3

Потребители электроэнергии 6 кВ									
2	Литейный (СД 6 кВ)						3450	0	3450
11	Компрессорный						205	0	205
	Итого по 6 кВ						3655	0	3655
	Итого по предприятию						9208,38	3962,69	10024,8

3. Построение картограммы и определение условного центра электрических нагрузок, зоны рассеяния условного центра электрических нагрузок

Картограмма нагрузок строится для наглядного представления распределения электрических нагрузок по территории предприятия, с целью определения места расположения ГПП и представляет собой размещенные на генеральном плане предприятия площади, ограниченные кругами, которые в определенном масштабе соответствуют расчетным нагрузкам цехов.

Произведем расчет для литейного цеха.

Для определения радиусов окружностей зададим масштаб для низковольтной ($m = 1 \text{ кВт/мм}^2$) и высоковольтной ($m = 2 \text{ кВт/мм}^2$) нагрузок.

Рассчитаем радиусы окружностей:

$$r_{HH} = \sqrt{\frac{P_P}{\pi \cdot m}} = \sqrt{\frac{1875}{\pi \cdot 1}} = 24,43 \text{ мм};$$

$$r_{BH} = \sqrt{\frac{P_P}{\pi \cdot m}} = \sqrt{\frac{3450}{\pi \cdot 2}} = 23,43 \text{ мм}.$$

Также в окружности определим сектор, который будет характеризовать долю осветительной нагрузки цеха:

$$\alpha = \frac{360 \cdot P_{PO}}{P_P + P_{PO}} = \frac{360 \cdot 84,29}{1875 + 84,29} = 15,49 \text{ град.}$$

Для остальных цехов расчет аналогичен, результаты расчетов представлены в таблице 3.1.

Определим координаты условного центра электрических нагрузок:

$$x_0 = \frac{\sum((P_P + P_{PO}) \cdot x)}{\sum(P_P + P_{PO})} = \frac{439564,69}{9191,13} = 47,82 \text{ мм};$$

$$y_0 = \frac{\sum((P_P + P_{PO}) \cdot y)}{\sum(P_P + P_{PO})} = \frac{414493,1}{9191,13} = 45,1 \text{ мм}.$$

Картограмма нагрузок представлена на рисунке 3.1.

Как видно из картограммы сооружение ГПП в месте расположения ЦЭН невозможно, поэтому построим зону рассеяния ЦЭН.

Найдем эмпирические вероятности для литейного цеха:

$$P(x) = P(y) = \frac{P_P + P_{PO}}{\sum(P_P + P_{PO})} = \frac{536,52}{9191,13} = 0,06.$$

Среднеквадратичные отклонения случайных величин для литейного цеха:

$$\sigma_x^2 = \sum P(x) \cdot (x - x_0)^2 = 1926,49 \text{ мм}^2;$$

$$\sigma_y^2 = \sum P(y) \cdot (y - y_0)^2 = 3049,32 \text{ мм}^2.$$

Определим точность случайных величин:

$$h_x = \frac{1}{\sigma_x \cdot \sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{1926,49 \cdot 2}} = 0,016 \frac{1}{\text{мм}};$$

$$h_y = \frac{1}{\sigma_y \cdot \sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{3049,32 \cdot 2}} = 0,0128 \frac{1}{\text{мм}}.$$

Для остальных цехов расчет аналогичен, результаты расчетов представлены в таблице 3.2.

Определим радиусы полуосей эллипса рассеяния:

$$R_x = \frac{\sqrt{3}}{h_x} = \frac{\sqrt{3}}{0,016} = 108,25 \text{ мм};$$

$$R_y = \frac{\sqrt{3}}{h_y} = \frac{\sqrt{3}}{0,0128} = 135,3 \text{ мм}.$$

Размеры полуосей рассеяния получились большими, поэтому на картограмме зона рассеяния будет построена в масштабе 1:2.

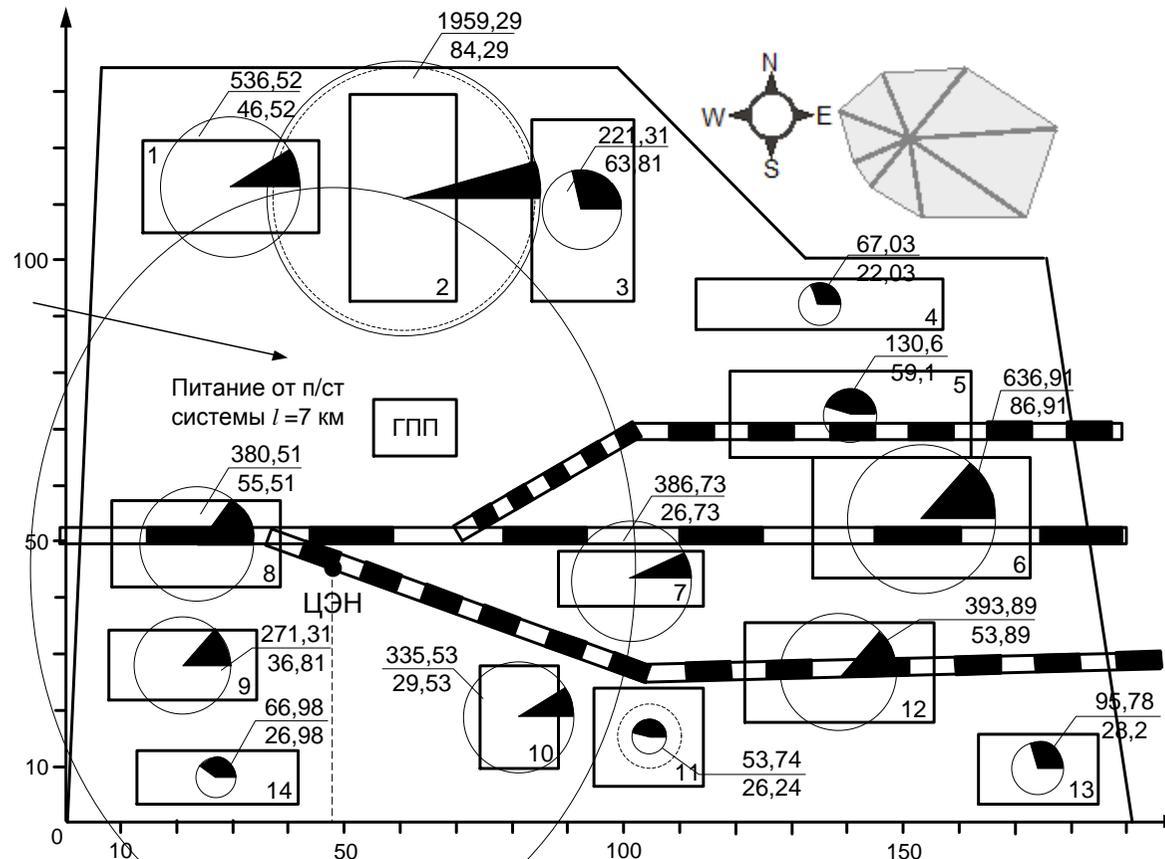
ГПП приближено как можно ближе к ЦЭН в его зоне рассеяния. Таким образом, обеспечено максимальное приближение высокого напряжения к условному центру потребления электрической энергии, с целью уменьшения протяженности распределительных сетей и снижения потерь напряжения.

Таблица 3.1 – Расчетные данные для построения картограммы нагрузки

№	Наименование цеха	P_p , кВт	P_{po} , кВт	r , мм	α , град	X , мм	Y , мм
Потребители электроэнергии 0,38 кВ							
1	Пилорама	490	46,52	12,49	31,21	29,7	113,2
2	Литейный	1875	84,29	24,43	15,49	60,5	110,9
3	Кузнечный	157,5	63,81	7,08	103,80	92,7	109,2
4	Склад	45	22,03	3,78	118,32	135	92,3
5	Подъемный	71,5	59,1	4,77	162,91	140,7	72,6
6	Колесный	550	86,91	13,23	49,12	153,2	54,2
7	Инструментальный	360	26,73	10,70	24,88	101,2	43,3
8	Покрасочный	325	55,51	10,17	52,52	23,45	49,6
9	Деревообрабатывающий	234,5	36,81	8,64	48,84	21	27,9
10	Котельная	306	29,53	9,87	31,68	81,2	18,6
11	Компрессорный	27,5	26,24	2,96	175,78	104,4	15,1
12	Сварочный	340	53,89	10,40	49,25	138,3	26,5
13	Механический	67,58	28,20	4,64	105,99	174,1	9,5
14	Заготовительный	40	26,98	3,57	145,01	27,1	7,9
	Итого по 0,38 кВ	4889,58	646,55				
Потребители электроэнергии 6 кВ							
2	Литейный	3450	-	23,43		60,5	110,9
11	Компрессорный	205	-	5,71		104,4	15,1
	Итого по 6 кВ	3655	-				
	Итого по предприятию	8544,58	646,55				

Таблица 3.2 – Расчетные данные для построения картограммы нагрузки

№	Наименование цеха	P_p , кВт	P_{po} , кВт	X, мм	Y, мм	$(P_p+P_{po}) \cdot X$	$(P_p+P_{po}) \cdot Y$	P_x, P_y	$(X-m_x)^2$	$(Y-m_y)^2$	$P_x \cdot (X-m_x)^2$	$P_y \cdot (Y-m_y)^2$
Потребители электроэнергии 0,38 кВ												
1	Пилорама	490	46,52	29,7	113,2	15934,64	60734,06	0,06	328,33	4637,61	19,17	270,71
2	Литейный	1875	84,29	60,5	110,9	118537	217285,3	0,21	160,78	4329,64	34,27	922,96
3	Кузнечный	157,5	63,81	92,7	109,2	20515,44	24167,05	0,02	2014,21	4108,81	48,50	98,93
4	Склад	45	22,03	135	92,3	9049,05	6186,869	0,01	7600,35	2227,84	55,43	16,25
5	Подъемный	71,5	59,1	140,7	72,6	18375,42	9481,56	0,01	8626,69	756,25	122,58	10,75
6	Колесный	550	86,91	153,2	54,2	97574,61	34520,52	0,07	11104,94	82,81	769,53	5,74
7	Инструментальный	360	26,73	101,2	43,3	39137,08	16745,41	0,04	2849,42	3,24	119,89	0,14
8	Покрасочный	325	55,51	23,45	49,6	8922,96	18873,3	0,04	593,90	20,25	24,59	0,84
9	Деревообрабатывающий	234,5	36,81	21	27,9	5697,51	7569,549	0,03	719,31	295,84	21,23	8,73
10	Котельная	306	29,53	81,2	18,6	27245,04	6240,858	0,04	1114,22	702,25	40,68	25,64
11	Компрессорный	27,5	26,24	104,4	15,1	5610,456	811,474	0,01	3201,30	900,00	18,72	5,26
12	Сварочный	340	53,89	138,3	26,5	54474,99	10438,09	0,04	8186,63	345,96	350,84	14,83
13	Механический	67,58	28,20	174,1	9,5	16675,3	909,91	0,01	15946,64	1267,36	166,18	13,21
14	Заготовительный	40	26,98	27,1	7,9	1815,158	529,142	0,01	429,32	1383,84	3,13	10,08
	Итого по 0,38 кВ	4889,58	646,55			439564,69	414493,1				1794,73	1404,06
Потребители электроэнергии 6 кВ												
2	Литейный	3450		60,5	110,9	208725	382605	0,38	160,78	4329,64	60,35	1625,18
11	Компрессорный	205		104,4	15,1	21402	3095,5	0,02	3201,3	900	71,40	20,07
	Итого по 6 кВ	3655				230127	385700,5				131,75	1645,26
	Итого по пред-тию	8544,58	646,55			669691,69	800193,551				1926,49	3049,32



Обозначения на картограмме:

-  нагрузка ниже 1 кВ (черный сектор – осветительная нагрузка)
-  нагрузка выше 1 кВ
- $\frac{380,51}{55,51}$ расчетная активная мощность цеха, кВт (сверху)
расчетная активная мощность освещения, кВт (снизу)

Рисунок 3.1 – Картограмма нагрузок предприятия

4. Выбор количества, мощности и расположения цеховых трансформаторных подстанций с учетом компенсации реактивной мощности

Для предварительного выбора номинальной мощности цеховых трансформаторов воспользуемся следующей формулой:

$$\sigma = \frac{S_{расч.НН}}{\sum F_{ц}} = \frac{6822,24}{45417,4} = 0,15 \text{ кВА/м}^2,$$

где $S_{расч.НН}$ - полная расчетная низковольтная нагрузка предприятия;

$\sum F_{ц}$ - сумма площадей цехов предприятия.

В соответствии с рекомендациями [2, табл. 5.1] для данной плотности нагрузки рекомендуется использовать цеховые ТР мощностью 1000 кВА.

Минимальное возможное число трансформаторов:

$$N_{\min} = \frac{P_{расч.НН}}{\beta_{тр} \cdot S_{ном.тр}} = \frac{5553,38}{0,7 \cdot 1000} = 7,93,$$

где $\beta_{тр}$ - коэффициент загрузки трансформатора.

Принимаем $N_{\min} = 8$.

Активная нагрузка, приходящаяся на один трансформатор:

$$P_1 = \frac{P_{расч.НН}}{N_{\min}} = \frac{5553,38}{8} = 694,2 \text{ кВт.}$$

Определим число трансформаторов для конкретного цеха:

$$N_i = \frac{P_{расч.i}}{P_1},$$

где $P_{расч.i}$ - расчетная мощность i -го цеха.

Результаты расчетов приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Количество ТР необходимое для каждого цеха

№	Наименование цеха	Категория надежности	$P_p + P_{po}$	N
1	Пилорама	III	536,52	0,77
2	Литейный	I	1959,29	2,82
3	Кузнечный	II	221,31	0,32
4	Склад	III	67,03	0,10
5	Подъемный	II	130,6	0,19
6	Колесный	II	636,91	0,92
7	Инструментальный	III	386,73	0,56
8	Покрасочный	II	380,51	0,55
9	Деревообрабатывающий	II	271,31	0,39
10	Котельная	I	335,53	0,48
11	Компрессорный	II	53,74	0,08
12	Сварочный	II	393,89	0,57
13	Механический	II	95,78	0,14
14	Заготовительный	III	66,98	0,10

Из таблицы 4.1 видно, что двух трансформаторная ТП с $S_{ном.тр} = 1000$ кВА не способна обеспечить требуемый коэффициент загрузки трансформаторов для литейного цеха (I категория по надежности электроснабжения).

Рассмотрим другие варианты.

Выбираем трансформаторы с $S_{ном.тр} = 1600$ кВА. Минимально возможное число трансформаторов:

$$N_{\min} = \frac{P_{расч.НН}}{\beta_{тр} \cdot S_{ном.тр}} = \frac{5553,38}{0,7 \cdot 1600} = 4,96 \approx 5.$$

Данный вариант нерациональный, так как нагрузка по территории предприятия распределена неравномерно. Для более рационального распределения нагрузки между трансформаторами и снижения числа

низковольтных линий будем использовать трансформаторы двух типоразмеров 2×2500 кВА и 8×630 кВА.

Минимально возможное число трансформаторов с $S_{ном.тр} = 2500$ кВА для цехов № 1, 2, 3, 4:

$$N_{min}^{2500} = \frac{S_{расч.НН}}{\beta_{тр} \cdot S_{ном.тр}} = \frac{3253,2}{0,7 \cdot 2500} = 1,86 \approx 2.$$

Минимально возможное число трансформаторов с $S_{ном.тр} = 630$ кВА для цехов № 5-14:

$$N_{min}^{630} = \frac{S_{расч.НН}}{\beta_{тр} \cdot S_{ном.тр}} = \frac{3637,78}{0,7 \cdot 630} = 7,94 \approx 8.$$

Паспортные данные трансформаторов приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Паспортные данные трансформаторов

Тип	$S_{ном}$, кВА	$U_{ном}$ обмоток, кВ		Схема и группа соединения обмоток	Потери, кВт		Напряжение КЗ, %	Ток ХХ, %
		ВН	НН		ХХ	КЗ		
ТМ-2500/6	2500	6	0,4	$\Delta/Y_0 - 11$	3,85	23,5	6,5	1,0
ТМ-630/6	630	6	0,4	$\Delta/Y_0 - 11$	1,31	8,5	5,5	2,0

Распределим нагрузки цехов по ТП.

Таблица 4.3 – Распределение цехов по ТП

Наименование пункта питания	Цеха	Количество трансформаторов
ТП-1	1, 2, 3, 4	2
ТП-2	5, 6	2
ТП-3	7, 11, 12, 13	2
ТП-4	7, 10	2
ТП-5	8, 9, 14	2

Найдем наибольшую реактивную мощность, которую способна выдать энергосистема в сеть предприятия в режиме максимальных активных нагрузок энергосистемы:

$$Q_C = \alpha \cdot P_{P\Sigma} = 0,29 \cdot 9122,2 = 2645,4 \text{ кВар.}$$

Анализ баланса реактивной мощности на шинах ГПП:

$$Q_{расч.НН} = 3962,69 \text{ кВар} > Q_C = 2645,4 \text{ кВар.}$$

По балансу реактивной мощности на шинах ГПП видно, что реактивной мощности, которую можно взять из энергосистемы, недостаточно для покрытия реактивной мощности нагрузки, поэтому в качестве дополнительных источников реактивной мощности необходимо использовать батареи статических конденсаторов и/или синхронные двигатели, установленные на предприятии.

Реактивная мощность, которую можно получить с СДК2-16-36-12КУ4 в режиме его номинальной загрузки:

$$Q_{СД1} = \frac{\alpha_M \cdot P_{ном} \cdot tg\varphi}{\eta_{ном}} = \frac{1,33 \cdot 500 \cdot 0,48}{0,937} = 340 \text{ кВар,}$$

где α_M - коэффициент допустимой перегрузки СД по [2, табл. 5.7.].

Реактивная мощность, которую можно получить с СДС33-17-49-12УХЛ4 в режиме их номинальной загрузки:

$$Q_{СД2} = Q_{СД2} = \frac{\alpha_M \cdot P_{ном} \cdot tg\varphi}{\eta_{ном}} = \frac{1,33 \cdot 2500 \cdot 0,48}{0,96} = 1625 \text{ кВар.}$$

Полная располагаемая мощность генерации:

$$Q_{СД} = Q_{СД1} + Q_{СД2} + Q_{СД3} = 340 + 1625 + 1625 = 3590 \text{ кВар.}$$

Наибольшая реактивная мощность, которая может быть передана из сети 6 кВ в сеть до 1000 В без увеличения числа трансформаторов:

$$Q_1 = \sqrt{\left(N_{\min 1} \cdot \beta_{mp1} \cdot S_{ном.mp1} + N_{\min 2} \cdot \beta_{mp2} \cdot S_{ном.mp2} \right)^2 - P_{расч.НН}^2} = \\ = \sqrt{\left(2 \cdot 0,7 \cdot 2500 + 8 \cdot 0,7 \cdot 630 \right)^2 - 5553,38^2} = 4307,3 \text{ кВар.}$$

4.1. Схема для анализа баланса реактивной мощности представлена на рисунке 4.1.

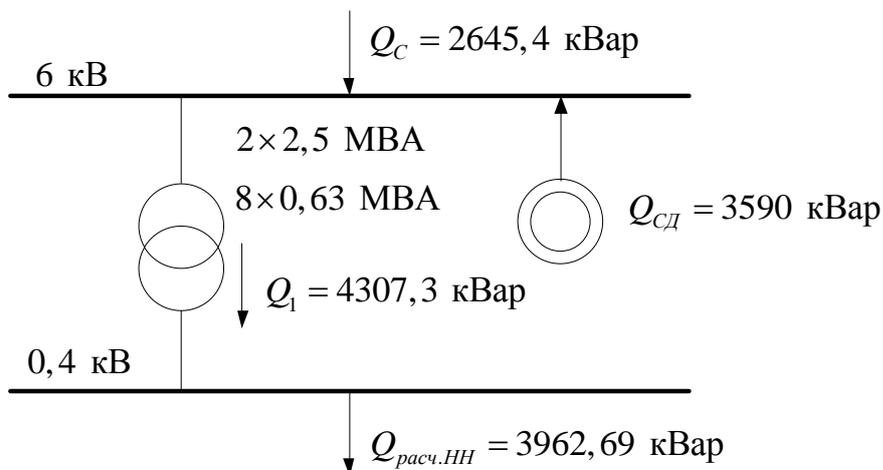


Рисунок 4.1 – Схема для анализа баланса реактивной мощности

Как видно по рисунку 4.1 пропускной способности трансформаторов для покрытия реактивной мощности нагрузки достаточно.

Определим фактическую загрузку цеховых ТП.

Пример для ТП-1:

$$\beta_{тр.факт} = \frac{S_{расч}}{N \cdot S_{ном.тр}} = \frac{3253,21}{2 \cdot 2500} = 0,65.$$

Расчеты для остальных ТП аналогичны, результаты расчетов сведены в таблицу 4.4.

Таблица 4.4 – Фактическая загрузка цеховых ТП

№ ТП	$S_{расч}$, кВА	Количество трансформаторов	$\beta_{тр.факт}$.
1	3253,21	2	0,65
2	944,91	2	0,75
3	938,3	2	0,74
4	806,51	2	0,64
5	948,06	2	0,75

Схема внутривозаводской сети представлена на рисунке 4.2.

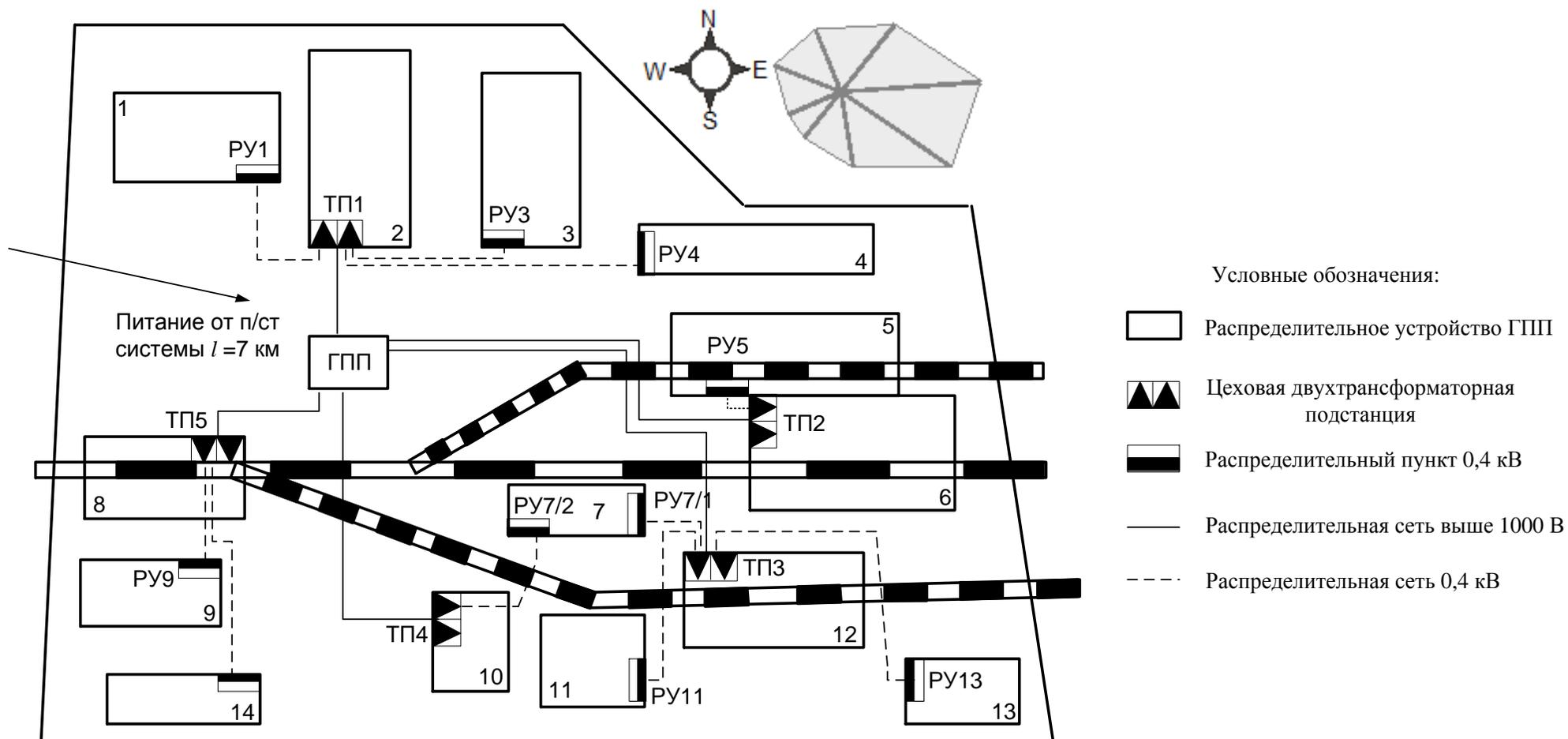


Рисунок 4.2 – Схема внутризаводской сети

5. Выбор числа и мощности трансформаторов ГПП

Согласно [3, г. 1.2] потребители второй категории должны обеспечиваться электроэнергией от двух независимых взаимно резервирующих источников питания, поэтому выбираем двухтрансформаторную ГПП.

Мощность трансформаторов ГПП:

$$S_{\text{трГПП}} = \frac{S_{\text{рГПП}}}{2 \cdot \beta_{\text{тр}}} = \frac{10013,1}{2 \cdot 0,7} = 7152,2 \text{ кВА.}$$

По [1, табл. 7.3] выбираем 2×ТДН-10000/110. Паспортные данные трансформатора представлены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Паспортные данные трансформатора

Тип	$S_{\text{ном}}$, МВА	$U_{\text{ном}}$ обмоток, кВ		Схема и группа соединения обмоток	Потери, кВт		Напряжение КЗ, %	Ток ХХ, %
		ВН	НН		ХХ	КЗ		
ТДН- 10000/110	10	115	6,6	Y ₀ /Δ - 11	14	58	10,5	0,9

На рисунке 5.1 представлена принципиальная электрическая схема 6 кВ.

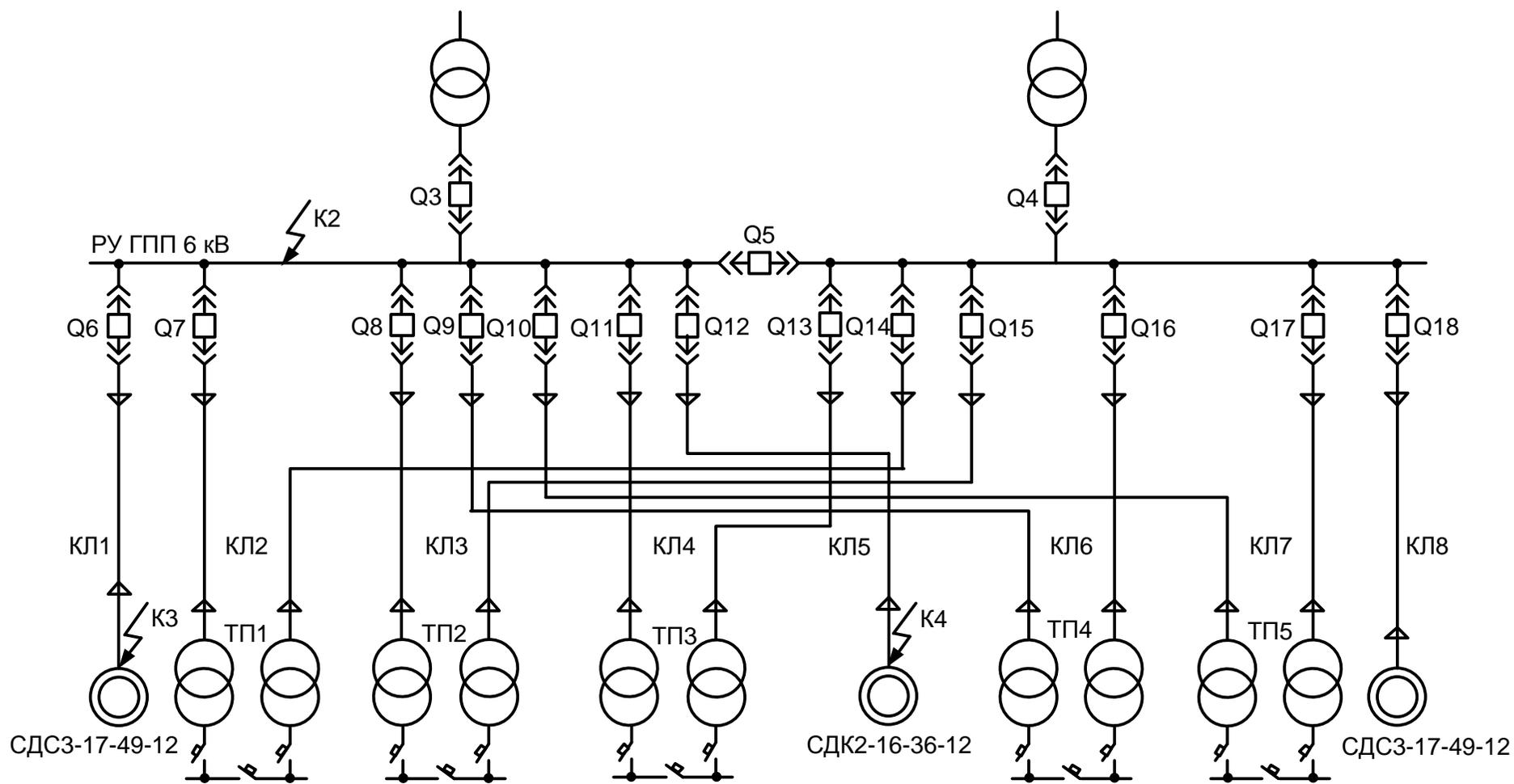


Рисунок 5.1 – Принципиальная схема электроснабжения предприятия 6 кВ

6. Построение суточного графика нагрузки

Для построения суточного графика нагрузки воспользуемся характерным суточным графиком нагрузки вагоноремонтного завода [1, стр. 23], который представлен на рисунке 6.1.

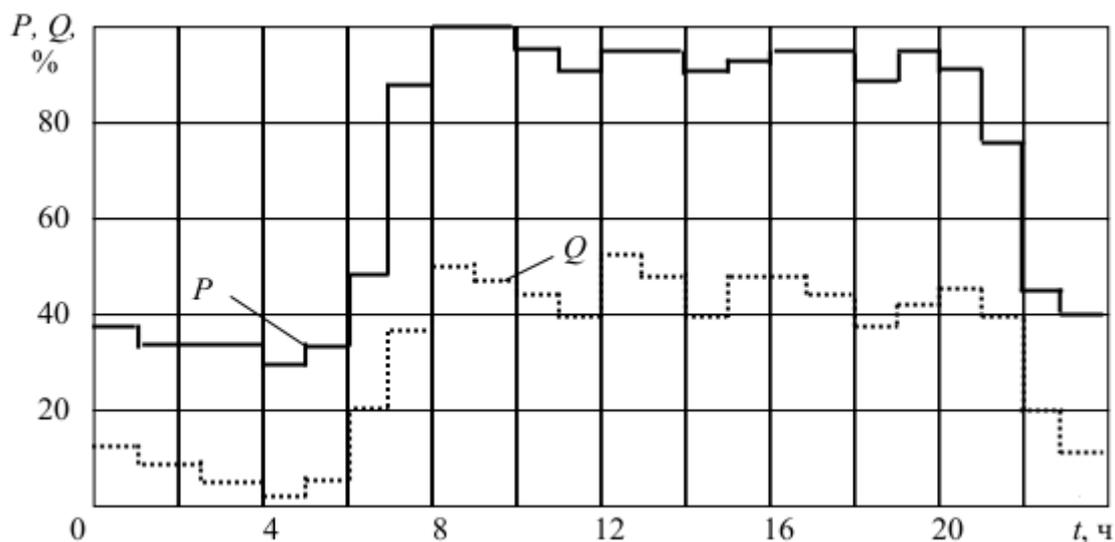


Рисунок 6.1 – Характерный суточный график нагрузки вагоноремонтного завода

Определим активную мощность ступени для первого часа:

$$P_{ст1} = \frac{n_{\%} \cdot P_{рГПП}}{100} = \frac{38 \cdot 9122,2}{100} = 3466,4 \text{ кВт.}$$

где $n_{\%}$ - загруженность графика нагрузок;

$P_{рГПП}$ - расчетная активная мощность со стороны ВН ГПП.

Расчет для остальных ступеней аналогичен. Результаты расчетов приведены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Суточное изменение нагрузки

№ ступени	Часы	$n_{\%}$	$P_{ст}$, кВт
1	0-1	38	3466,44
2	1-4	34	3101,55
3	4-5	30	2736,66
4	5-6	34	3101,55

Продолжение таблицы 6.1

5	6-7	48	4378,66
6	7-8	87	7936,31
7	8-10	100	9122,2
8	10-11	95	8666,09
9	11-12	91	8301,2
10	12-14	95	8666,09
11	14-15	91	8301,2
12	15-16	93	8483,65
13	16-18	95	8666,09
14	18-19	88	8027,54
15	19-20	95	8666,09
16	20-21	91	8301,2
17	21-22	76	6932,87
18	22-23	45	4104,99
19	23-24	40	3648,88

Определим активную потребляемую энергию за сутки:

$$W_{сут} = \sum_1^{19} P_{см} \cdot T_{см} = 157266,7 \text{ кВт} \cdot \text{ч.}$$

Среднесуточная нагрузка:

$$P_{сут} = \frac{W_{сут}}{T_{сут}} = \frac{157266,7}{24} = 6551,1 \text{ кВт.}$$

Максимальная нагрузка:

$$P_{\max} = P_{см7} = 9122,2 \text{ кВт.}$$

Найдем коэффициент максимума:

$$K_{\max} = \frac{P_{рГПП}}{P_{сут}} = \frac{9122,2}{6551,1} = 1,39.$$

Найдем коэффициент загрузки:

$$K_{з.г.} = \frac{1}{K_{\max}} = \frac{1}{1,39} = 0,72.$$

Число часов использования максимума нагрузки в сутки:

$$T_{\max.сут} = K_{з.г.} \cdot T_{сут} = 0,72 \cdot 24 = 17,28 \text{ ч.}$$

Число часов использования максимума нагрузки в год:

$$T_{\max.сут} = K_{з.г.} \cdot T_{сут} \cdot 365 = 0,72 \cdot 24 \cdot 365 = 6307,2 \text{ ч.}$$

7. Выбор сечения и проверка линии, питающей ГПП

Воздушная линия, питающая ГПП, будет выполнена двухцепной проводами марки АС. Сечение линии будем выбирать по экономической плотности тока.

Вычислим расчетный ток линии:

$$I_p = \frac{S_{ном.тр}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 110} = 52,48 \text{ А.}$$

По [2, табл. 6.1] определим экономическую плотность тока. Для голых алюминиевых проводов при $T_{max} = 6307,2$ ч принимаем $j_{эк} = 1 \text{ А/мм}^2$.

Выбираем сечение:

$$F_{эк} = \frac{I_p}{j_{эк}} = \frac{52,48}{1} = 52,48 \text{ мм}^2.$$

Принимаем ближайшее большее стандартное сечение 70 мм^2 . Для воздушных линий с проводами марки АС 70/11 по [3, табл. 1.3.29] длительно допустимый ток $I_{доп} = 265 \text{ А}$.

Произведем проверку выбранного провода:

1) По допустимой токовой нагрузке, по нагреву и по перегрузочной способности (в послеаварийном или ремонтом режиме при отключении одной из питающих линий)

$$I_p = 52,48 \text{ А} < I_{доп} = 265 \text{ А};$$

$$1,3 \cdot I_{доп} = 1,3 \cdot 265 \text{ А} > I_{н.а.} = 2 \cdot 52,48 = 104,96 \text{ А.}$$

Выбранное сечение проверку проходит.

2) По условиям механической прочности алюминиевые провода должны иметь сечение не менее 70 мм^2 . Выбранное сечение проверку проходит.

3) По допустимой потере напряжения

Нормальный режим.

Найдем коэффициент загрузки питающей линии:

$$k_3 = \frac{I_{\text{дон}}}{I_p} = \frac{265}{52,48} = 5,05.$$

Найдем допустимую длину питающей линии:

$$L_{\text{дон}} = l_{\Delta U 1\%} \cdot \Delta U_{\text{дон}\%} \cdot k_3 = 5,1 \cdot 5 \cdot 5,05 = 128,8 \text{ км} > 7 \text{ км},$$

где $l_{\Delta U 1\%} = 5,1$ км - длина линии при полной нагрузке на 1% потери напряжения [2, табл. П. 5.1];

$\Delta U_{\text{дон}\%} = 5\%$ - допустимая потеря напряжения в нормальном режиме.

Аварийный режим.

$$k_3 = \frac{I_{\text{дон}}}{2 \cdot I_p} = \frac{265}{2 \cdot 52,48} = 2,52.$$

Найдем допустимую длину питающей линии:

$$L_{\text{дон}} = l_{\Delta U 1\%} \cdot \Delta U_{\text{дон}\%} \cdot k_3 = 5,1 \cdot 10 \cdot 2,52 = 128,5 \text{ км} > 7 \text{ км},$$

где $\Delta U_{\text{дон}\%} = 10\%$ - допустимая потеря напряжения в аварийном режиме.

Выбранное сечение проверку проходит.

4) По условиям короны

Согласно ПУЭ минимальное сечение для 110 кВ составляет 70 мм².

Выбранное сечение проверку проходит.

8. Выбор сечений кабельных линий 6 кВ

Распределительная сеть 6 кВ по территории предприятия выполняется кабельными линиями, проложенными в траншеях.

Сечения жил кабельных линий будем определять по экономической плотности тока.

Приведем пример выбора сечения для кабельной линии КЛ2 (РУ НН ГПП – ТП1).

Найдем расчетный ток КЛ:

$$I_{расч} = \frac{n_{тр} \cdot S_{ном.тр}}{n_{лин} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{2 \cdot 2500}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 6} = 240,6 \text{ А,}$$

По [3, табл. 1.3.36] определяем экономическую плотность тока. Для кабеля с бумажной пропитанной изоляцией с жилами из алюминия при $T_{\max} > 5000$ ч принимаем $j_{эк} = 1,2 \text{ А/мм}^2$.

Найдем экономически целесообразное сечение:

$$F_{эк} = \frac{I_{расч}}{j_{эк}} = \frac{240,6}{1,2} = 200,5 \text{ А.}$$

Округлим найденное значение сечения до ближайшего стандартного $F = 185 \text{ мм}^2$.

Предварительно выбираем кабель марки ААШв - 3×185. По [3, табл. 1.3.16] находим допустимый длительный ток $I_{доп} = 340 \text{ А}$.

По [3, табл. 1.3.12] допустимая температура нагрева жил кабеля напряжением 6 кВ, $T = +65^\circ\text{С}$.

По [3, табл. 1.3.3] определим поправочный коэффициент на токи $K_1 = 1$.

По [3, табл. 1.3.26] поправочный коэффициент с учетом 4-ех параллельно проложенных кабелей в земле $K_2 = 0,84$.

Произведем проверку выбранного кабеля по допустимому нагреву:

$$I_{\text{доп}} = 340 \text{ А} > \frac{I_{\text{расч}}}{K_1 \cdot K_2} = \frac{240,6}{1 \cdot 0,84} = 286,4 \text{ А} - \text{условие выполняется.}$$

Линия КЛ2 может работать с перегрузкой, поэтому выполним проверку по длительному нагреву в послеаварийном режиме.

Ток послеаварийного режима:

$$I_{\text{н.ав.}} = 2 \cdot I_{\text{расч}} = 2 \cdot 240,6 = 481,2 \text{ А.}$$

По [3, табл. 1.3.2] определим допустимую перегрузку по отношению к номинальной при длительности 6 часов $K_{\text{пер}} = 1,20$.

$$K_{\text{пер}} \cdot I_{\text{доп}} = 1,2 \cdot 340 = 408 \text{ А} < \frac{I_{\text{н.ав.}}}{K_1 \cdot K_2} = \frac{481,2}{1 \cdot 0,84} = 572,9 \text{ А.}$$

Как видно условие не выполняется, поэтому увеличиваем сечение до 240 мм².

Проверку будем производить только на допустимую перегрузку в послеаварийном режиме, так как предыдущее сечение проверку по тепловому нагреву прошло. По [3, табл. 1.3.16] $I_{\text{доп}} = 390 \text{ А}$.

Выполним проверку:

$$K_{\text{пер}} \cdot I_{\text{доп}} = 1,2 \cdot 390 = 468 \text{ А} < \frac{I_{\text{н.ав.}}}{K_1 \cdot K_2} = \frac{481,2}{1 \cdot 0,84} = 572,9 \text{ А.}$$

Максимальное сечение для данной марки кабеля проверку не прошло, поэтому принимаем решение прокладывать параллельно два кабеля.

Предварительно выбираем кабель ААШв 2(3×95). По [3, табл. 1.3.16] находим допустимый длительный ток $I_{\text{доп}} = 225 \text{ А}$.

По [3, табл. 1.3.3] определим поправочный коэффициент на токи $K_1 = 1$.

По [3, табл. 1.3.26] определим поправочный коэффициент на 6 работающих кабелей, лежащих рядом в земле $K_2 = 0,81$.

Выполним проверку кабеля по тепловому нагреву с учетом поправочных коэффициентов на условия прокладки:

$$I_{\text{доп}} = 2 \cdot 225 = 450 \text{ А} > \frac{I_{\text{расч}}}{K_1 \cdot K_2} = \frac{240,6}{1 \cdot 0,81} = 297,03 \text{ А}.$$

Выполним проверку по длительному нагреву в послеаварийном режиме:

$$K_{\text{пер}} \cdot I_{\text{доп}} = 1,2 \cdot 2 \cdot 225 = 540 \text{ А} < \frac{I_{\text{н.ав.}}}{K_1 \cdot K_2} = \frac{481,2}{1 \cdot 0,81} = 594,1 \text{ А}.$$

Условие перегрузки послеаварийного режима не выполняется, поэтому увеличиваем сечение до 120 мм².

Проверку будем производить только на допустимую перегрузку в послеаварийном режиме, так как предыдущее сечение проверку по тепловому нагреву прошло. По [3, табл. 1.3.16] $I_{\text{доп}} = 260 \text{ А}$.

Выполним проверку:

$$K_{\text{пер}} \cdot I_{\text{доп}} = 1,2 \cdot 2 \cdot 260 = 624 \text{ А} > \frac{I_{\text{н.ав.}}}{K_1 \cdot K_2} = \frac{481,2}{1 \cdot 0,81} = 594,1 \text{ А} - \text{условие}$$

выполняется

Расчеты для остальных КЛ аналогичны, результаты расчетов сведены в таблицу 8.1.

Таблица 8.1 – Марка и сечения кабельных линий 6 кВ

№	Участок линии	$n_{\text{лин}}$	Расчетная нагрузка, А		$F_{\text{ЭК}}, \text{мм}^2$	Предварительная марка кабеля	Допустимая нагрузка, А		K_1	K_2	$K_{\text{пер}}$	$l_{\text{кл}}, \text{км}$
			I_p	$I_{\text{п.ав}}$			$I_{\text{доп}}$	$I_{\text{п.ав}}$				
КЛ1	ГПП-СДС3-17-49-12	1	278,4	-	232,02	ААШВ 3×240	390	-	1	0,81	-	0,052
КЛ2	ГПП-ТП1	4	240,6	481,2	200,5	ААШВ 2(3×120)	520	624	1	0,81	1,2	0,052
КЛ3	ГПП-ТП2	2	60,6	121,2	101	ААШВ 3×50	155	186	1	0,93	1,2	0,269
КЛ4	ГПП-ТП3	2	60,6	121,2	101	ААШВ 3×50	155	186	1	0,93	1,2	0,257
КЛ5	РУ ТП3-СДК2-16-36-12	1	48,1	-	40,1	ААШВ 3×10	60	-	1	0,84	-	0,311
КЛ6	ГПП-ТП4	2	60,6	121,2	101	ААШВ 3×50	155	186	1	0,93	1,2	0,197
КЛ7	ГПП-ТП5	2	60,6	121,2	101	ААШВ 3×50	155	186	1	0,93	1,2	0,088
КЛ8	ГПП-СДС3-17-49-12	1	278,4	-	232,02	ААШВ 3×240	390	-	1	0,81	-	0,052

9. Расчет токов короткого замыкания в сети выше 1000 В

Во-первых, составим расчетную схему, которая представляет собой упрощенную однолинейную схему электроснабжения.

Расчетная схема представлена на рисунке 9.1.

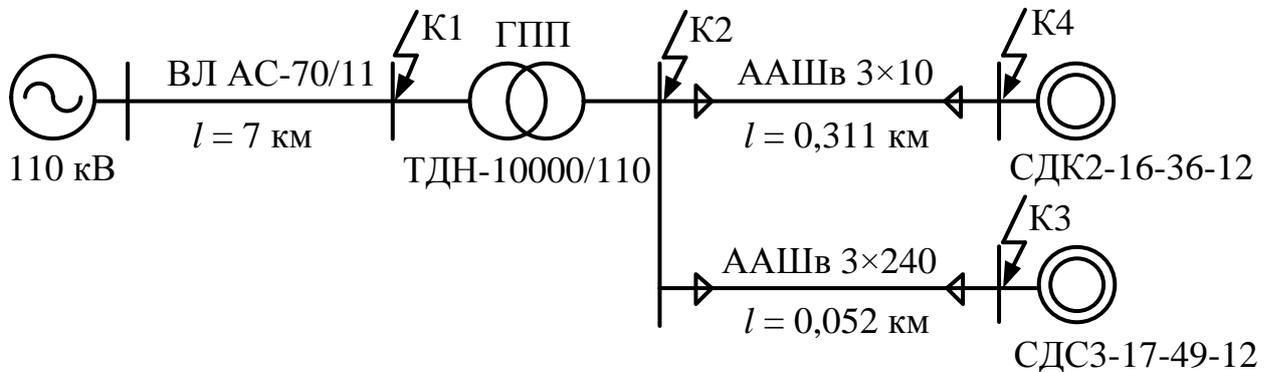


Рисунок 9.1 – Расчетная схема

Составим схему замещения по расчетной схеме. Схема замещения представлена на рисунке 9.2.

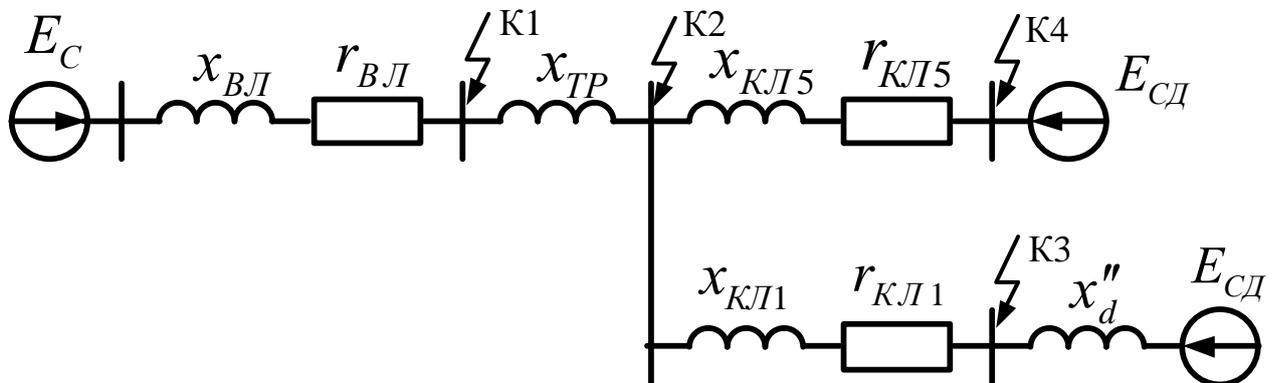


Рисунок 9.2 – Схема замещения

9.1 Определение сопротивлений схемы замещения

Расчет будет вестись в базисных единицах.

Принимаем $S_6 = 1000$ МВА, $U_{\text{ср.ном1}} = 115$ кВ, $U_{\text{ср.ном2}} = 6,3$ кВ.

Систему будем считать шинами бесконечной мощности, поэтому $x_C = 0$.

В таблице 9.1 представлены погонные активные и индуктивные сопротивления ВЛ и КЛ.

Таблица 9.1 – Погонные активные и индуктивные сопротивления ВЛ и КЛ

№	Длина, км	Марка КЛ/ВЛ	r_0 , Ом/км	x_0 , Ом/км
ВЛ	7	АС-70/11	0,46	0,417
КЛ1	0,052	ААШВ 3×240	0,13	0,0587
КЛ5	0,311	ААШВ 3×10	3,12	0,073

Сопротивления ВЛ 110 кВ:

$$r_{ВЛ} = \frac{r_0 \cdot l \cdot S_{\bar{\sigma}}}{U_{ср.ном1}^2} = \frac{0,46 \cdot 7 \cdot 1000}{115^2} = 0,243 \text{ о.е.};$$

$$x_{ВЛ} = \frac{x_0 \cdot l \cdot S_{\bar{\sigma}}}{U_{ср.ном1}^2} = \frac{0,417 \cdot 7 \cdot 1000}{115^2} = 0,22 \text{ о.е.}$$

Индуктивное сопротивление ТР ТДН-10000/110 кВА:

$$x_{ТР} = \frac{U_{КЗ\%} \cdot S_{\bar{\sigma}}}{100 \cdot S_{ном.тр}} = \frac{10,5 \cdot 1000}{100 \cdot 10} = 10,5 \text{ о.е.}$$

Сопротивления КЛ1:

$$r_{КЛ1} = \frac{r_0 \cdot l \cdot S_{\bar{\sigma}}}{U_{ср.ном2}^2} = \frac{0,13 \cdot 0,052 \cdot 1000}{6,3^2} = 0,17 \text{ о.е.};$$

$$x_{КЛ1} = \frac{x_0 \cdot l \cdot S_{\bar{\sigma}}}{U_{ср.ном2}^2} = \frac{0,0587 \cdot 0,052 \cdot 1000}{6,3^2} = 0,077 \text{ о.е.}$$

Сопротивления КЛ5:

$$r_{КЛ5} = \frac{r_0 \cdot l \cdot S_{\bar{\sigma}}}{U_{ср.ном2}^2} = \frac{3,12 \cdot 0,311 \cdot 1000}{6,3^2} = 24,4 \text{ о.е.};$$

$$x_{КЛ5} = \frac{x_0 \cdot l \cdot S_{\bar{\sigma}}}{U_{ср.ном2}^2} = \frac{0,073 \cdot 0,311 \cdot 1000}{6,3^2} = 0,57 \text{ о.е.}$$

9.2 Расчет токов КЗ

Точка К1.

Определим базисный ток:

$$I_{\sigma 1} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ср.ном1}}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 5,02 \text{ кА.}$$

Суммарное сопротивление до места КЗ:

$$Z_{\text{рез}} = \sqrt{r_{\text{ВЛ}}^2 + x_{\text{ВЛ}}^2} = \sqrt{0,243^2 + 0,22^2} = 0,328 \text{ о.е.}$$

Начальное значение периодической составляющей тока трехфазного КЗ:

$$I_{\text{К1}}^{(3)} = \frac{I_{\sigma 1}}{Z_{\text{рез}}} = \frac{5,02}{0,328} = 15,3 \text{ кА.}$$

Постоянная затухания:

$$T_{a1} = \frac{x_{\text{ВЛ}}}{\omega \cdot r_{\text{ВЛ}}} = \frac{x_{\text{ВЛ}}}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot r_{\text{ВЛ}}} = \frac{0,22}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,243} = 0,003 \text{ с.}$$

Ударный коэффициент:

$$K_{\text{уд1}} = 1 + e^{-0,01/T_{a1}} = 1 + e^{-0,01/0,003} = 1,036.$$

Ударный ток:

$$i_{\text{удК1}} = \sqrt{2} \cdot K_{\text{уд1}} \cdot I_{\text{К1}}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,036 \cdot 15,3 = 22,4 \text{ кА.}$$

Точка К2.

При расчете тока КЗ в точке К2 необходимо учесть подпитку от СДС3-17-49-12, так как для кабельной линии питающей СД менее 300 м.

Расчет тока КЗ от системы.

Определим базисный ток:

$$I_{\sigma 2} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ср.ном2}}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 91,64 \text{ кА.}$$

Суммарное сопротивление до места КЗ:

$$Z_{\text{рез}} = \sqrt{r_{\text{ВЛ}}^2 + (x_{\text{ВЛ}} + x_{\text{ТР}})^2} = \sqrt{0,243^2 + (0,22 + 10,5)^2} = 10,7 \text{ о.е.}$$

Начальное значение периодической составляющей тока трехфазного КЗ:

$$I_{\text{К2сист}}^{(3)} = \frac{I_{\sigma 2}}{Z_{\text{рез}}} = \frac{91,64}{10,7} = 8,56 \text{ кА.}$$

Постоянная затухания:

$$T_{a2} = \frac{(x_{ВЛ} + x_{ТП})}{\omega \cdot r_{ВЛ}} = \frac{(x_{ВЛ} + x_{ТП})}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot r_{ВЛ}} = \frac{(0,22 + 10,5)}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,243} = 0,14 \text{ с.}$$

Ударный коэффициент:

$$K_{y\partial 2} = 1 + e^{-0,01/T_{a2}} = 1 + e^{-0,01/0,14} = 1,93.$$

Ударный ток:

$$i_{y\partial K2\text{сист}} = \sqrt{2} \cdot K_{y\partial 2} \cdot I_{K2}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,93 \cdot 8,56 = 23,4 \text{ кА.}$$

Расчет тока КЗ от СД.

Номинальный ток СД:

$$I_{номСД} = \frac{P_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \eta_{ном} \cdot \cos \varphi_{ном}} = \frac{2500}{\sqrt{3} \cdot 6 \cdot 0,96 \cdot 0,9} = 278,4 \text{ А.}$$

Принимаем $E'' = 1,1$; $x_d'' = 0,2$.

Начальное значение периодической составляющей тока трехфазного КЗ:

$$I_{K2_СД}^{(3)} = \frac{E'' \cdot I_{номСД}}{\sqrt{r_{ВН}^2 + (x_d'' + x_{ВН})^2}} = \frac{1,1 \cdot 278,4}{\sqrt{0,17^2 + (0,2 + 0,077)^2}} = 0,942 \text{ кА.}$$

где $r_{ВН}$ - суммарное активное сопротивление от места КЗ до зажимов СД;

$x_{ВН}$ - суммарное реактивное сопротивление от места КЗ до зажимов СД.

Постоянная затухания:

$$T_{a_СД} = \frac{(x_{ВЛ} + x_{ТП} + x_{КЛ1} + x'')}{\omega \cdot (r_{ВЛ} + r_{КЛ1})} = \frac{(x_{ВЛ} + x_{ТП} + x_{КЛ1} + x'')}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot (r_{ВЛ} + r_{КЛ1})} = \frac{(0,22 + 10,5 + 0,077 + 0,2)}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot (0,243 + 0,17)} = 0,085 \text{ с.}$$

Ударный коэффициент:

$$K_{y\partial_СД} = 1 + e^{-0,01/T_{a3}} = 1 + e^{-0,01/0,085} = 1,88.$$

Ударный ток:

$$i_{y\partial K2_CD} = \sqrt{2} \cdot K_{y\partial 3} \cdot I_{K3_CD}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,88 \cdot 0,942 = 2,5 \text{ кА.}$$

Результирующий ток КЗ в точке К2:

$$I_{K2}^{(3)} = I_{K2\text{сист}}^{(3)} + I_{K2_CD}^{(3)} = 8,56 + 0,942 = 9,5 \text{ кА.}$$

$$i_{y\partial K2} = i_{y\partial K2\text{сист}} + i_{y\partial K2_CD} = 23,4 + 2,5 = 25,9 \text{ кА.}$$

Точка К3.

При расчете тока КЗ в точке К3 также необходимо учесть подпитку от СДС3-17-49-12.

Расчет тока КЗ от системы.

Суммарное сопротивление до места КЗ:

$$\begin{aligned} Z_{рез} &= \sqrt{(r_{ВЛ} + r_{КЛ1})^2 + (x_{ВЛ} + x_{ТР} + x_{КЛ1})^2} = \\ &= \sqrt{(0,243 + 0,17)^2 + (0,22 + 10,5 + 0,077)^2} = 10,8 \text{ о.е.} \end{aligned}$$

Начальное значение периодической составляющей тока трехфазного КЗ:

$$I_{K3\text{сист}}^{(3)} = \frac{I_{\delta 2}}{Z_{рез}} = \frac{91,64}{10,8} = 8,48 \text{ кА.}$$

Постоянная затухания:

$$\begin{aligned} T_{a3} &= \frac{(x_{ВЛ} + x_{ТР} + x_{КЛ1})}{\omega \cdot (r_{ВЛ} + r_{КЛ1})} = \frac{(x_{ВЛ} + x_{ТР} + x_{КЛ1})}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot (r_{ВЛ} + r_{КЛ1})} = \\ &= \frac{(0,22 + 10,5 + 0,077)}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot (0,243 + 0,17)} = 0,083 \text{ с.} \end{aligned}$$

Ударный коэффициент:

$$K_{y\partial 3} = 1 + e^{-0,01/T_{a3}} = 1 + e^{-0,01/0,083} = 1,88.$$

Ударный ток:

$$i_{y\partial K3\text{сист}} = \sqrt{2} \cdot K_{y\partial 3} \cdot I_{K3\text{сист}}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,88 \cdot 8,48 = 22,54 \text{ кА.}$$

Расчет тока КЗ от СД.

Начальное значение периодической составляющей тока трехфазного КЗ:

$$I_{K3_CD}^{(3)} = \frac{E'' \cdot I_{номCD}}{x_d''} = \frac{1,1 \cdot 278,4}{0,2} = 1,53 \text{ кА.}$$

Ударный ток:

$$i_{y\delta K3_CD} = \sqrt{2} \cdot K_{y\delta 3} \cdot I_{K3_CD}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,88 \cdot 1,53 = 4,08 \text{ кА.}$$

Результирующий ток КЗ в точке КЗ:

$$I_{K3}^{(3)} = I_{K3сист}^{(3)} + I_{K3_CD}^{(3)} = 8,48 + 1,53 = 10,01 \text{ кА.}$$

$$i_{y\delta K3} = i_{y\delta K3сист} + i_{y\delta K3_CD} = 22,54 + 4,08 = 26,6 \text{ кА.}$$

Точка К4.

Суммарное сопротивление до места КЗ:

$$\begin{aligned} Z_{рез} &= \sqrt{(r_{ВЛ} + r_{КЛ5})^2 + (x_{ВЛ} + x_{ТР} + x_{КЛ5})^2} = \\ &= \sqrt{(0,243 + 24,4)^2 + (0,22 + 10,5 + 0,57)^2} = 27,1 \text{ о.е.} \end{aligned}$$

Начальное значение периодической составляющей тока трехфазного КЗ:

$$I_{K4}^{(3)} = \frac{I_{\delta 2}}{Z_{рез}} = \frac{91,64}{27,1} = 3,38 \text{ кА.}$$

Постоянная затухания:

$$\begin{aligned} T_{a4} &= \frac{(x_{ВЛ} + x_{ТР} + x_{КЛ5})}{\omega \cdot (r_{ВЛ} + r_{КЛ5})} = \frac{(x_{ВЛ} + x_{ТР} + x_{КЛ5})}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot (r_{ВЛ} + r_{КЛ5})} = \\ &= \frac{(0,22 + 10,5 + 0,57)}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot (0,243 + 24,4)} = 0,0015 \text{ с.} \end{aligned}$$

Ударный коэффициент:

$$K_{y\delta 4} = 1 + e^{-0,01/T_{a4}} = 1 + e^{-0,01/0,0015} = 1.$$

Ударный ток:

$$i_{y\delta K4} = \sqrt{2} \cdot K_{y\delta 4} \cdot I_{K4}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1 \cdot 3,38 = 4,78 \text{ кА.}$$

Сводная ведомость токов КЗ приведена в таблице 8.2.

Таблица 9.2 – Сводная ведомость токов КЗ

Расчетные токи		К1	К2	К3	К4
Токи КЗ, кА	$I^{(3)}$	15,3	9,5	10,01	3,38
	$i_{уд}$	22,4	25,9	26,6	4,78

Расчетное значение тока КЗ в точке К3 больше, чем в точке К2, поэтому проверку линии КЛ1 на устойчивость к токам КЗ будем производить по этому току.

9.3 Проверка сечений КЛ на термическую стойкость к токам КЗ

Проверяем ранее выбранное сечение КЛ1. По расчетам $I_{КЗ}^{(3)} = 10,01$ кА.

В РУ 6 кВ принимаем вакуумные выключатели с $t_{откл} = 0,05$ с по [1, табл. 7.5.].

Схема внутривозовского электроснабжения предприятия одноступенчатая, поэтому принимаем для КЛ1 $t_{р.з.} = 0,01$ с по [2, стр. 165].

Определим постоянную времени затухания:

$$T_{a3} = \frac{(x_{ВЛ} + x_{ТП} + x_{КЛ1})}{\omega \cdot (r_{ВЛ} + r_{КЛ1})} = \frac{(x_{ВЛ} + x_{ТП} + x_{КЛ1})}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot (r_{ВЛ} + r_{КЛ1})} =$$

$$= \frac{(0,22 + 10,5 + 0,077)}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot (0,243 + 0,17)} = 0,083 \text{ с.}$$

Приведенное время отключения тока КЗ:

$$t_{np} = t_{р.з.} + t_{откл} = 0,01 + 0,05 = 0,06 \text{ с.}$$

Определяем величину теплового импульса:

$$B_k = I_{КЗ}^{(3)2} \cdot (t_{np} + T_{a3}) = 10,01^2 \cdot (0,06 + 0,083) = 14,3 \cdot 10^6 \text{ А}^2 \cdot \text{с.}$$

Определяем минимально допустимое сечение КЛ1:

$$F_{\min} \geq \frac{\sqrt{B_k}}{C_T} = \frac{\sqrt{14,3 \cdot 10^6}}{90} = 42,1 \text{ мм}^2,$$

где $C_T = 90 \text{ А} \cdot \text{с}^{1/2} / \text{мм}^2$ - термический коэффициент по [1, табл. 6.2].

Из расчета видно, что рассчитанное минимальное сечение кабеля меньше предварительного выбранного сечения кабеля ААШв (3×240), поэтому данный кабель проверку проходит.

Проверочные расчеты для остальных КЛ аналогичны, результаты расчетов сведены в таблице 9.3.

Таблиц 9.3 – Марки и сечения КЛ выбранные по условию термической стойкости к токам КЗ

Назначение участка питающей линии	Термически стойкое сечение F_{\min} , мм ²	Принятое сечение кабеля F , мм ²	Длительно допустимый ток $I_{\text{доп}}$, А
ГПП-СДС3-17-49-12	42,1	ААШв 3×240	390
ГПП-ТП1	47,2	ААШв 2(3×120)	520
ГПП-ТП2	47,2	ААШв 3×50	155
ГПП-ТП3	47,2	ААШв 3×50	155
РУ ТП3-СДК2-16-36-12	47,2	ААШв 3×50	155
ГПП-ТП4	47,2	ААШв 3×50	155
ГПП-ТП5	47,2	ААШв 3×50	155
ГПП-СДС3-17-49-12	42,1	ААШв 3×240	390

10. Выбор высоковольтного оборудования

10.1 Выбор схемы ГПП

Выбираем схему 4Н-два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий, условное изображение которой представлено на рисунке 10.1.1.

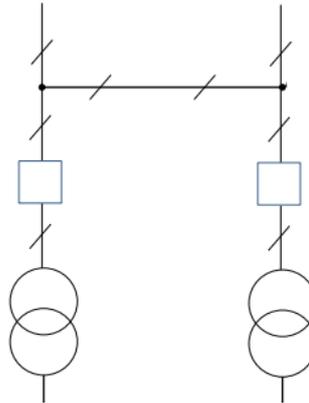


Рисунок 10.1.1 – Условное изображение схемы 4Н

Развернутая схема 4Н приведена на рисунке 10.1.2.

Номинальный ток трансформатора ТДН-10000/110:

$$I_{\text{номВН}} = \frac{S_{\text{тр.ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{номВН}}} = \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 110} = 52,48 \text{ А};$$

$$I_{\text{номНН}} = \frac{S_{\text{тр.ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{номНН}}} = \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 6,6} = 874,8 \text{ А.}$$

Найдем токи в питающих линиях.

Нормальный режим:

$$I_{\text{расч}} = \frac{S_{\text{тр.ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 110} = 52,48 \text{ А.}$$

Послеаварийный режим:

$$I_{\text{п.ав}} = 2 \cdot I_{\text{расч}} = 2 \cdot 52,48 = 104,96 \text{ А.}$$

В таблице 10.1.1 представлен перечень оборудования ГПП.

Таблица 10.1.1 – Перечень оборудования ГПП

Обозначение	Наименование	Тип
QS1...QS4	Разъединители	РНД32-110/1000У1
QS5...QS10	Разъединители	РНД31-110/1000У1
QS11, QS12	Разъединители	РЛНД-10/400У1
FV1...FV4	Ограничители перенапряжения	ОПН-П1-110/77/10/2-УХЛ1
FV5, FV6	Ограничители перенапряжения	ОПН-П-6/7,2/10-1-III-УХЛ1
T1, T2	Силовые трансформаторы	ТДН-10000/110-У1
T3, T4	Трансформаторы собств. нужд	ТМ-630/6
FU1, FU2	Предохранители	ПКТ-102-6-80-20-У3
FU3, FU4	Предохранители	ПКН-001-6-ХЛ1
Q1, Q2	Выключатели элегазовые	ВГТ-110-40/3150-У1
Q3...Q5	Выключатели вакуумные	ВВ/TEL-10-20/1600(1000)-У2
ТА1, ТА2	Трансформаторы тока	ТВТ110-1-200/5
ТА3, ТА4	Трансформаторы тока	ТЛМ-6-1-0,5/10Р-10/15-1000/5-У3
TV1, TV2	Трансформаторы напряжения	НКФ-110-57-0,5-400-УХЛ1
TV3, TV4	Трансформаторы напряжения	НТМИ-6-48-0,5-75-У3

10.2 Выбор трансформаторов собственных нужд

Номинальная мощность ТСН:

$$S_{с.н.} \approx 0,05 \cdot S_{тр.ном} = 0,05 \cdot 10000 = 500 \text{ кВА.}$$

Выбираем два трансформатора ТМ-630/6 по [1, табл. 7.3].

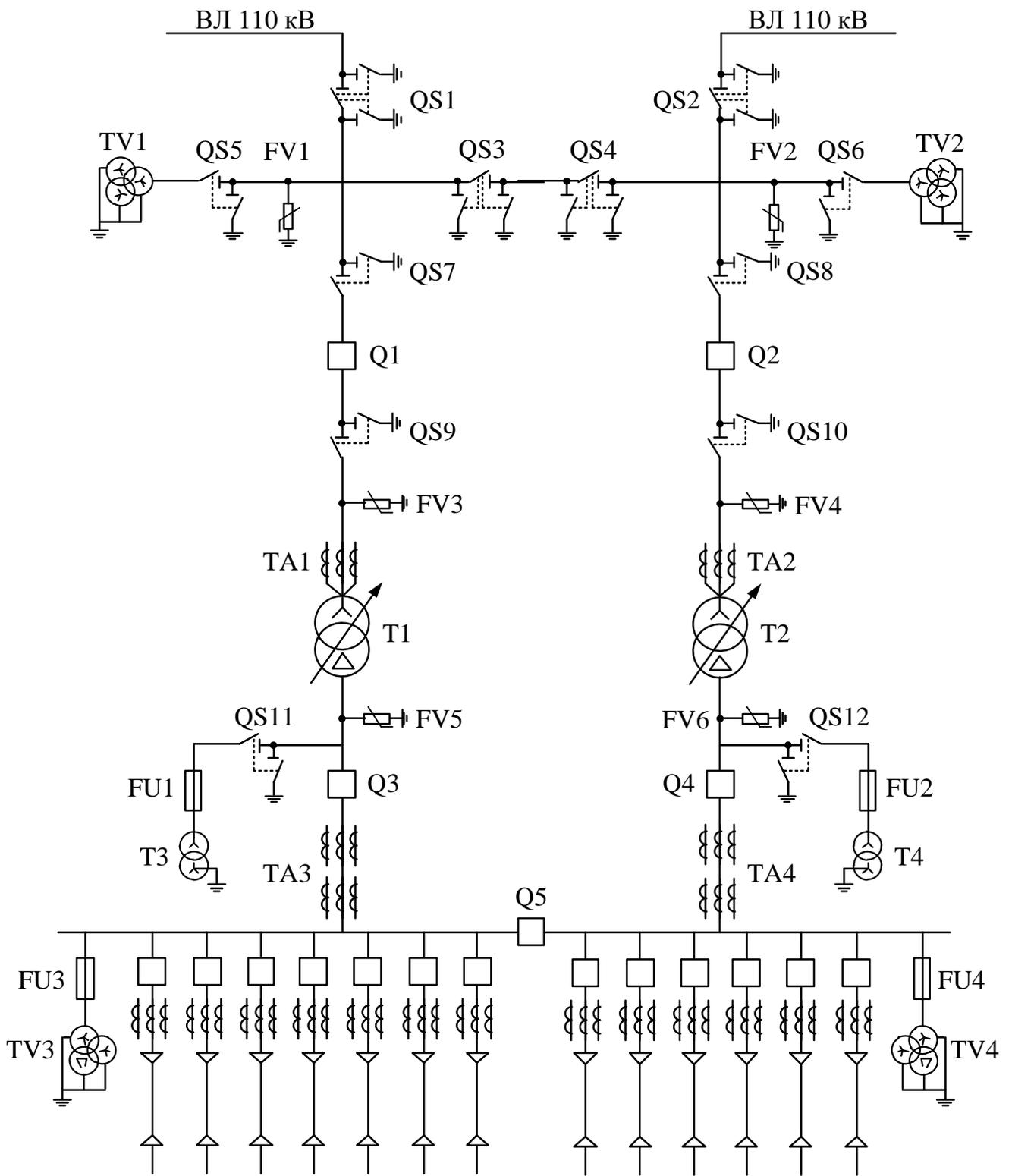


Рисунок 10.1.2 – Развернутая схема 4Н

10.3 Выбор контрольно-измерительных приборов

Контроль за режимами работы основного и вспомогательного оборудования на подстанциях осуществляется с помощью контрольно-измерительных приборов.

В качестве подключаемых измерительных приборов выбираем: амперметр и вольтметр на стороне 110 кВ; амперметр, вольтметр, ваттметр, счетчики активной и реактивной мощности в РУ 6 кВ. Перечень контрольно-измерительных приборов приведен в таблице 10.3.1.

Таблица 10.3.1 – Перечень контрольно-измерительных приборов

Цепь установки приборов	Места установки приборов	Перечень приборов
Двухобмоточный трансформатор	ВН (110 кВ)	Амперметр, вольтметр
	НН (6 кВ)	Амперметр, вольтметр, ваттметр, счетчики активной и реактивной мощности
Сборные шины 6 кВ	На каждой секции шин	Вольтметр для измерения междуфазного напряжения и вольтметр для измерения трехфазных напряжений, амперметр, ваттметр

10.4 Выбор трансформаторов напряжения

На напряжении 110 кВ выбираем трансформаторы напряжения НКФ-110-57-0,5-400-УХЛ1 (TV1, TV2) по [1, табл. 7.17]. Паспортные данные трансформатора напряжения приведены в таблице 10.4.1.

Таблица 10.4.1 – Паспортные данные трансформатора напряжения НКФ-110-57-0,5-400-УХЛ1

Номинальное напряжение обмотки, кВ			Класс точности	Номинальная мощность, ВА	Максимальная мощность, ВА
Первичной	Основной вторичной	Дополнительной			
110/ $\sqrt{3}$	0,1/ $\sqrt{3}$	0,1	0,5	400	2000

Для установки в РУ 6 кВ выбираем трансформаторы напряжения НТМИ-6-48-0,5-75-У3 (ТВ3, ТВ4) по [1, табл. 7.17]. Паспортные данные трансформатора напряжения приведены в таблице 10.4.2.

Таблица 10.4.2 – Паспортные данные трансформатора напряжения НТМИ-6-48-0,5-75-У3

Номинальное напряжение обмотки, кВ			Класс точности	Номинальная мощность, ВА	Максимальная мощность, ВА
Первичной	Основной вторичной	Дополнительной			
6	0,1	0,1/ $\sqrt{3}$	0,5	75	640

Вторичная нагрузка трансформатора напряжения НТМИ-6-48-0,5-75-У3 приведена в таблице 10.4.3.

Таблица 10.4.3 – Вторичная нагрузка трансформатора напряжения НТМИ-6-48-0,5-75-У3

Прибор	Тип	Число обмоток	Кол-во	$P_{порт}$, Вт	$Q_{потр}$, Вар	P_{Σ} , Вт	Q_{Σ} , Вар
Вольтметр	Э-350	1	4	2	-	8	-
Ваттметр	Д-304	3	1	2	1,5	6	3
Счетчик активной энергии	САЗ-681	2	1	3	2,25	6	4,5

Продолжение таблицы 10.4.3

Счетчик реактивной мощности	СРЗ-682	2	1	3	2,25	6	4,5
Итого						26	12

Расчетная нагрузка ТН:

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{P_{\Sigma}^2 + Q_{\Sigma}^2} = \sqrt{26^2 + 12^2} = 28,63 \text{ ВА.}$$

Номинальная мощность основной вторичной обмотки в классе точности 0,5 составляет 75 ВА, следовательно, ТН удовлетворяет условиям проверки.

10.5 Выбор трансформаторов тока

На напряжении 110 кВ будем использовать встроенные трансформаторы тока. Марку выбираем по номинальному току первичной обмотки трансформатора ТДН-10000/110-У1.

$$I_{номТТ} \geq I_{номВН} = 52,48 \text{ А.}$$

По [1, табл. 7.24] выбираем трансформаторы тока ТВТ110-1-200/5 (ТА1, ТА2) с номинальным током первичной обмотки $I_{1ном} = 200 \text{ А}$.

Для измерения тока на стороне 6 кВ используем трансформаторы тока типа ТЛМ. Марку выбираем по номинальному току вторичной обмотки трансформатора ТДН-10000/110-У1.

$$I_{номТТ} \geq I_{номВН} = 874,8 \text{ А.}$$

По [1, табл. 7.24] выбираем трансформатор тока ТЛМ-6-1-0,5/10Р-10/15-1000/5-У3 (ТА3, ТА4) с номинальным током первичной обмотки $I_{1ном} = 1000 \text{ А}$, паспортные данные которого приведены в таблице 10.5.1.

Таблица 10.5.1 – Паспортные данные трансформатора тока ТЛМ-6-1-0,5/10P-10/15-600/5-У3

Номинальное напряжение трансформатора, кВ	6
Номинальный первичный ток трансформатора, А	1000
Номинальный вторичный ток трансформатора, А	5
Номинальный коэффициент трансформации	120
Номинальная вторичная нагрузка, ВА	10
Класс точности трансформатора	0,5
Ток термической стойкости, кА	33
Время термической стойкости, с	3
Ток электродинамической стойкости, кА	125

Вторичная нагрузка (на фазу) трансформатора тока ТЛМ-6-1-0,5/10P-10/15-1000/5-У3 приведена в таблице 10.5.2.

Таблица 10.5.2 – Вторичная нагрузка (на фазу) трансформатора тока ТЛМ-6-1-0,5/10P-10/15-1000/5-У3

Прибор	Тип	Число обмоток	Кол-во	$P_{порт}$, Вт	$Q_{потр}$, Вар	P_{Σ} , Вт	Q_{Σ} , Вар
Амперметр	Э-350	1	1	0,5	-	0,5	-
Ваттметр	Д-304	1	1	0,5	0,4	0,5	0,5
Счетчик активной энергии	СА3-681	2	1	2,5	2,25	5	4,5
Счетчик реактивной мощности	СР3-682	2	1	2,5	2,25	5	4,5
Итого						11	9,4

Мощность, потребляемая приборами:

$$S_{\text{приб}} = \sqrt{P_{\text{приб}}^2 + Q_{\text{приб}}^2} = \sqrt{11^2 + 9,4^2} = 14,5 \text{ ВА.}$$

Суммарное сопротивление приборов:

$$r_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{I_{2\text{ном}}^2} = \frac{14,5}{5^2} = 0,58 \text{ Ом.}$$

Сопротивление контактов $r_{\text{конт}}$ принимаем равным 0,1 Ом.

Принимаем контрольный кабель АКРВГ, по условию прочности принимаем сечение жил 4 мм², расчетная длина $l = 6$ м. Тогда сопротивление проводов:

$$r_{\text{пр}} = \frac{\rho \cdot l_{\text{расч}}}{F} = \frac{0,0283 \cdot 6}{4} = 0,04 \text{ Ом.}$$

Вторичная нагрузка трансформатора тока:

$$r_2 = r_{\text{приб}} + r_{\text{пр}} + r_{\text{конт}} = 0,58 + 0,04 + 0,1 = 0,72 \text{ Ом.}$$

Номинальная нагрузка трансформатора тока:

$$Z_{2\text{ном}} = \frac{S_{\text{ном}}}{I_{2\text{ном}}^2} = \frac{10}{5^2} = 0,4 \text{ Ом.}$$

Так как вторичная нагрузка больше номинальной ($r_2 > Z_{2\text{ном}}$), принимаем к установке по 2 ТТ на фазу.

Выполним проверки трансформатора тока.

По напряжению:

$$U_{\text{ном}} = 6 \text{ кВ} = U_{\text{уст}} = 6 \text{ кВ.}$$

По току:

$$I_{1\text{ном}} = 1000 \text{ А} > I_{\text{раб.макс}} = 874,8 \text{ А.}$$

На электродинамическую стойкость:

$$i_{\text{дин}} = 125 \text{ кА} > i_{\text{уд}} = 25,9 \text{ кА.}$$

На термическую стойкость:

$$I_{\text{терм}}^2 \cdot t_{\text{терм}} = 33^2 \cdot 3 = 3267 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} > B_k = 18,05 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$$

10.6 Выбор разъединителей

Выбор разъединителей QS1, QS2 производим по току линии в послеаварийном режиме:

$$I_{ном} \geq I_{п.ав} = 104,96 \text{ А.}$$

По [1, табл. 7.10] выбираем разъединитель РНД32-110/1000У1, паспортные данные которого приведены в таблице 10.6.1.

Таблица 10.6.1 – Паспортные данные разъединителя РНД32-110/1000У1

Тип	РНД32-110/1000У1
Номинальное напряжение, кВ	110
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	126
Номинальный ток, А	1000
Амплитуда предельного сквозного тока, кА	80
Предельный ток термической стойкости, кА	31,5
Время протекания тока термической стойкости, с	3

Выбор разъединителей QS3, QS4 производим по току линии в нормальном режиме:

$$I_{ном} \geq I_{расч} = 52,48 \text{ А.}$$

Так как время действия релейной защиты неизвестно, делаем проверку по максимуму, принимая, что приведенное время отключения тока КЗ $t_{пр} = t_{терм}$.

Результаты выбора и проверок сведем в таблицу 10.6.2.

Таблица 10.6.2 – Проверки разъединителя

Расчетные параметры защищаемой цепи	Паспортные данные аппарата	Условия выбора и проверки
110 кВ	110 кВ	$U_{ном} \geq U_{уст}$
104,96 А для QS1, QS2 52,48 А для QS3, QS4	1000 А	$I_{ном} \geq I_{расч}; I_{ном} \geq I_{п.ав}$

Продолжение таблицы 10.6.2

22,4 кА	80 кА	$i_{уд} \leq i_{пр.ск}$
702,3 кА ² ·с	2976,75 кА ² ·с	$I_{терм}^2 \cdot t_{терм} \geq B_k = I_{н0}^2 \cdot t_{пр}$

Выбор разъединителей QS7-QS10 производим по току линии в нормальном режиме:

$$I_{ном} \geq I_{н.ав} = 104,96 \text{ А.}$$

По [1, табл. 7.10] выбираем разъединитель РНД31-110/1000У1 с одним заземляющим ножом. Параметры данного разъединителя аналогичны параметрам представленным в таблице 10.6.1. Проверки аналогичны рассмотренным в таблице 10.6.2.

Выбор разъединителей QS5, QS6 для трансформаторов напряжения НКФ-110-57-0,5-400-УХЛ1 производится по отключающей способности, так как номинальный ток первичной обмотки незначительный ($S_{max} = 2000 \text{ ВА}$).

$$I_{номТН} = \frac{S_{max}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{2000}{\sqrt{3} \cdot 110} = 0,01 \text{ А.}$$

Выбираем разъединитель РНД31-110/1000У1.

Выбираем разъединители QS11, QS12 для трансформаторов собственных нужд ТМ-630/6.

$$I_{номТСН} = \frac{S_{max}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 6} = 60,6 \text{ А.}$$

Выбираем разъединитель РЛНД-10/400У1.

10.7 Выбор высоковольтных выключателей

На 110 кВ предварительно выбираем элегазовые выключатели типа ВГТ-110-40/3150-У1, паспортные данные которых приведены в таблице 10.7.1.

Таблица 10.7.1 – Паспортные данные выключателя ВГТ-110-40/3150-У1

Тип	ВГТ-110-40/3150-У1
Номинальное напряжение, кВ	110

Продолжение таблицы 10.7.1

Наибольшее рабочее напряжение, кВ	126
Номинальный ток, А	3150
Амплитуда предельного сквозного тока, кА	102
Предельный ток термической стойкости, кА	40
Время протекания тока термической стойкости, с	3
Собственное время отключения, с	0,035
Полное время отключения, с	0,055

Выполним проверки выбранного выключателя.

По напряжению:

$$U_{ном} = 110 \text{ кВ} = U_{уст} = 110 \text{ кВ.}$$

По току:

$$I_{ном} = 3150 \text{ А} > I_{номВН} = 52,48 \text{ А.}$$

На электродинамическую стойкость:

$$i_{дин} = 102 \text{ кА} > i_{уд} = 22,4 \text{ кА.}$$

По отключающей способности:

$$I_{ном.откл} = 40 \text{ кА} > I_{n0} = 15,3 \text{ кА.}$$

На термическую стойкость:

$$I_{терм}^2 \cdot t_{терм} = 40^2 \cdot 3 = 4800 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} > B_k = 15,9 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

где, тепловой импульс:

$$B_k = I_{n0}^2 \cdot (t_{np} + T_a) = 15,3^2 \cdot (0,065 + 0,003) = 15,9 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

постоянная времени затухания апериодической составляющей тока КЗ:

$$T_a = \frac{x_{ВЛ}}{\omega \cdot r_{ВЛ}} = \frac{x_{ВЛ}}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot r_{ВЛ}} = \frac{0,22}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,243} = 0,003 \text{ с};$$

приведенное время отключения тока КЗ:

$$t_{np} = t_{p.з.} + t_{откл} = 0,01 + 0,055 = 0,065 \text{ с.}$$

Выбранный выключатель удовлетворяет условия проверок.

Выбираем выключатели на 6 кВ.

Расчетный ток для выключателей Q3, Q4 $I_{расч} = 1,4 \cdot I_{номНН} = 1,4 \cdot 874,8 = 1224,7 \text{ А}$, для Q5 - $I_{расч} = 874,8 \text{ А}$.

Предварительно выбираем выключатели по [4, табл.1]:

Для Q3, Q4 – ВВ/TEL-10-20/1600-У2;

Для Q5 – ВВ/TEL-10-20/1000-У2.

Паспортные данные выключателей приведены в таблице 10.7.2.

Таблица 10.7.2 – Паспортные данные выключателей ВВ/TEL-10-20/1000-У2 и ВВ/TEL-10-20/1600-У2

Тип	ВВ/TEL-10-20/1000-У2	ВВ/TEL-10-20/1600-У2
Номинальное напряжение, кВ	10	10
Номинальный ток, А	1000	1600
Номинальный ток отключения, кА	20	20
Ток динамической стойкости, кА	51	51
Ток термической стойкости, кА	20	20
Время протекания тока термической стойкости, с	3	3
Полное время отключения, с	0,042	0,035

Для проверки данных марок выключателей достаточно проверить только выключатель ВВ/TEL-10-20/1000-У2.

Выполним проверки выбранного выключателя.

По напряжению:

$$U_{ном} = 10 \text{ кВ} > U_{уст} = 6 \text{ кВ.}$$

По току:

$$I_{ном} = 1000 \text{ А} > I_{номВН} = 874,8 \text{ А.}$$

На электродинамическую стойкость:

$$i_{дин} = 51 \text{ кА} > i_{yo} = 25,9 \text{ кА.}$$

По отключающей способности:

$$I_{ном.откл} = 20 \text{ кА} > I_{n0} = 9,5 \text{ кА.}$$

На термическую стойкость:

$$I_{терм}^2 \cdot t_{терм} = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} > B_k = 61,5 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

где, тепловой импульс:

$$B_k = I_{n0}^2 \cdot (t_{np} + T_a) = 9,5^2 \cdot (0,542 + 0,14) = 61,5 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

постоянная времени затухания апериодической составляющей тока КЗ:

$$T_a = \frac{(x_{ВЛ} + x_{ТП})}{\omega \cdot r_{ВЛ}} = \frac{(x_{ВЛ} + x_{ТП})}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot r_{ВЛ}} = \frac{(0,22 + 10,5)}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,243} = 0,14 \text{ с.}$$

приведенное время отключения тока КЗ:

$$t_{np} = t_{p.z.} + t_{откл} = 0,5 + 0,042 = 0,542 \text{ с.}$$

Выбранный выключатель полностью удовлетворяет условия проверки.

Выбор выключателей Q6-Q17.

Расчетные токи представлены в таблице 10.7.3.

По [1, табл. 7.7] предварительно выбираем выключатели типа ВВ/TEL-10-20/1000, паспортные данные которых представлены в таблице 10.7.4.

Таблица 10.7.3 – Расчетные токи и соответствующие марки выключателей

№	$I_{расч}$	Марка выключателя
Q6, Q18	278,4	ВВ/TEL-10-20/1000
Q7, Q14	240,6	ВВ/TEL-10-20/1000
Q8, Q9, Q10, Q11, Q13, Q15, Q16, Q17	60,6	ВВ/TEL-10-20/1000
Q12	48,1	ВВ/TEL-10-20/1000

Таблица 10.7.4 – Паспортные данные выключателя типа ВВ/TEL-10-20/1000

Тип	ВВ/TEL-10-20/1000
Номинальное напряжение, кВ	10
Номинальный ток, А	1000
Номинальный ток отключения, кА	20
Ток динамической стойкости, кА	51
Ток термической стойкости, кА	20
Время протекания тока термической стойкости, с	3
Полное время отключения, с	0,042

Выполним проверки выбранного выключателя.

По напряжению:

$$U_{ном} = 10 \text{ кВ} > U_{уст} = 6 \text{ кВ.}$$

По току:

$$I_{ном} = 1000 \text{ А} > I_{раб.маx} = 278,4 \text{ А.}$$

На электродинамическую стойкость:

$$i_{дин} = 51 \text{ кА} > i_{уд} = 25,9 \text{ кА.}$$

По отключающей способности:

$$I_{ном.откл} = 20 \text{ кА} > I_{n0} = 9,5 \text{ кА.}$$

На термическую стойкость:

$$I_{терм}^2 \cdot t_{терм} = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} > B_k = 17,3 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

где, тепловой импульс:

$$B_k = I_{n0}^2 \cdot (t_{нр} + T_a) = 9,5^2 \cdot (0,052 + 0,14) = 17,3 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

постоянная времени затухания апериодической составляющей тока КЗ:

$$T_a = \frac{(x_{ВЛ} + x_{ТР})}{\omega \cdot r_{ВЛ}} = \frac{(x_{ВЛ} + x_{ТР})}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot r_{ВЛ}} = \frac{(0,22 + 10,5)}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,243} = 0,14 \text{ с.}$$

приведенное время отключения тока КЗ:

$$t_{np} = t_{p.з.} + t_{откл} = 0,01 + 0,042 = 0,052 \text{ с.}$$

Выбранный выключатель удовлетворяет всем условиям проверок.

10.8 Выбор предохранителей

Для выбора предохранителей для защиты трансформаторов собственных нужд найдем номинальный ток первичной обмотки ТМ-630/6:

$$I_{номТСН} = \frac{S_{max}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 6} = 60,6 \text{ А.}$$

По [1, табл. 7.8] предварительно выбираем предохранители ПКТ-102-6-80-20-У3, паспортные данные и условия выбора которых приведены в таблице 10.8.1.

Таблица 10.8.1 – Результаты выбора и проверки предохранителя ПКТ-102-6-80-20-У3

Расчетные параметры защищаемой цепи	Паспортные данные аппарата	Условия выбора и проверки
6 кВ	10 кВ	$U_{уст} \leq U_{ном}$
60,6 А	80 А	$I_{расч} \leq I_{ном.вст}$
9,5 кА	20 кА	$I_{п0} \leq I_{ном.откл}$

Выбранные предохранители удовлетворяют всем условиям проверки.

Для защиты трансформаторов напряжения 6 кВ по [1, табл. 7.8] выбираем предохранители ПКН-001-6-ХЛ1. Проверки для них не требуются.

10.9 Выбор ограничителей перенапряжения

Для защиты силовых трансформаторов и трансформаторов напряжения со стороны 110 кВ по [1, табл. 7.13] выбираем ОПН типа ОПН-П1-110/77/10/2-УХЛ1.

Для защиты силовых трансформаторов и ТСН со стороны 6 кВ по [1, табл. 7.13] выбираем ОПН типа ОПН-П-6/7,2/10-1-III-УХЛ1.

11. Электроснабжение механического цеха

Электроснабжение цеха выполняется в следующей последовательности:

1. Все электроприемники цеха распределяются по пунктам питания (ШР, ПР, ШРА, ШМА), выбирается схема и способ прокладки питающей сети цеха (от ТП до пунктов питания). При выборе способа прокладки питающей сети необходимо учитывать условия окружающей среды и возможные условия места прокладки.

2. Производится расчет электрических нагрузок по пунктам питания и по цеху в целом.

3. Осуществляется выбор силовой распределительной сети и защитных аппаратов цеха.

4. Выбираются сечения питающей сети по условиям нагрева и производится их проверка по потере напряжения.

5. Производится построение эпюры отклонений напряжения для цепочки линий от шин ГПП до зажимов одного наиболее удаленного от цеховой ТП или наиболее мощного ЭП для режимов максимальной и минимальной нагрузок, а также послеаварийного режима.

6. Для участка цеховой сети строится карта селективности действия аппаратов защиты.

7. Выполняется расчет ТКЗ для участка цеховой сети от ТП до наиболее мощного ЭП цеха. Полученные данные наносятся на карту селективности действия аппаратов защиты.

На рисунке 11.1 приведена схема питания механического цеха.

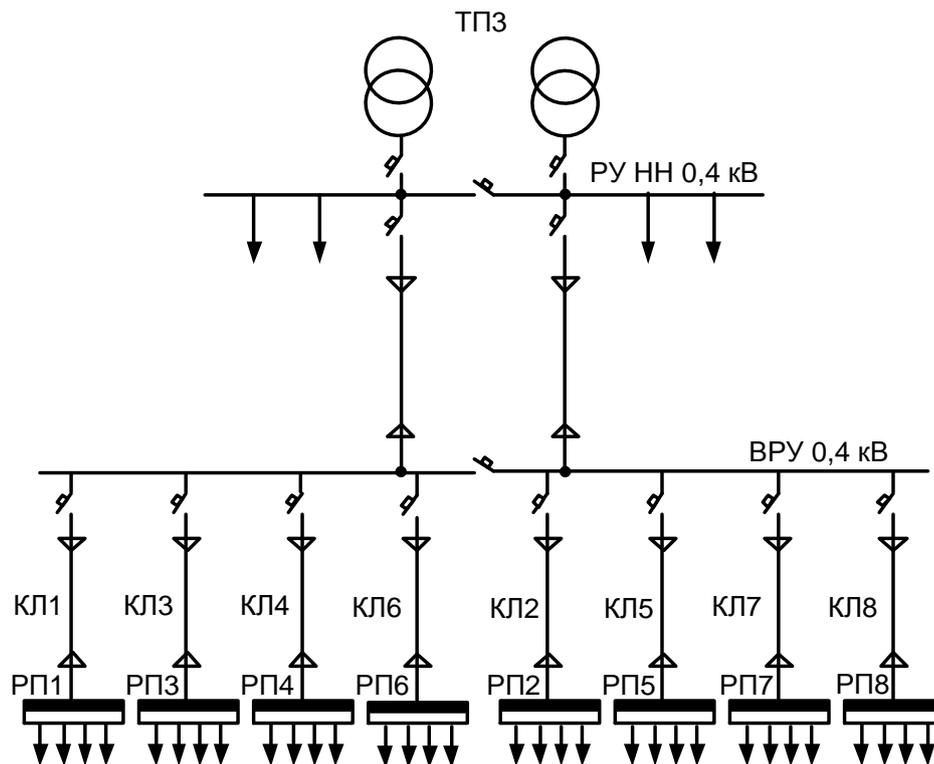


Рисунок 11.1 – Схема питания механического цеха

11.1 Выбор силовых распределительных пунктов

Пример выбора распределительного пункта приведем для РП1.

$$I_{ном} \geq I_p = 85,75 \text{ А};$$

$$n_{отх.лин} \geq n_{лин} = 5.$$

По [5, табл. 8.1] выбираем распределительный пункт ПР11-1060-21 с автоматическими выключателями на фидерах серий ВА57-35 и ВА57-39, технические данные которого приведены в таблице 11.1.1.

Таблица 11.1.1 – Технические данные распределительного пункт ПР11-1060-21

Аппарат ввода	ВА57-35
Номинальный ток, А	250
Длительно допустимый ток пункта, А	225
Количество выключателей на фидерах	6

Аналогично выбираем распределительные шкафы для остальных групп электроприемников. Результаты выбора сведем в таблицу 11.1.2.

Таблица 11.1.2 – Распределительные пункты

№ РП	I_p, A	$n_{\text{лин}}$	Тип РП	$I_{\text{ном}}, A$	$n_{\text{отх.лин}}$
РП1	85,75	5	ПР11-1060-21	250	6
РП2	41,2	6	ПР11-1060-21	250	6
РП3	15,1	4	ПР11-1054-21	250	4
РП4	37,1	5	ПР11-1060-21	250	6
РП5	24,9	8	ПР11-1068-21	250	8
РП6	13,7	8	ПР11-1068-21	250	8
РП7	40,66	7	ПР11-1068-21	250	8
РП8	42,1	7	ПР11-1068-21	250	8

11.2 Выбор автоматических выключателей

Произведем выбор автоматического выключателя для вертикально-фрезерного станка.

Определим номинальный ток вертикально-фрезерного станка:

$$I_{\text{ном}} = \frac{P_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \cos \varphi \cdot \eta} = \frac{8}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,8 \cdot 0,8} = 18,9 \text{ А.}$$

Пусковой ток:

$$I_{\text{пуск}} = 5 \cdot I_{\text{ном}} = 5 \cdot 18,9 = 94,5 \text{ А.}$$

Выбираем АВ типа ВА57-35 с $I_{\text{ном.АВ}} = 250 \text{ А}$; $I_{\text{ном.тепл}} = 25 \text{ А}$, $K_{\text{КЗ}} = 6$ по [6, табл.1].

Выполним проверки выбранного автоматического выключателя:

$$I_{\text{ном.АВ}} = 250 \text{ А} \geq K_{\text{зан}} \cdot I_{\text{ном}} = 1,15 \cdot 18,9 = 21,7 \text{ А};$$

$$I_{\text{ном.тепл}} = 25 \text{ А} \geq K_{\text{зан}} \cdot I_{\text{ном}} = 1,15 \cdot 18,9 = 21,7 \text{ А};$$

$$I_{\text{КЗ}} = K_{\text{КЗ}} \cdot I_{\text{ном.тепл}} = 6 \cdot 25 = 150 \text{ А} \geq 1,5 \cdot I_{\text{пуск}} = 1,5 \cdot 94,5 = 141,75 \text{ А.}$$

Выбранный автоматический выключатель удовлетворяет условиям проверки. Аналогично выбираем автоматические выключатели для остальных электроприемников цеха, результаты выбора сведем в таблицу 11.2.1.

Произведем выбор вводного автоматического выключателя распределительного пункта РПЗ.

Номинальный ток группы ЭП РПЗ: $I_{ном} = I_{расч} = 15,1 \text{ А}$.

Пиковый ток группы:

$$I_{пик} = I_{пуск.мах} + (\sum I_{ном} - I_{ном.мах}) = 71 + (4 \cdot 14,2 - 14,2) = 113,6 \text{ А}.$$

Выбираем АВ типа ВА57-35 с $I_{номАВ} = 250 \text{ А}$; $I_{ном.тепл} = 20 \text{ А}$, $K_{КЗ} = 8$.

Выполним проверки выбранного автоматического выключателя:

$$I_{номАВ} = 250 \text{ А} \geq K_{зан} \cdot I_{расч} = 1,1 \cdot 15,1 = 16,6 \text{ А};$$

$$I_{ном.тепл} = 20 \text{ А} \geq K_{зан} \cdot I_{расч} = 1,1 \cdot 15,1 = 16,6 \text{ А};$$

$$I_{КЗ} = K_{КЗ} \cdot I_{ном.тепл} = 8 \cdot 20 = 160 \text{ А} \geq 1,25 \cdot I_{пик} = 1,25 \cdot 113,6 = 142 \text{ А}.$$

Выбранный выключатель удовлетворяет условиям проверки. Но в данном случае не обеспечиваются условия селективности с выключателем ВА57-35, который защищает токарно-револьверный станок. Поэтому выбираем ВА57-35 с $I_{номАВ} = 250 \text{ А}$; $I_{ном.тепл} = 25 \text{ А}$, $K_{КЗ} = 10$.

Аналогично выбираем автоматические выключатели для остальных распределительных пунктов, результаты выбора сведем в таблицу 11.2.2.

Таблица 11.2.1 – Выбор автоматических выключателей ЭП

№ ЭП	Наименование ЭП	$P_{н,}$ кВт	$I_{ном,}$ А	$I_{пуск,}$ А	$K_{зап} \cdot I_{ном,}$ А	$1,5 \cdot I_{пуск,}$ А	Марка ВА	$I_{номAB,}$ А	$I_{ном.тепл,}$ А	$K_{кз}$	$I_{кз,}$ А
1-3	Вертикально-фрезерный станок	8	18,9	94,5	21,7	141,75	ВА57-35	250	25	6	150
4, 5	Фрезерный станок с ЧПУ	20	37,5	187,6	43,1	281,4	ВА57-35	250	50	6	300
6, 7	Универсально-фрезерный станок	11	23,1	115,7	26,6	173,5	ВА57-35	250	31,5	6	189
8-11	Токарно-револьверный станок	6	14,2	71	16,3	160,5	ВА57-35	250	20	10	200
12, 13	Токарно-винторезный станок	12	28,5	142,5	32,8	213,75	ВА57-35	250	40	6	240
14-21	Настольно-сверлильный станок	6	14,2	71	16,3	106,5	ВА57-35	250	20	6	120
22-24	Резьбонарезной полуавтомат	2,2	5,97	29,8	6,86	44,8	ВА57-35	250	16	4	64
25, 26	Заточной станок	5	11,9	59,5	13,7	89,3	ВА57-35	250	16	6	96
27	Листозагибочная машина	22	41,3	206,5	47,5	309,75	ВА57-35	250	50	8	400

Продолжение таблицы 11.2.1

28-31	Точильно-шлифовальный станок	7	16,6	83,1	19,1	124,6	BA57-35	250	20	8	160
32-34	Вертикально-сверлильный станок	3	7,1	35,5	8,2	53,3	BA57-35	250	16	4	64
35, 36	Радиально-сверлильный станок	9	21,4	107	24,6	160,5	BA57-35	250	25	8	200
37, 38	Универсально-заточной станок	10	23,7	118,5	27,3	117,75	BA57-35	250	31,5	4	126
39	Плоскошлифовальный станок	19	35,6	178	40,9	267	BA57-35	250	50	6	300
40, 41	Полировальный станок	5	11,87	59,3	13,65	89,1	BA57-35	250	16	6	96
42	Сварочная машина	9	21,4	64,2	24,6	96,3	BA57-35	250	25	4	100
43-48	Сварочная кабина	8	18,9	56,7	21,7	85,1	BA57-35	250	25	4	100
49, 50	Вентиляторы	10	23,3	111,7	25,7	167,6	BA57-35	250	31,5	6	189

Таблица 11.2.2 – Выбор вводных автоматических выключателей РП

№ РП	I_p, A	$I_{пик}, A$	$1,25 \cdot I_{пик}, A$	Марка ВА	$I_{ном.ав}, A$	$I_{ном.тепл}, A$	$K_{КЗ}$	$I_{КЗ}, A$
РП1	85,75	294,6	368,3	ВА57-35	250	100	4	400
РП2	41,2	180,3	225,4	ВА57-35	250	50	5	250
РП3	15,1	113,6	142	ВА57-35	250	25	10	250
РП4	37,1	244,2	305,3	ВА57-35	250	63	5	315
РП5	24,9	94,2	117,75	ВА57-35	250	31,5	4	126
РП6	13,7	71,8	89,75	ВА57-35	250	20	5	100
РП7	40,66	238,9	298,6	ВА57-35	250	63	8	504
РП8	42,1	102,02	127,5	ВА57-35	250	50	4	200

Выбираем вводной автоматический выключатель ВРУ.

Расчетный ток механического цеха:

$$I_{расч} = 224,5 \text{ А.}$$

Определим пиковый ток группы ЭП механического цеха:

$$I_{пик} = I_{пуск.мах} + (I_{расч} - K_{И} \cdot I_{ном.мах}) = 206,5 + (224,5 - 0,2 \cdot 41,3) = 422,7 \text{ А.}$$

Согласно полученным данным по [7] выбираем вводное распределительное устройство ВРУ1-50-00А с выключателями типа ВА57-35.

Выбираем автоматический выключатель типа ВА57-35 с $I_{ном.ав} = 250 \text{ А}$;
 $I_{ном.тепл} = 250 \text{ А}$, $K_{КЗ} = 2,5$.

Выполним проверки выбранного автоматического выключателя:

$$I_{ном.ав} = 250 \text{ А} \geq K_{зан} \cdot I_{расч} = 1,1 \cdot 224,5 = 246,95 \text{ А};$$

$$I_{ном.тепл} = 250 \text{ А} \geq K_{зан} \cdot I_{расч} = 1,1 \cdot 224,5 = 246,95 \text{ А};$$

$$I_{КЗ} = K_{КЗ} \cdot I_{ном.тепл} = 2,5 \cdot 250 = 625 \text{ А} \geq 1,25 \cdot I_{пик} = 1,25 \cdot 422,7 = 528,4 \text{ А.}$$

Выбранный выключатель удовлетворяет условиям проверки.

Выбираем секционный выключатель ВРУ.

Расчетный ток одной секции шин:

$$I_{расч} = I_{расчПП1} + I_{расчПП3} + I_{расчПП4} + I_{расчПП6} = \\ = 85,75 + 15,1 + 37,1 + 13,7 = 151,65 \text{ А.}$$

Определим пиковый ток группы ЭП механического цеха:

$$I_{пик} = I_{пуск.маx} + (I_{расч} - K_{II} \cdot I_{ном.маx}) = 187,6 + (151,65 - 0,6 \cdot 37,5) = 316,75 \text{ А.}$$

Выбираем автоматический выключатель типа ВА57-35 с $I_{номAB} = 250 \text{ А}$;
 $I_{ном.тепл} = 200 \text{ А}$, $K_{КЗ} = 2,5$.

Выполним проверки выбранного автоматического выключателя:

$$I_{номAB} = 200 \text{ А} \geq K_{зан} \cdot I_{расч} = 1,1 \cdot 151,65 = 166,8 \text{ А};$$

$$I_{ном.тепл} = 200 \text{ А} \geq K_{зан} \cdot I_{расч} = 1,1 \cdot 151,65 = 166,8 \text{ А};$$

$$I_{КЗ} = K_{КЗ} \cdot I_{ном.тепл} = 2,5 \cdot 200 = 500 \text{ А} \geq 1,25 \cdot I_{пик} = 1,25 \cdot 316,75 = 395,9 \text{ А.}$$

Выбранный выключатель удовлетворяет условиям проверки.

Выбираем вводной выключатель РУ НН ТПЗ.

Номинальный ток трансформатора ТПЗ:

$$I_{номТП} = \frac{S_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 957,2 \text{ А.}$$

На цеховой подстанции ТПЗ установлено два трансформатора, поэтому возможен послеаварийный режим. Его необходимо учесть, учитывая, что при выходе из работы одного трансформатора второй может работать с перегрузкой 40%.

Ток послеаварийного режима:

$$I_{н.ав} = 1,4 \cdot I_{н.ав} = 1,4 \cdot 957,2 = 1340,1 \text{ А.}$$

Пиковый ток группы ЭП механического цеха:

$$I_{пик} = I_{пуск.маx} + (I_{номТП} - K_{II} \cdot I_{ном.маx}) = 206,5 + (957,2 - 0,2 \cdot 41,3) = 1155,4 \text{ А.}$$

По [8, стр. 88] выбираем автоматический выключатель типа ВА74-43 с $I_{номAB} = 1600 \text{ А}$; $I_{ном.тепл} = 1600 \text{ А}$, $K_{КЗ} = 2$.

Выполним проверки выбранного автоматического выключателя:

$$I_{номAB} = 1600 \text{ А} \geq K_{зан} \cdot I_{н.ав} = 1,1 \cdot 1340,1 = 1474,1 \text{ А};$$

$$I_{ном.тепл} = 1600 \text{ А} \geq K_{зан} \cdot I_{н.ав} = 1,1 \cdot 1340,1 = 1474,1 \text{ А};$$

$$I_{КЗ} = K_{КЗ} \cdot I_{ном.тепл} = 2 \cdot 1600 = 3200 \text{ А} \geq 1,25 \cdot I_{тик} = 1,25 \cdot 1155,4 = 1444,3 \text{ А}.$$

Выбранный выключатель удовлетворяет условиям проверки.

Выберем секционный выключатель РУ НН ТПЗ.

По [8, стр. 88] выбираем автоматический выключатель типа ВА74-43 с $I_{номАВ} = 1600 \text{ А}$; $I_{ном.тепл} = 1250 \text{ А}$, $K_{КЗ} = 2$.

Выполним проверки выбранного автоматического выключателя:

$$I_{номАВ} = 1250 \text{ А} \geq K_{зан} \cdot I_{н.ав} = 1,1 \cdot 957,2 = 1052,9 \text{ А};$$

$$I_{ном.тепл} = 1250 \text{ А} \geq K_{зан} \cdot I_{н.ав} = 1,1 \cdot 957,2 = 1052,9 \text{ А};$$

$$I_{КЗ} = K_{КЗ} \cdot I_{ном.тепл} = 2 \cdot 1250 = 2500 \text{ А} \geq 1,25 \cdot I_{тик} = 1,25 \cdot 1155,4 = 1444,3 \text{ А}.$$

Выбранный выключатель удовлетворяет условиям проверки.

11.3 Выбор сечений цеховой электрической сети

Выбор сечений силовых линий до 1000 В производится:

- по допустимому нагреву проводника длительным током;
- по условию соответствия выбранному аппарату защиты;
- по потере напряжения.

Произведем выбор сечения кабеля, питающего вертикально-фрезерный станок.

Кабель проложен в кабельном канале, поэтому $K_1 = 1$, так как температура окружающей среды нормальная. Совместно с ним проложены еще 3 кабеля, поэтому поправочный коэффициент $K_2 = 0,84$ по [3, табл. 1.3.26].

Выбираем кабель марки АВВГ (4×4), с длительно допустимым током $I_{доп} = 38 \cdot 0,92 = 34,9 \text{ А}$ по [3, табл. 1.3.7].

Произведем проверки выбранного кабеля.

- по допустимому нагреву проводника длительным током:

$$I_{доп} = 38 \cdot 0,92 = 34,9 \text{ А} \geq \frac{I_{длит}}{K_{прокл}} = \frac{18,9}{0,84} = 22,5 \text{ А},$$

где $K_{\text{прокл}} = K_1 \cdot K_2 = 1 \cdot 0,84 = 0,84$ - коэффициент, учитывающий условия прокладки.

- по условию соответствия выбранному аппарату защиты:

$$I_{\text{доп}} = 38 \cdot 0,92 = 34,9 \text{ А} \geq \frac{K_{\text{защ}} \cdot I_{\text{защ}}}{K_{\text{прокл}}} = \frac{1 \cdot 25}{0,84} = 29,8 \text{ А},$$

где $K_{\text{защ}} = 1$ - кратность длительно допустимого тока для провода или кабеля по отношению к току срабатывания защитного аппарата по [2, табл. 9.4];

$I_{\text{защ}}$ - ток уставки срабатывания защитного аппарата.

Выбор сечений кабелей для остальных ЭП аналогичен, результаты выбора представлены в таблице 11.3.1.

Произведем выбор сечений кабелей, питающих РП.

Рассмотрим пример выбора сечения кабеля для РП1.

Кабель проложен открыто по стене с помощью скоб, следовательно $K_1 = 1$ и $K_2 = 1$.

Выбираем кабель марки АВВГ (4×25), с длительно допустимым током $I_{\text{доп}} = 105,8 \text{ А}$ по [3, табл. 1.3.7].

Произведем проверки выбранного кабеля.

- по допустимому нагреву проводника длительным током:

$$I_{\text{доп}} = 115 \cdot 0,92 = 105,8 \text{ А} \geq \frac{I_{\text{длит}}}{K_{\text{прокл}}} = \frac{85,75}{1} = 85,75 \text{ А}.$$

- по условию соответствия выбранному аппарату защиты:

$$I_{\text{доп}} = 115 \cdot 0,92 = 105,8 \text{ А} \geq \frac{K_{\text{защ}} \cdot I_{\text{защ}}}{K_{\text{прокл}}} = \frac{1 \cdot 100}{1} = 100 \text{ А}.$$

Выбранное сечение удовлетворяет условиям проверки.

Выбор сечений кабелей для остальных РП аналогичен, результаты выбора представлены в таблице 11.3.2.

Произведем выбор сечения кабеля, питающего ВРУ 0,4 кВ механического цеха от РУ НН ТПЗ.

Кабель проложен в траншее, поэтому $K_1 = 1$ и $K_2 = 0,92$ с учетом двух работающих кабелей.

Выбираем кабель марки ААШв (4×150) с $I_{доп} = 305$ А по [3, табл. 1.3.16].

Произведем проверки выбранного кабеля.

- по допустимому нагреву проводника длительным током:

$$I_{доп} = 305 \text{ А} \geq \frac{I_{длит}}{K_{прокл}} = \frac{224,5}{0,92} = 244,02 \text{ А.}$$

- по условию соответствия выбранному аппарату защиты:

$$I_{доп} = 305 \text{ А} \geq \frac{K_{защ} \cdot I_{защ}}{K_{прокл}} = \frac{1 \cdot 250}{0,92} = 271,7 \text{ А.}$$

Выбранный кабель удовлетворяет условиям проверки.

Таблица 11.3.1 – Выбор сечений кабельных линий к отдельным ЭП

№ ЭП	Наименование ЭП	$I_{\text{ном}},$ А	$K_{\text{прокл}}$	$I_{\text{ном}}/K_{\text{прокл}},$ А	$I_{\text{защ}},$ А	$K_{\text{защ}}$	$I_{\text{защ}} \cdot K_{\text{защ}} / K_{\text{прокл}}$	Марка кабеля	$I_{\text{доп}},$ А
1-3	Вертикально-фрезерный станок	18,9	0,84	22,5	25	1	29,8	АВВГ (4×4)	34,9
4, 5	Фрезерный станок с ЧПУ	37,5	0,84	44,6	50	1	59,5	АВВГ (4×10)	64,4
6, 7	Универсально-фрезерный станок	23,1	0,84	27,5	31,5	1	37,5	АВВГ (4×6)	42,3
8-11	Токарно-револьверный станок	14,2	0,84	16,9	20	1	23,8	АВВГ (4×2,5)	26,7
12, 13	Токарно-винторезный станок	28,5	0,92	30,98	40	1	43,5	АВВГ (4×10)	64,4
14-21	Настольно-сверлильный станок	14,2	0,75	18,9	20	1	26,7	АВВГ (4×2,5)	26,7
22-24	Резьбонарезной полуавтомат	5,97	0,81	7,4	16	1	19,8	АВВГ (4×2,5)	26,7
25, 26	Заточной станок	11,9	0,92	12,9	16	1	17,4	АВВГ (4×2,5)	26,7
27	Листозагибочная машина	41,3	1	41,3	50	1	50	АВВГ (4×10)	64,4
28-31	Точильно-шлифовальный станок	16,6	0,81	20,5	20	1	24,7	АВВГ (4×2,5)	26,7
32-34	Вертикально-сверлильный станок	7,1	0,81	8,8	16	1	19,75	АВВГ (4×2,5)	26,7
35, 36	Радиально-сверлильный станок	21,4	0,81	26,4	25	1	30,9	АВВГ (4×4)	34,9
37, 38	Универсально-заточной станок	23,7	0,87	27,2	31,5	1	38,9	АВВГ (4×6)	42,3
39	Плоскошлифовальный станок	35,6	0,87	40,9	50	1	57,5	АВВГ (4×10)	64,4
40, 41	Полировальный станок	11,87	0,92	12,9	16	1	17,4	АВВГ (4×2,5)	26,7
42	Сварочная машина	21,4	0,82	26,1	25	1	30,5	АВВГ (4×4)	34,9
43-48	Сварочная кабина	18,9	0,92	20,5	25	1	27,2	АВВГ (4×4)	34,9
49	Вентилятор	23,3	1	23,3	31,5	1	31,5	АВВГ (4×4)	34,9
50	Вентилятор	23,3	0,84	27,7	31,5	1	37,5	АВВГ (4×6)	42,3

Таблица 11.3.2 – Выбор сечений кабелей до РП

№ РП	$I_{\text{расч}}, \text{А}$	$K_{\text{прокл}}$	$I_{\text{расч}}/K_{\text{прокл}}, \text{А}$	$I_{\text{защ}}, \text{А}$	$K_{\text{защ}}$	$I_{\text{защ}} \cdot K_{\text{защ}} / K_{\text{прокл}}$	Марка кабеля	$I_{\text{доп}}, \text{А}$
РП1	85,75	1	85,75	100	1	100	АВВГ (4×25)	105,8
РП2	41,2	1	41,2	50	1	50	АВВГ (4×10)	64,4
РП3	15,1	1	15,1	25	1	25	АВВГ (4×2,5)	26,7
РП4	37,1	1	37,1	63	1	63	АВВГ (4×10)	64,4
РП5	24,9	1	24,9	31,5	1	31,5	АВВГ (4×4)	34,9
РП6	13,7	1	13,7	20	1	20	АВВГ (4×2,5)	26,7
РП7	40,66	1	40,66	63	1	63	АВВГ (4×10)	64,4
РП8	42,1	1	42,1	50	1	50	АВВГ (4×10)	64,4

12. Проверка внутрицеховой сети по потерям напряжения. Построение эпюр отклонения напряжения от ГПП до наиболее удаленного и мощного ЭП.

Расчетная схема для построения эпюры отклонения напряжения приведена на рисунке 12.1.

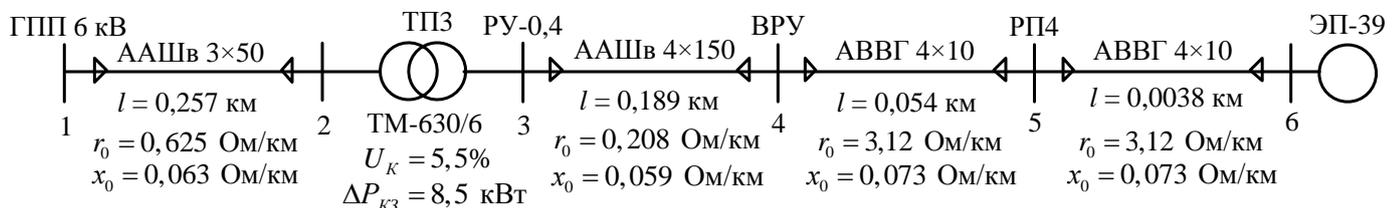


Рисунок 12.1 – Расчетная схема для построения эпюр отклонения напряжения

Цеховая ТПЗ – двухтрансформаторная, поэтому нужно рассмотреть максимальный, минимальный и послеаварийный режимы работы сети.

12.1 Рассчитаем нагрузки максимального режима.

Узел 6 – плоскошлифовальный станок. В качестве привода используется АД. Определим расчетную нагрузку привода по номинальным данным:

$$S_{расчЭП} = S_{расч6} = 19 + j9,12 \text{ кВА.}$$

Узел 5 – РП4. Расчетная нагрузка определяется методом коэффициента расчетной активной мощности:

$$S_{расчРП} = S_{расч5} = 21,28 + j11,9 \text{ кВА.}$$

Узел 4 – ВРУ механического цеха. Расчетная нагрузка также определена методом коэффициента расчетной активной мощности:

$$S_{расчВРУ} = S_{расч4} = 95,78 + j112,5 \text{ кВА.}$$

Расчетная нагрузка на одну кабельную линию:

$$S_{расчКЛ} = \frac{S_{расч4}}{2} = \frac{95,78 + j112,5}{2} = 47,89 + j56,25 \text{ кВА.}$$

Узел 3 – РУ НН ТПЗ. Расчетная нагрузка найдена по методу коэффициента спроса:

$$S_{расчТПЗ} = S_{расч3} = 638,51 + j680,5 \text{ кВА.}$$

Расчетная нагрузка на один трансформатор:

$$S_{p.mp} = \frac{S_{расчТПЗ}}{2} = \frac{638,51 + j680,5}{2} = 319,26 + j340,25 \text{ кВА.}$$

Узел 2 – сторона ВН трансформатора ТПЗ. Нагрузка является суммой мощности на стороне НН и потерь мощности в трансформаторе.

Определим потери мощности в трансформаторе ТМ-630/6, паспортные данные которого приведены в таблице 4.2.

Потери активной мощности:

$$\Delta P_{mp} = \Delta P_{XX} + \Delta P_{K3} \cdot \beta^2 = 1,31 + 8,5 \cdot \left(\frac{\sqrt{319,26^2 + 340,25^2}}{630} \right)^2 = 5,97 \text{ кВт.}$$

Потери реактивной мощности:

$$\begin{aligned} \Delta Q_{mp} &= \Delta Q_{XX} + \Delta Q_{K3} \cdot \beta^2 = S_{ном.тр} \cdot \frac{I_{XX}}{100} + S_{ном.тр} \cdot \frac{U_{K3}}{100} \cdot \beta^2 = \\ &= 630 \cdot \frac{2}{100} + 630 \cdot \frac{5,5}{100} \cdot \left(\frac{\sqrt{319,26^2 + 340,25^2}}{630} \right)^2 = 31,6 \text{ кВар.} \end{aligned}$$

Расчетная нагрузка в узле 2:

$$P_{расч2} = P_{расч3} + \Delta P_{mp} = 319,26 + 5,97 = 325,23 \text{ кВт;}$$

$$Q_{расч2} = Q_{расч3} + \Delta Q_{mp} = 340,25 + 31,6 = 371,85 \text{ кВар.}$$

12.2 Рассчитаем нагрузки минимального режима.

$$P_{\min 12} = \frac{30}{100} \cdot P_{\max 12} = \frac{30}{100} \cdot 325,23 = 97,57 \text{ кВт;}$$

$$Q_{\min 12} = \frac{4}{50} \cdot Q_{\max 12} = \frac{4}{50} \cdot 371,95 = 29,76 \text{ кВар;}$$

$$P_{\min 23} = \frac{30}{100} \cdot P_{\max 23} = \frac{30}{100} \cdot 319,26 = 95,78 \text{ кВт;}$$

$$Q_{\min 23} = \frac{4}{50} \cdot Q_{\max 23} = \frac{4}{50} \cdot 340,25 = 27,22 \text{ кВар;}$$

$$P_{\min 34} = \frac{30}{100} \cdot P_{\max 34} = \frac{30}{100} \cdot 47,89 = 14,37 \text{ кВт;}$$

$$Q_{\min 34} = \frac{4}{50} \cdot Q_{\max 34} = \frac{4}{50} \cdot 56,25 = 4,5 \text{ кВар};$$

$$P_{\min 45} = \frac{30}{100} \cdot P_{\max 45} = \frac{30}{100} \cdot 21,28 = 6,38 \text{ кВт};$$

$$Q_{\min 45} = \frac{4}{50} \cdot Q_{\max 45} = \frac{4}{50} \cdot 11,9 = 0,95 \text{ кВар};$$

$$P_{\min 56} = \frac{30}{100} \cdot P_{\max 56} = \frac{30}{100} \cdot 19 = 5,7 \text{ кВт};$$

$$Q_{\min 56} = \frac{4}{50} \cdot Q_{\max 56} = \frac{4}{50} \cdot 9,12 = 0,73 \text{ кВар}.$$

12.3 Нагрузки послеаварийного режима.

Нагрузки послеаварийного режима определяются из анализа схемы сети. В данном случае в послеаварийном режиме нагрузки в узлах 2, 3 и 4 в два раза увеличатся в сравнении с максимальным, а в узлах 5 и 6 останутся без изменений.

Результаты расчета нагрузок в различных режимах представлены в таблице 12.1.

Таблица 12.1 – Результаты расчета нагрузок

Обозначение участка	Нагрузка в режимах, кВА		
	минимальный	максимальный	послеаварийный
1-2	$97,57 + j29,76$	$325,23 + j371,85$	$650,46 + j743,7$
2-3	$95,78 + j27,22$	$319,26 + j340,25$	$638,51 + j680,5$
3-4	$14,37 + j4,5$	$47,89 + j56,25$	$95,78 + j112,5$
4-5	$6,38 + j0,95$	$21,28 + j11,9$	$21,28 + j11,9$
5-6	$5,7 + j0,73$	$19 + j9,12$	$19 + j9,12$

12.4 Расчет режимов

Расчет режима максимальных нагрузок.

Участок 1-2:

Напряжение в начале участка принимаем $U_1 = 6,3 \text{ кВ}$.

$$R_{12} = r_0 \cdot l_{12} = 0,625 \cdot 0,257 = 0,161 \text{ Ом};$$

$$X_{12} = x_0 \cdot l_{12} = 0,063 \cdot 0,257 = 0,0162 \text{ Ом};$$

$$\Delta U_{12\%} = \frac{P_{12} R_{12} + Q_{12} X_{12}}{10 \cdot U_1^2} = \frac{325,23 \cdot 0,161 + 371,85 \cdot 0,0162}{10 \cdot 6,3^2} = 0,147 \text{ \%}.$$

В вольтах:

$$\Delta U_{12} = \Delta U_{12\%} \cdot \frac{U_1}{100} = 0,147 \cdot \frac{6300}{100} = 9,26 \text{ В}.$$

Напряжение в узле 2:

$$U_2 = U_1 - \Delta U_{12} = 6300 - 9,26 = 6290,74 \text{ В}.$$

Участок 2-3:

Найдем активную и реактивную составляющие напряжения КЗ трансформатора:

$$U_a \% = \frac{\Delta P_{КЗ}}{S_{ном.тр}} \cdot 100 = \frac{8,5}{630} \cdot 100 = 1,35 \text{ \%};$$

$$U_p \% = \sqrt{U_{КЗ}^2 - U_a^2} = \sqrt{5,5^2 - 1,35^2} = 5,33 \text{ \%}.$$

Фактический коэффициент загрузки трансформатора:

$$\beta = \frac{\sqrt{P_{12}^2 + Q_{12}^2}}{S_{ном.тр}} = \frac{\sqrt{325,23^2 + 371,85^2}}{630} = 0,78.$$

Потоки мощности, передаваемые через вторичную обмотку цехового трансформатора:

$$P_2 = P_{12} - \Delta P_{тр} = 325,23 - 5,97 = 319,26 \text{ кВт};$$

$$Q_2 = Q_{12} - \Delta Q_{тр} = 371,85 - 31,6 = 340,25 \text{ кВар};$$

$$S_2 = \sqrt{P_2^2 + Q_2^2} = \sqrt{319,26^2 + 340,25^2} = 466,58 \text{ кВА};$$

$$\cos \varphi_2 = \frac{P_2}{S_2} = \frac{319,26}{466,58} = 0,684;$$

$$\sin \varphi_2 = \frac{Q_2}{S_2} = \frac{340,25}{466,58} = 0,729.$$

Потери напряжения в трансформаторе:

$$\begin{aligned}\Delta U_{23\%} &= \beta \cdot (U_a \cdot \cos \varphi_2 + U_p \cdot \sin \varphi_2) + \frac{\beta^2}{200} \cdot (U_a \cdot \cos \varphi_2 - U_p \cdot \sin \varphi_2) = \\ &= 0,78 \cdot (1,35 \cdot 0,684 + 5,33 \cdot 0,729) + \frac{0,78^2}{200} \cdot (1,35 \cdot 0,684 - 5,33 \cdot 0,729) = 3,742 \text{ \%}.\end{aligned}$$

В вольтах:

$$\Delta U_{23} = \Delta U_{23\%} \cdot \frac{U_1}{100} = 3,742 \cdot \frac{6290,74}{100} = 235,3 \text{ В.}$$

С учетом потерь в обмотке ВН напряжение ВН равно:

$$U_{ВН} = U_2 - \Delta U_{23} = 6290,74 - 235,3 = 6055,44 \text{ В.}$$

Перерасчет напряжения НН:

$$U_3 = U_{\text{ср.ном}} \cdot \frac{U_{ВН}}{U_1} = 400 \cdot \frac{6055,44}{6300} = 384,5 \text{ В.}$$

Участок 3-4:

$$R_{34} = r_0 \cdot l_{34} = 0,208 \cdot 0,189 = 0,039 \text{ Ом};$$

$$X_{34} = x_0 \cdot l_{34} = 0,059 \cdot 0,189 = 0,0112 \text{ Ом};$$

$$\Delta U_{34\%} = \frac{P_{34} R_{34} + Q_{34} X_{34}}{10 \cdot U_3^2} = \frac{47,89 \cdot 0,039 + 56,25 \cdot 0,0112}{10 \cdot 0,3845^2} = 1,689 \text{ \%}.$$

В вольтах:

$$\Delta U_{34} = \Delta U_{34\%} \cdot \frac{U_3}{100} = 1,689 \cdot \frac{384,5}{100} = 6,49 \text{ В.}$$

Напряжение в узле 2:

$$U_4 = U_3 - \Delta U_{34} = 384,5 - 6,49 = 378,01 \text{ В.}$$

Участок 4-5:

$$R_{45} = r_0 \cdot l_{45} = 3,12 \cdot 0,054 = 0,168 \text{ Ом};$$

$$X_{45} = x_0 \cdot l_{45} = 0,073 \cdot 0,054 = 0,0039 \text{ Ом};$$

$$\Delta U_{45\%} = \frac{P_{45} R_{45} + Q_{45} X_{45}}{10 \cdot U_4^2} = \frac{21,28 \cdot 0,169 + 11,9 \cdot 0,0039}{10 \cdot 0,37801^2} = 2,549 \text{ \%}.$$

В вольтах:

$$\Delta U_{45} = \Delta U_{45\%} \cdot \frac{U_4}{100} = 2,549 \cdot \frac{378,01}{100} = 9,64 \text{ В.}$$

Напряжение в узле 2:

$$U_5 = U_4 - \Delta U_{45} = 378,01 - 9,64 = 368,37 \text{ В.}$$

Участок 5-6:

$$R_{56} = r_0 \cdot l_{56} = 3,12 \cdot 0,0038 = 0,0118 \text{ Ом;}$$

$$X_{56} = x_0 \cdot l_{56} = 0,073 \cdot 0,0038 = 0,00028 \text{ Ом;}$$

$$\Delta U_{56\%} = \frac{P_{56} R_{56} + Q_{56} X_{56}}{10 \cdot U_5^2} = \frac{19 \cdot 0,0118 + 9,12 \cdot 0,00028}{10 \cdot 0,3684^2} = 0,167 \text{ \%}.$$

В вольтах:

$$\Delta U_{56} = \Delta U_{56\%} \cdot \frac{U_5}{100} = 0,167 \cdot \frac{368,37}{100} = 0,615 \text{ В.}$$

Напряжение в узле 2:

$$U_6 = U_5 - \Delta U_{56} = 368,37 - 0,615 = 367,76 \text{ В.}$$

Расчет остальных режимов ведется подобным образом. В минимальном режиме $U_1 = 6$ кВ, в послеаварийном – $U_1 = 6,3$ кВ. Результаты расчетов сведем в таблицу 12.2. На рисунке 12.2 представлена эпюра отклонений напряжения.

Таблица 12.2 – Результаты расчетов нагрузок режимов

Обозначение участка	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6
Марка кабеля, сечение, мм ² длина, км	ААШв 3×50 0,257	$S_{\text{ном.тр}} = 630$ кВА $U_{\text{кз}} = 5,5$ % $\Delta P_{\text{кз}} = 8,5$ кВт	ААШв 4×150 0,189	АВВГ 4×10 0,054	АВВГ 4×10 0,0038
Сопротивление, Ом активное реактивное	0,161 0,0162	$U_a = 1,35$ % $U_p = 5,33$ %	0,039 0,0112	0,168 0,0039	0,0118 0,00028
Нагрузка в режимах, кВА максимальный минимальный послеаварийный	$325,23 + j371,85$ $97,57 + j29,76$ $650,46 + j743,7$	$319,26 + j340,25$ $95,78 + j27,22$ $638,51 + j680,5$	$47,89 + j56,25$ $14,37 + j4,5$ $95,75 + j112,5$	$21,28 + j11,9$ $6,38 + j0,95$ $21,28 + j11,9$	$5,7 + j0,73$ $19 + j9,12$ $19 + j9,12$
Потери напряжения, В в максимальном в минимальном в послеаварийном	9,26 18,52 18,52	235,3 27,89 468,97	6,49 1,61 13,54	9,64 2,87 10,24	0,615 0,179 0,65
Отклонение напряжения, % в максимальном в минимальном в послеаварийном	0,147 0,045 0,294	3,742 0,465 7,466	1,689 0,427 3,67	2,549 0,763 2,88	0,167 0,048 0,19

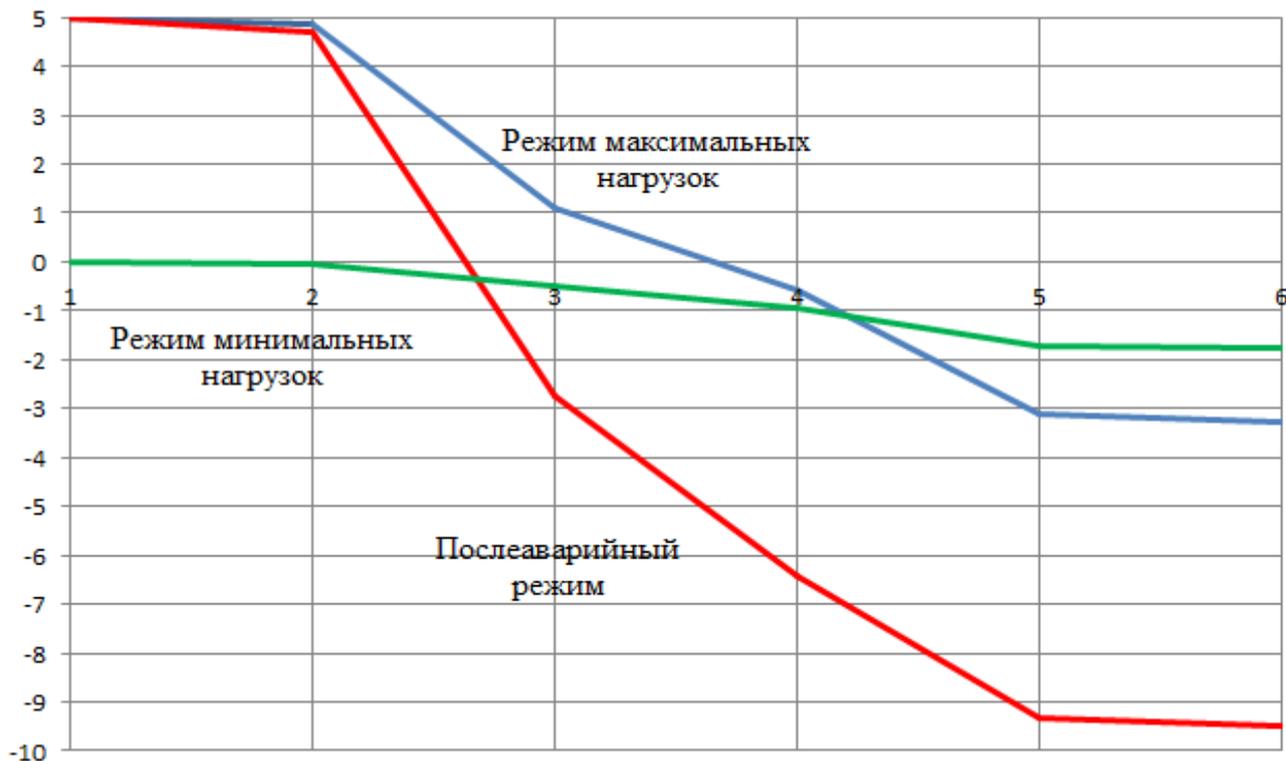
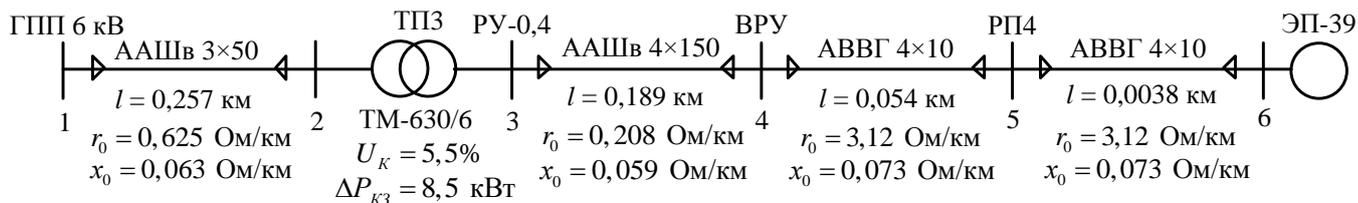


Рисунок 12.2 – Эпюра отклонений напряжения

По данной эпюре видно, что во всех режимах отклонения напряжения удовлетворяют требованиям ГОСТ.

13. Расчет токов короткого замыкания до 1000 В

Расчет токов короткого замыкания будем производить в именованных единицах для самого удаленного электроприемника цеха, которым является универсально-заточной станок. Сопротивления элементов схемы электроснабжения приведем к номинальному напряжению вторичной обмотки 0,4 кВ. Расчетная схема распределительной сети приведена на рисунке 13.1.

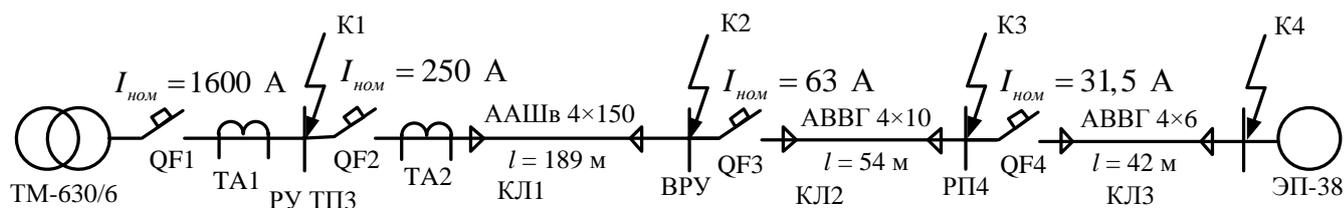


Рисунок 13.1 – Расчетная схема распределительной сети

Определим сопротивления элементов системы электроснабжения для расчета токов трехфазного КЗ.

Сопротивление силового трансформатора:

$$R_{\text{тр}} = 3,1 \text{ мОм}; X_{\text{тр}} = 13,6 \text{ мОм}.$$

Сопротивления автоматических выключателей QF1-QF4:

$$R_{\text{QF1}} = 0,08 \text{ мОм}; X_{\text{QF1}} = 0,08 \text{ мОм}; R_{\text{kQF1}} = 0,1 \text{ мОм};$$

$$R_{\text{QF2}} = 0,4 \text{ мОм}; X_{\text{QF2}} = 0,5 \text{ мОм}; R_{\text{kQF2}} = 0,6 \text{ мОм};$$

$$R_{\text{QF3}} = 2,4 \text{ мОм}; X_{\text{QF3}} = 2 \text{ мОм}; R_{\text{kQF3}} = 1 \text{ мОм};$$

$$R_{\text{QF4}} = 5,5 \text{ мОм}; X_{\text{QF4}} = 4,5 \text{ мОм}; R_{\text{kQF4}} = 1,3 \text{ мОм}.$$

Сопротивления первичной обмотки трансформатора тока ТА2:

$$R_{\text{ТТ}} = 0,2 \text{ мОм}; X_{\text{ТТ}} = 0,3 \text{ мОм}.$$

Сопротивления первичной обмотки трансформатора тока ТА1 не учитываем ввиду его малости.

Сопротивления КЛ1:

$$R_{\text{КЛ1}} = r_0 \cdot l_{\text{КЛ1}} = 0,208 \cdot 189 = 39,3 \text{ мОм};$$

$$X_{\text{КЛ1}} = x_0 \cdot l_{\text{КЛ1}} = 0,059 \cdot 189 = 11,15 \text{ мОм}.$$

Сопротивления КЛ2:

$$R_{KЛ2} = r_0 \cdot l_{KЛ2} = 3,12 \cdot 54 = 168,48 \text{ мОм};$$

$$X_{KЛ2} = x_0 \cdot l_{KЛ2} = 0,073 \cdot 54 = 3,94 \text{ мОм}.$$

Сопротивления КЛЗ:

$$R_{KЛ3} = r_0 \cdot l_{KЛ3} = 5,21 \cdot 42 = 218,82 \text{ мОм};$$

$$X_{KЛ3} = x_0 \cdot l_{KЛ3} = 0,09 \cdot 42 = 3,78 \text{ мОм}.$$

Переходные сопротивления ступеней распределения:

$$R_{PУНН} = 15 \text{ мОм}; R_{BPU} = 20 \text{ мОм}; R_{IP} = 25 \text{ мОм}.$$

Активные переходные сопротивления неподвижных контактных соединений:

$$R_{ккЛ1} = 0,021 \text{ мОм}; R_{ккЛ2} = 0,085 \text{ мОм}; R_{ккЛ3} = 0,085 \text{ мОм}.$$

Определим эквивалентные сопротивления на участках схемы между точками КЗ.

$$R_1 = R_{mp} + R_{QF1} + R_{kQF1} + R_{PУНН} = 3,1 + 0,08 + 0,1 + 15 = 18,28 \text{ мОм};$$

$$X_1 = X_{mp} + X_{QF1} = 13,6 + 0,08 = 13,68 \text{ мОм};$$

$$\begin{aligned} R_2 &= R_{QF2} + R_{kQF2} + R_{TT} + R_{KЛ1} + R_{ккЛ1} + R_{BPU} = \\ &= 0,4 + 0,6 + 0,2 + 39,3 + 0,021 + 20 = 60,52 \text{ мОм}; \end{aligned}$$

$$X_2 = X_{QF2} + X_{TT} + X_{KЛ1} = 0,5 + 0,3 + 11,15 = 11,95 \text{ мОм};$$

$$\begin{aligned} R_3 &= R_{QF3} + R_{kQF3} + R_{KЛ2} + R_{ккЛ2} + R_{IP} = \\ &= 2,4 + 1 + 168,48 + 0,085 + 25 = 196,97 \text{ мОм}; \end{aligned}$$

$$X_3 = X_{QF3} + X_{KЛ2} = 2 + 3,94 = 5,94 \text{ мОм};$$

$$R_4 = R_{QF4} + R_{kQF4} + R_{KЛ3} + R_{ккЛ3} = 5,5 + 1,3 + 218,82 + 0,085 = 225,7 \text{ мОм};$$

$$X_4 = X_{QF4} + X_{KЛ3} = 4,5 + 3,78 = 8,28 \text{ мОм}.$$

Упрощенная схема замещения распределительной сети для расчета токов трехфазного и двухфазного КЗ представлена на рисунке 13.2.

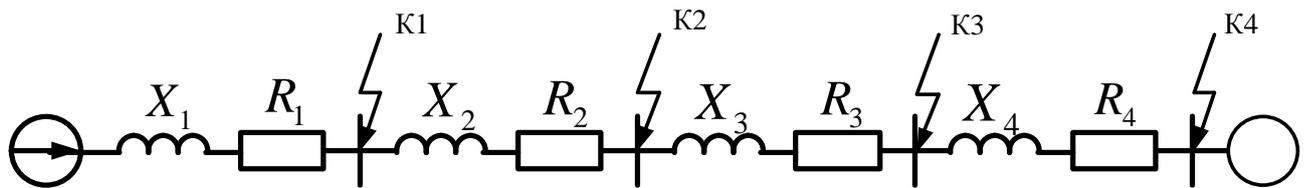


Рисунок 13.2 – Упрощенная схема замещения распределительной сети

Рассчитаем токи трехфазного и двухфазного КЗ для точки К1.

Суммарное сопротивление:

$$Z_1 = \sqrt{R_1^2 + X_1^2} = \sqrt{18,28^2 + 13,68^2} = 22,83 \text{ мОм.}$$

Периодическая составляющая тока трехфазного КЗ:

$$I_{K3}^{(3)} = \frac{U_{\text{ср.ном}}}{\sqrt{3} \cdot Z_1} = \frac{400 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 22,83} = 10,12 \text{ кА.}$$

Постоянная затухания:

$$T_a = \frac{X_1}{\omega \cdot R_1} = \frac{13,68}{314 \cdot 18,28} = 0,0024 \text{ с.}$$

Ударный коэффициент:

$$k_{y\partial} = 1 + e^{-0,01/T_a} = 1 + e^{-0,01/0,0024} = 1,02.$$

Ударный ток КЗ:

$$i_{y\partial} = \sqrt{2} \cdot k_{y\partial} \cdot I_{K3}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,02 \cdot 10,12 = 14,6 \text{ кА.}$$

Ток двухфазного КЗ:

$$I_{K3}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{K3}^{(3)} = 0,87 \cdot I_{K3}^{(3)} = 0,87 \cdot 10,12 = 8,8 \text{ кА.}$$

Расчет токов КЗ для остальных точек производится аналогичным образом, результаты расчетов сведены в таблицу 13.1.

Расчет токов однофазных КЗ.

Определим сопротивления нулевых проводников и трансформатора и составим схему замещения.

При схеме соединения обмоток трансформатора Δ/Y_H величина сопротивления нулевой последовательности равна сопротивлению трансформатора при трех- или двухфазном КЗ и определяется по формуле:

$$Z_{mp} = \sqrt{R_{mp}^2 + X_{mp}^2} = \sqrt{3,1^2 + 13,6^2} = 13,95 \text{ мОм.}$$

Сопротивления нулевых проводников кабельных линий КЛ1-КЛ3:

$$R_{0-КЛ1} = r_0 \cdot l_{КЛ1} = 0,208 \cdot 189 = 39,3 \text{ мОм;}$$

$$R_{0-КЛ2} = r_0 \cdot l_{КЛ2} = 3,12 \cdot 54 = 168,48 \text{ мОм;}$$

$$R_{0-КЛ3} = r_0 \cdot l_{КЛ3} = 5,21 \cdot 42 = 218,82 \text{ мОм.}$$

Кроме того изменятся индуктивные сопротивления кабельных линий.

$$X_{КЛ1} = x_0 \cdot l_{КЛ1} = 0,15 \cdot 189 = 28,35 \text{ мОм;}$$

$$X_{КЛ2} = x_0 \cdot l_{КЛ2} = 0,15 \cdot 54 = 8,1 \text{ мОм;}$$

$$X_{КЛ3} = x_0 \cdot l_{КЛ3} = 0,15 \cdot 42 = 6,3 \text{ мОм.}$$

Упрощенная схема замещения цеховой сети для расчета токов однофазных КЗ не изменится, но значения сопротивлений будут другими.

Определим эквивалентные сопротивления на участках схемы между точками КЗ.

$$R_1 = R_{QF1} + R_{kQF1} + R_{PVHH} = 0,08 + 0,1 + 15 = 15,18 \text{ мОм;}$$

$$X_1 = X_{QF1} = 0,08 \text{ мОм;}$$

$$\begin{aligned} R_2 &= R_{QF2} + R_{kQF2} + R_{TT} + R_{КЛ1} + R_{kКЛ1} + R_{0-КЛ1} + R_{BPV} = \\ &= 0,4 + 0,6 + 0,2 + 39,3 + 39,3 + 0,021 + 20 = 99,82 \text{ мОм;} \end{aligned}$$

$$X_2 = X_{QF2} + X_{TT} + X_{КЛ1} = 0,5 + 0,3 + 28,35 = 29,15 \text{ мОм;}$$

$$\begin{aligned} R_3 &= R_{QF3} + R_{kQF3} + R_{КЛ2} + R_{0-КЛ2} + R_{kКЛ2} + R_{ПП} = \\ &= 2,4 + 1 + 168,48 + 168,48 + 0,085 + 25 = 365,45 \text{ мОм;} \end{aligned}$$

$$X_3 = X_{QF3} + X_{КЛ2} = 2 + 8,1 = 10,1 \text{ мОм;}$$

$$R_4 = R_{QF4} + R_{kQF4} + R_{KL3} + R_{0-KL3} + R_{kkL3} =$$

$$= 5,5 + 1,3 + 218,82 + 218,82 + 0,085 = 444,52 \text{ мОм};$$

$$X_4 = X_{QF4} + X_{KL3} = 4,5 + 6,3 = 10,8 \text{ мОм}.$$

Рассчитаем ток однофазного КЗ для точки К1.

Полное сопротивление петли «фаза ноль»:

$$Z_{\phi-0} = \sqrt{R_1^2 + X_1^2} = \sqrt{15,18^2 + 0,08^2} = 15,18 \text{ мОм}.$$

Ток однофазного КЗ:

$$I_{K3}^{(1)} = \frac{U_{\phi}}{\frac{Z_{mp}^{(1)}}{3} + Z_{\phi-0}} = \frac{230}{13,95 + 15,18} = 7,89 \text{ кА}.$$

Токи однофазного КЗ для остальных точек рассчитываются аналогично, результаты расчетов сведены в таблицу 13.1.

Таблица 13.1 – Сводная ведомость токов КЗ

Расчетные точки		К1	К2	К3	К4
Токи КЗ, кА	$I_{K3}^{(1)}$	7,89	1,95	0,464	0,245
	$I_{K3}^{(2)}$	8,8	3,43	0,72	0,399
	$I_{K3}^{(3)}$	10,12	2,79	0,832	0,459
	$i_{уд}$	14,6	3,95	1,18	0,649

14. Построение карты селективности действия аппаратов защиты

Расчетная схема для построения карты селективности приведена на рисунке

14.1.

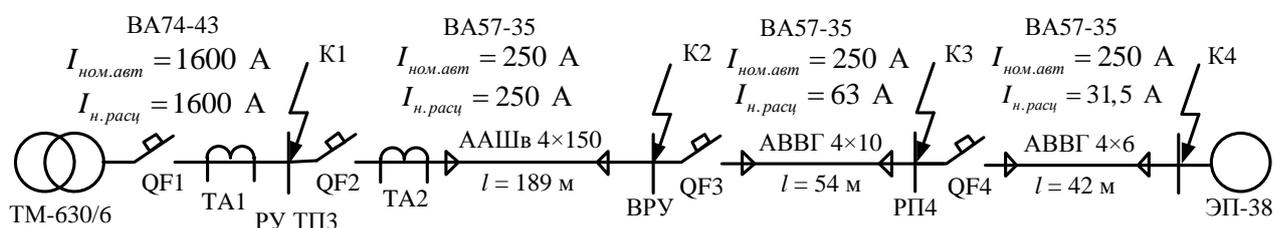


Рисунок 14.1 – Расчетная схема для построения карты селективности

Таблица 14.1 – Данные для построения карты селективности действия аппаратов защиты

	ЭП №38	ПР4	ВРУ	РУ НН ТПЗ	Значение тока КЗ в соотв. точках, кА			
					К1	К2	К3	К4
Расчетный ток, А	-	37,1	224,5	957,2	10,12	2,79	0,832	0,459
Пиковый ток, А	-	244,2	422,7	1155,4				
Номинальный ток, А	23,7	-	-	-				
Пусковой ток, А	118,5	-	-	-				

Таблица 14.2 – Данные для построения карты селективности действия аппаратов защиты

Наименование аппарата защиты	Номинальный ток расцепителя, А	Номинальный ток срабатывания уставки в зоне КЗ, А
ВА74-43	1600	3200
ВА57-35	250	625
ВА57-35	63	315
ВА57-35	31,5	126

Карта селективности представлена на рисунке 14.2.

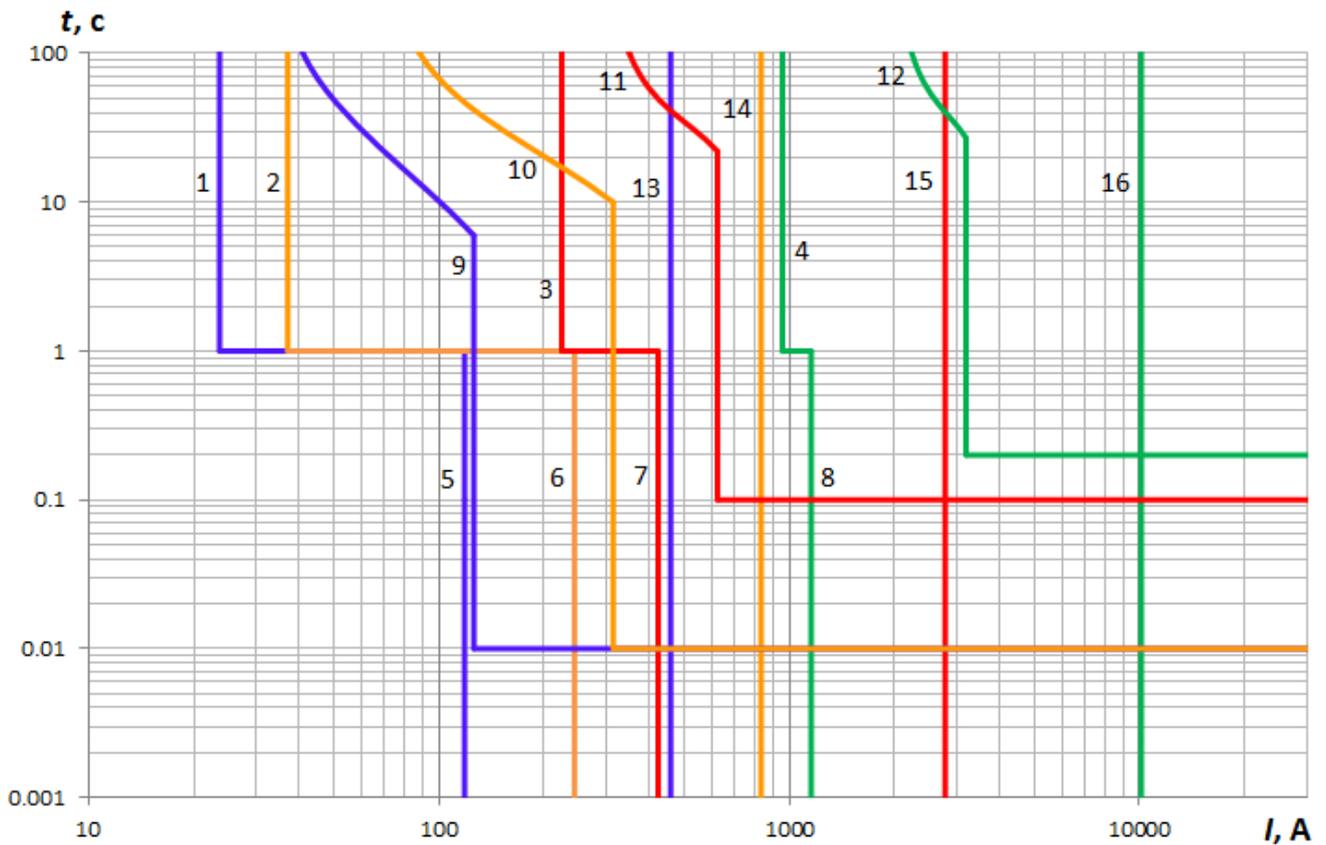


Рисунок 14.2 – Карта селективности действия аппаратов защиты

Обозначения на карте селективности:

1 – номинальный ток ЭД; 2 – расчетный ток ПР4; 3 – расчетный ток ВРУ; 4 – расчетный ток ТП-3; 5 – пусковой ток ЭД; 6 – пиковый ток ПР4; 7 – пиковый ток ВРУ; 8 – пиковый ток ТП-3; 9 – защитная характеристика ВА57-35 ($I_{н.расц} = 31,5 \text{ A}$); 10 – защитная характеристика ВА57-35 ($I_{н.расц} = 63 \text{ A}$); 11 – защитная характеристика ВА57-35 ($I_{н.расц} = 250 \text{ A}$); 12 – защитная характеристика ВА74-43 ($I_{н.расц} = 1600 \text{ A}$); 13 – ток КЗ в точке К4; 14 – ток КЗ в точке К3; 15 – ток КЗ в точке К2; 16 – ток КЗ в точке К1.

15. Расчет рабочего освещения механического цеха

Рассматриваемый механический цех имеет общую площадь $S = 1854,94 \text{ м}^2$ (ширина $a = 32,56 \text{ м}$, длина $b = 56,97 \text{ м}$, высота $h = 5 \text{ м}$). В составе цеха имеются отдельные помещения: сварочное отделение площадью $S = 178,67 \text{ м}^2$ (ширина $a = 9,65 \text{ м}$, длина $b = 18,52 \text{ м}$) и заточно-полировальное отделение площадью $S = 117,37 \text{ м}^2$ (ширина $a = 4,83 \text{ м}$, длина $b = 24,3 \text{ м}$).

15.1 Выбор типа и количества светильников

Система освещения цеха совмещенная. Естественное освещение осуществляется через окна. Искусственное освещение представляется собой сочетание местного и общего освещения.

В цехе выполняются работы высокой точности, которые относятся к III разряду зрительной работы, поэтому освещенность на рабочих местах должна быть не ниже 2000 лк, общее освещение не ниже 400 лк по [20].

В качестве источников общего освещения будем использовать светильники типа ЛВП06-5×65 с люминесцентными лампами ЛБ65 (мощность одной лампы 65 Вт, световой поток 4800 лм).

Расчет общего искусственного освещения будем производить по методу коэффициента использования светового потока.

Определим индексы помещений

- основное помещение:

$$i = \frac{a \cdot b}{h_n \cdot (a + b)} = \frac{32,56 \cdot 56,97}{4 \cdot (32,56 + 56,97)} = 5,2;$$

- сварочное отделение:

$$i = \frac{a \cdot b}{h_n \cdot (a + b)} = \frac{9,65 \cdot 18,52}{4 \cdot (9,65 + 18,52)} = 1,6;$$

- заточно-полировальное отделение:

$$i = \frac{a \cdot b}{h_n \cdot (a + b)} = \frac{4,83 \cdot 24,3}{4 \cdot (4,83 + 24,3)} = 1;$$

где a - ширина помещений;

b - длина помещений;

h_n - высота подвеса светильников.

Высота подвеса светильников находится по формуле:

$$h_n = h_c - h_{p.n} = 5 - 1 = 4 \text{ м,}$$

где h_c - высота свеса светильников;

$h_{p.n}$ - высота рабочей поверхности.

Определим необходимое количество светильников

- основное помещение:

$$n = \frac{E_n \cdot S \cdot z \cdot K_3}{\Phi_l \cdot \eta_n} = \frac{400 \cdot 1558,9 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{24000 \cdot 0,9} = 48 \text{ шт.};$$

- сварочное отделение:

$$n = \frac{E_n \cdot S \cdot z \cdot K_3}{\Phi_l \cdot \eta_n} = \frac{400 \cdot 178,67 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{24000 \cdot 0,63} = 8 \text{ шт.};$$

- заточно-полировальное отделение:

$$n = \frac{E_n \cdot S \cdot z \cdot K_3}{\Phi_l \cdot \eta_n} = \frac{400 \cdot 117,37 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{24000 \cdot 0,5} = 7 \text{ шт.};$$

где E_n - нормированная минимальная освещенность;

S - площадь помещения;

z - коэффициент неравномерности освещения светодиодных ламп;

K_3 - коэффициент запаса люминесцентных ламп по [20];

N - число светильников в помещении;

η_n - коэффициент использования светового потока по [20].

План расположения светильников показан в приложении 5.

15.2. Выбор сечений проводников

Пример выбора сечения проводника приведем для 1-ой линии:

$$I_p = \frac{P}{U_\phi \cdot \cos \varphi} = \frac{2925}{220 \cdot 0,9} = 14,77 \text{ А.}$$

При расчете мощности, передаваемой по линии 1, было учтено, что линия питает 9 светильников, в которых установлено по 5 ламп.

Выбираем кабель ВВГнг 3×1,5 с допустимым током $I_{\text{доп}} = 16$ А.

Выбор сечений для остальных линий производится аналогично, результаты выбора приведены в таблице 15.2.1.

Таблица 15.2.1 – Выбор сечений проводников

№ линии	P_p , Вт	$U_{\text{ф}}$, В	I_p , А	$I_{\text{доп}}$, А	Марка и сечение кабеля, мм ²
1-5	2925	220	14,77	16	ВВГнг 3×1,5
6	2600	220	13,13	16	ВВГнг 3×1,5
7	1950	220	9,85	16	ВВГнг 3×1,5
8	2600	220	13,13	16	ВВГнг 3×1,5

15.3 Выбор групповых щитков освещения

В качестве групповых щитков освещения (ЩГ1-ЩГ8) будут использоваться щитки ЩРН-П-18. В качестве общего щитка освещения будем использовать ЩРН-9 на 9 присоединений с автоматическими выключателями типа ВА 47-63.

15.4 Выбор аппаратов защиты

Приведем пример выбора для 1-ой линии:

$$I_{\text{ном.АВ}} = 63 \text{ А} \geq K_{\text{зан}} \cdot I_{\text{расч}} = 1,1 \cdot 14,77 = 16,25 \text{ А};$$

$$I_{\text{ном.тепл}} = 20 \text{ А} \geq K_{\text{зан}} \cdot I_{\text{расч}} = 1,1 \cdot 14,77 = 16,25 \text{ А}.$$

Выбираем АВ серии ВА 47-63 с $I_{\text{тепл.расц}} = 20$ А.

№ линии	I_p , А	Тип АВ	$I_{\text{тепл.расц}}$, А	Тип защитной характеристики
Вводной	109,96	ВА 57-35	125	С
1-5	14,77	ВА 47-63	20	С
6	13,13	ВА 47-63	16	С
7	9,85	ВА 47-63	12,5	С
8	13,13	ВА 47-63	16	С

16. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью данного раздела выпускной квалификационной работы является подтверждение целесообразности разработки технического проекта, отвечающего всем нынешним требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Данная цель достигается решением следующих задач:

- анализ конкурентных технических решений и QuaD анализ;
- планирование технико-конструкторских работ;
- формирование бюджета научно-технического исследования;
- определение ресурсной эффективности проекта.

16.1 Анализ конкурентных технических решений

Анализ конкурентных технических решений со стороны ресурсосбережения и ресурсной эффективности дает возможность произвести сравнительную оценку эффективности научной разработки и определить тренд для ее дальнейшего усиления.

Данный анализ рационально производить с использованием оценочной карты. Построим оценочную карту для возможных схем распределительных устройств высокого напряжения главной понизительной подстанции (ГПП) 110/6 кВ, а конкретно:

- два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий (схема 4Н);
- мостик с выключателями в цепях линий и ремонтной перемычкой со стороны линий (схема 5Н);
- мостик с выключателями в цепях трансформаторов и ремонтной перемычкой со стороны трансформаторов (схема 5АН).

Составим таблицу, в которой пронумеруем анализируемые варианты.

Таблица 16.1.1 – Альтернативные варианты схем РУ ВН ГПП

Номер варианта	Символьное обозначение схемы
1	4Н
2	5Н
3	5АН

Таблица 16.1.2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурент-ть		
		$B_{к1}$	$B_{к2}$	$B_{к3}$	$K_{к1}$	$K_{к2}$	$K_{к3}$
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Надежность	0,2	4	5	5	0,8	1	1
2. Безопасность обслуживания	0,2	5	5	5	1	1	1
3. Удобство эксплуатации	0,1	4	4	5	0,4	0,4	0,5
4. Простота монтажа	0,05	4	4	4	0,2	0,2	0,2
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Стоимость оборудования	0,1	5	4	3	0,5	0,4	0,3
2. Затраты на установку	0,05	5	3	3	0,25	0,15	0,15
3. Затраты на обслуживание и ремонт	0,07	5	4	4	0,35	0,28	0,28
4. Затраты от потерь эл/энергии	0,08	4	4	4	0,32	0,32	0,32
5. Сроки эксплуатации	0,15	4	4	4	0,6	0,6	0,6
Итого	1	40	37	38	4,42	4,35	4,35

Веса показателей, устанавливаемые экспертным путем, в результате роняются 1. Позиции по каждому показателю определяются экспертным путем по пятибалльной шкале, в соответствии с которой, 1 – самая слабая позиция, а 5 – самая сильная.

Пример оценки конкурентоспособности приведем для первого варианта:

$$K_{к1\Sigma} = \sum B \cdot B = 0,2 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 + 0,05 \cdot 4 + 0,1 \cdot 5 + \\ + 0,05 \cdot 5 + 0,07 \cdot 5 + 0,08 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 = 4,42.$$

Как видно из результатов оценки конкурентоспособности трех вариантов наиболее ресурсоэффективным вариантом является схема 4Н.

Основной недостаток схем 5Н и 5АН – высокая стоимость сооружения и эксплуатации. В данном случае, на предприятии применение схемы 4Н достаточно, так как она обеспечивает высокую надежность и простоту в обслуживании. В случае расширения производственных мощностей предприятия возможен переход к схемам 5Н и 5АН.

16.2 Оценка при помощи технологии QuaD

Оценка альтернативных вариантов по технология QuaD дает возможность описать качество новой разработки и ее перспективность на рынке, а так же позволяет принимать решения о целесообразности вложения денежных средств в научно-исследовательский проект. В основе технологии QuaD лежит нахождение средневзвешенной величины различных групп показателей.

Таблица 16.2.1 - QuaD оценка схемы 4Н

Критерий	Вес кр-ия	Баллы	Макс. балл	Относит. значение	Средневзвеш. значение
Показатели оценки качества разработки					
1. Энергоэффективность	0,13	85	100	0,85	0,11
2. Надежность	0,22	90	100	0,9	0,198
3. Унифицированность	0,06	85	100	0,85	0,051
4. Простота обслуживания	0,07	95	100	0,95	0,067
5. Безопасность	0,18	90	100	0,9	0,162
6. Расход материалов	0,07	75	100	0,75	0,053
Показатели оценки коммерческого потенциала разработки					
7. Конкурентоспособность	0,12	85	100	0,85	0,102
8. Перспективность	0,07	80	100	0,8	0,056
9. Цена	0,08	85	100	0,85	0,068
Итого	1	770		7,7	0,867

Таблица 16.2.2 - QuaD оценка схемы 5Н

Критерий	Вес кр-ия	Баллы	Макс. балл	Относит. значение	Средневзвеш. значение
Показатели оценки качества разработки					
1. Энергоэффективность	0,13	80	100	0,8	0,104
2. Надежность	0,22	90	100	0,9	0,198
3. Унифицированность	0,06	85	100	0,85	0,051
4. Простота обслуживания	0,07	85	100	0,85	0,059
5. Безопасность	0,18	90	100	0,9	0,162
6. Расход материалов	0,07	60	100	0,6	0,042
Показатели оценки коммерческого потенциала разработки					
7. Конкурентоспособность	0,12	90	100	0,9	0,108
8. Перспективность	0,07	90	100	0,9	0,063
9. Цена	0,08	80	100	0,8	0,064
Итого	1	750		7,5	0,851

Таблица 16.2.3 - QuaD оценка схемы 5АН

Критерий	Вес кр-ия	Баллы	Макс. балл	Относит. значение	Средневзвеш. значение
Показатели оценки качества разработки					
1. Энергоэффективность	0,13	80	100	0,8	0,104
2. Надежность	0,22	85	100	0,85	0,187
3. Унифицированность	0,06	90	100	0,9	0,054
4. Простота обслуживания	0,07	80	100	0,8	0,056
5. Безопасность	0,18	85	100	0,85	0,153
6. Расход материалов	0,07	65	100	0,65	0,046
Показатели оценки коммерческого потенциала разработки					
7. Конкурентоспособность	0,12	90	100	0,9	0,108
8. Перспективность	0,07	85	100	0,85	0,059
9. Цена	0,08	75	100	0,75	0,06
Итого	1	735		7,35	0,827

Пример оценки качества и перспективности схемы по технологии QuaD приведем для первого варианта:

$$P_{cp} = 0,13 \cdot 0,85 + 0,22 \cdot 0,9 + 0,06 \cdot 0,85 + 0,07 \cdot 0,95 + 0,18 \cdot 0,9 + \\ + 0,07 \cdot 0,75 + 0,12 \cdot 0,85 + 0,07 \cdot 0,8 + 0,08 \cdot 0,85 = 0,867.$$

Значение средневзвешенного коэффициента P_{cp} дает возможность оценить перспективы разработки схемы. В данном случае среди рассмотренных вариантов средневзвешенное значение для первого варианта получилось наибольшим ($P_{cp} = 86,7\%$). Это говорит о перспективности работы в этом направлении.

16.3 Планирование научно-исследовательской разработки

16.3.1 Структура работы в рамках научно-исследовательской разработки

Для выполнения проекта формируется рабочая группа, в состав которой входят научный руководитель и инженер. Составляется перечень этапов и работ в рамках выполнения проекта и производится распределение работ между руководителем и инженером. Порядок этапов и работ, распределение работ между инженером и руководителем приведен в таблице 16.3.1.1.

Таблица 16.3.1.1 – Перечень этапов и работ при проектировании

Основные этапы	№	Содержание работ	Исполнитель
Разработка ТЗ	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме, примерный план работ	Инженер
	3	Календарное планирование работ	Руководитель
Теоретические исследования	4	Разработка вариантов проектирования	Инженер
	5	Проведение теоретических расчетов	Инженер
	6	Выбор программного обеспечения для расчетов	Инженер
	7	Сравнение возможных вариантов по ряду критериев	Инженер
8	Расчет основных и аварийных принципов функционирования	Инженер	
Обобщение и оценка результатов	9	Оценка эффективности и надежности полученных результатов	Руководитель
Оформление отчёта по НИР	10	Вопросы безопасности и экологичности проекта	Инженер
	11	Составление пояснительной записки	Инженер

16.3.2. Определение трудоёмкости выполнения проектировочных работ

Оценка трудоёмкости выполнения научного исследования имеет вероятностный характер и производится экспертным путем в человеко-днях. Пример определения ожидаемого (среднего) значения трудоёмкости приведем для первой работы «составление и утверждение технического задания»:

$$t_{ож_i} = \frac{3 \cdot t_{\min_i} + 2 \cdot t_{\max_i}}{5} = \frac{3 \cdot 3 + 2 \cdot 5}{5} = 3,8 \text{ чел-дн.}$$

После определения ожидаемого значения трудоёмкости необходимо найти в рабочих днях продолжительность каждой работы. В данном случае инженер и руководитель выполняют работы последовательно, следовательно, продолжительность работ в рабочих днях будет равна ожидаемому значению трудоёмкости $T_{pi} = t_{ож_i}$.

16.3.3 Разработка графика проведения научного исследования

Календарный план-график выполнения работ в рамках научного исследования приведем в виде диаграммы Ганта. Построение данного графика осуществляется в календарных днях, поэтому длительность каждой работы переведем из рабочих дней в календарные. Для этого необходимо длительность работ в рабочих днях (T_{pi}) умножить на коэффициент календарности ($k_{кал}$).

Пример определения продолжительности работ в календарных днях приведем для первой работы «составление и утверждение технического задания»:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал} = 2,8 \cdot 1,48 = 4,1 \approx 4 \text{ дн.}$$

Полученные значения продолжительности работ в календарных днях округляются до ближайшего целого значения.

Коэффициент календарности определяется на основе количества календарных дней в году ($T_{кал}$), выходных ($T_{вых}$) и праздничных ($T_{пр}$) дней. В 2017 году 365 календарных дней, 118 – выходных и праздничных дней.

Найдем коэффициент календарности:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} = \frac{365}{365 - 118} = 1,48,$$

Все полученные значения сведем в таблицу 16.3.3.1.

Таблица 16.3.3.1 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работ	Трудоёмкость работ (чел-дни)			T_{pi}	T_{ki}
	t_{min}	t_{max}	$t_{ож}$		
Составление и утверждение технического задания	2	4	2,8	2,8	4
Подбор и изучение материалов по теме, примерный план работ	4	7	5,2	5,2	8
Календарное планирование работ	1	2	1,4	1,4	2
Разработка вариантов проектирования	4	8	5,6	5,6	8
Проведение теоритических расчетов	6	10	7,6	7,6	11
Выбор программного обеспечения для расчетов	1	3	1,8	1,8	3
Сравнение возможных вариантов по ряду критериев	4	6	4,8	4,8	7
Расчет основных и аварийных принципов функционирования	5	9	6,6	6,6	10
Оценка эффективности и надежности полученных результатов	2	4	2,8	2,8	4
Вопросы безопасности и экологичности проекта	3	5	3,8	3,8	6
Составление пояснительной записки	4	6	4,8	4,8	7
Итого	36	64	47,2	47,2	70

16.4 Бюджет научно-технического исследования

Для определения бюджета научно-технического исследования необходимо полно и достоверно отразить все виды расходов, которые связаны с его выполнением. Бюджет научно-технического исследования формируется по следующим группировкам затрат по статьям:

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

16.4.1 Расчет материальных затрат НТИ

Материальные затраты НТИ - это затраты на канцелярские товары, вычислительные устройства, картриджи, информационные носители и т.д.

Таблица 16.4.1 – Материальные затраты

Наименование	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (Z_M), руб.
Ручка	1	75	75
Карандаш	1	45	45
Бумага	1	250	250
Калькулятор	1	722	722
Заправка картриджа принтера	1	450	450
Папка	1	50	50
Итого			1592

Указанные канцелярские принадлежности доставлены на рабочее место самими исполнителями темы, поэтому транспортные расходы, при расчете материальных затрат не учитывались.

16.4.2. Зарплата исполнителей темы

Полная заработная плата исполнителей темы состоит из основной и дополнительной. Основная заработная ($Z_{осн}$) плата рассчитывается на основе месячного должностного оклада сотрудника и времени, затраченного на выполнение запланированных работ. Дополнительная заработная ($Z_{доп}$) плата находится в процентном соотношении от основной (0,1 – 0,2 %).

Полную заработную плату можно определить по формуле:

$$Z_{\Pi} = Z_{осн} + Z_{доп};$$

Основную заработную плату можно определить по формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p;$$

где $Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата;

T_p – продолжительность работ (в рабочих днях), выполняемых работником.

Среднедневная заработная плата определяется по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_M \cdot M}{F_D};$$

где Z_M – месячный должностной оклад работника;

M – число месяцев работы без отпуска ($M = 10,4$ для пятидневной рабочей недели);

F_D – число рабочих дней в году (без учета праздничных, выходных, отпускных и больничных дней).

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_M = Z_{ТС} \cdot (1 + k_{np} + k_D) \cdot k_p;$$

где $Z_{ТС}$ – заработная плата по тарифной ставке;

k_{np} – премиальный коэффициент, 0,3;

k_D – коэффициент доплат и надбавок, 0,1;

k_p – районный коэффициент, равный 1,3.

Используя представленные выше формулы, определим полную заработную плату руководителя:

$$Z_M = Z_{ТС} \cdot (1 + k_{np} + k_D) \cdot k_p = 23100 \cdot (1 + 0,3 + 0,1) \cdot 1,3 = 42042 \text{ руб};$$

$$Z_{дн} = \frac{Z_M \cdot M}{F_D} = \frac{42042 \cdot 10,4}{365 - 118 - 56} = 2289,2 \text{ руб};$$

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p = 2289,2 \cdot 7 = 16024,4 \text{ руб};$$

$$Z_{II} = Z_{осн} + Z_{доп} = Z_{осн} + 0,15 \cdot Z_{осн} = 16024,4 + 0,15 \cdot 16024,4 = 18428,1 \text{ руб.}$$

Полная заработная плата инженера:

$$Z_M = Z_{ТС} \cdot (1 + k_{np} + k_D) \cdot k_p = 17000 \cdot (1 + 0,2 + 0,1) \cdot 1,3 = 28730 \text{ руб.};$$

$$Z_{он} = \frac{Z_M \cdot M}{F_D} = \frac{28730 \cdot 11,2}{365 - 118 - 28} = 1469,3 \text{ руб.};$$

$$Z_{осн} = Z_{он} \cdot T_p = 1469,3 \cdot 40,2 = 59065,86 \text{ руб.};$$

$$Z_{II} = Z_{осн} + Z_{доп} = Z_{осн} + 0,15 \cdot Z_{осн} = 59065,86 + 0,15 \cdot 59065,86 = 67925,7 \text{ руб.}$$

16.4.3 Отчисления во внебюджетные фонды

Величину отчислений во внебюджетные фонды определим по следующей формуле:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{Прук} + Z_{Пинж}),$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений во внебюджетные фонды (фонд социального страхования, фонд обязательного медицинского страхования, пенсионный фонд и т.д.).

В соответствии со статьей 58 Федерального закона №212-ФЗ пункт 1 для учреждений реализующих научную и образовательную деятельность в 2017 году устанавливается пониженная ставка – 27,1 %.

Определим величину отчислений во внебюджетные фонды:

$$Z_{внеб} = 0,271 \cdot (18428,1 + 67925,7) = 23401,88 \text{ руб.}$$

16.4.4 Накладные расходы

В накладных расходах учитываются все прочие затраты организации, которые не были включены в предыдущие статьи расходов. К прочим затратам относятся: оплата услуг связи, оплата госпошлин, оплата электроэнергии, печать и ксерокопирование материалов исследования и т.д. Величину накладных расходов определим по формуле:

$$Z_{накл} = Z_{проч.} \cdot k_{np} = (1592 + 18428,1 + 67925,7 + 23401,88) \cdot 0,16 = 17775,3 \text{ руб}$$

Величину коэффициента учитывающего накладные расходы ($k_{нр}$) приняли 16%.

16.4.5 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Полученная величина затрат необходимая для осуществления научно-исследовательской работы служит основой для определения бюджета затрат проекта. Определенный бюджет затрат при составлении договора с заказчиком отстаивается научной организацией как нижний предел затрат на создание научно-технической продукции. Бюджет затрат НИИ для выбранного варианта приведен в таблице 16.4.5.1.

Таблица 16.4.5.1 – Бюджет затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	В процентах, %
Материальные затраты	1592	1,27
Полная заработная плата руководителя	18428,1	14,26
Полная заработная плата инженера	67925,7	52,57
Отчисления во внебюджетные фонды	23401,88	18,11
Накладные расходы	17775,3	13,79
Бюджет затрат НИИ	129122,98	100

16.5 Определение ресурсной эффективности исследования

Ресурсоэффективность проекта оценивается при помощи интегрального показателя ресурсной эффективности. Указанный интегральный показатель ресурсоэффективности схем будем рассчитывать в форме таблицы.

Таблица 16.5.1 – Оценка ресурсоэффективности схем ГПП

Критерий	Вес критерия	Схема 4Н	Схема 5Н	Схема 5АН
1. Безопасность	0,2	4	4	4
2. Удобство в эксплуатации	0,15	5	4	4
3. Помехоустойчивость	0,08	4	4	4

Продолжение таблицы 16.5.1

4.Энергосбережение	0,17	4	4	4
5.Надёжность	0,3	5	5	5
6.Материалоёмкость	0,1	5	4	3
Итого:	1,00	4,55	4,3	4,2

Пример расчета показателя ресурсоэффективности приведем для первого варианта:

$$I_p = 0,2 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 + 0,08 \cdot 4 + 0,17 \cdot 4 + 0,3 \cdot 5 + 0,1 \cdot 5 = 4,55.$$

Значение показателя ресурсоэффективности проекта получилось достаточно высоким. Это говорит об эффективности использования технического проекта.

Таким образом, в данном случае на предприятии применение схемы 4Н достаточно, так как она обеспечивает высокую надежность и простоту в обслуживании. В случае расширения производственных мощностей предприятия возможен переход к схемам 5Н и 5АН.

В рамках выполнений данного раздела выпускной квалификационной работы был произведен анализ конкурентных технических решений и QuaD анализ схем главной понизительной подстанции вагоноремонтного завода 4Н, 5Н и 5АН; также была произведена оценка ресурсной эффективности указанных схем. По результатам анализа видно, что наиболее привлекательным вариантом является схема 4Н. Далее было произведено планирование научно-исследовательской разработки, в рамках которого определен перечень этапов выполнения работ, определена трудоемкость выполнения каждого этапа, и в итоге построен календарный план-график выполнения работ. На основе построенного план-графика и должностных окладов исполнителей темы была рассчитана полная заработная плата руководителя и инженера; определены затраты на использованные материальные ресурсы; отчисления во внебюджетные фонды и накладные расходы. Просуммировав указанные статьи расходов, определили бюджет научного исследования.

17. Социальная ответственность

Данный раздел ВКР посвящен выполнению анализа и разработке мер по обеспечению благоприятных условий труда при ее выполнении. Произведен анализ вредных факторов таких как: повышение уровня шума, вибрации, превышение электромагнитных и ионизирующих излучений, ухудшение показателей микроклимата. Рассмотрены вопросы охраны окружающей среды, защиты в случае чрезвычайной ситуации, а так же правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

17.1 Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды

Общая площадь рабочего помещения составляет 18 м^2 (длина $A = 4 \text{ м}$, ширина $B = 4,5 \text{ м}$), объем составляет 45 м^3 (высота $C = 2,5 \text{ м}$).

Согласно [СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03] площадь на одно рабочее место пользователей ПЭВМ должна составлять не менее 6 м^2 , объем – не менее 20 м^3 . Исходя из приведенных выше данных, можно сказать, что количество рабочих мест соответствует размерам помещения по санитарным нормам.

Проведя анализ габаритных размеров кабинета, рассмотрим микроклимат в этом помещении. В качестве параметров микроклимата рассмотрим температуру, влажность воздуха и освещение.

В помещении осуществляется естественная вентиляция посредством наличия легко открываемого оконного проема (форточки), а также дверного проема. По зоне действия такая вентиляция является общеобменной. Основным недостаток - приточный воздух поступает в помещение без предварительной очистки и нагревания. Согласно нормам [СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03] объем воздуха необходимый на одного человека в помещении без дополнительной вентиляции должен быть более 40 м^3 . В нашем случае объем воздуха на одного человека составляет 45 м^3 из этого следует, что дополнительная вентиляция не требуется.

Источником существенных тепловыделений является персональный компьютер, который может привести к снижению влажности в рабочем

помещении и повышению температуры. Требования, к помещению с использованием ПЭВМ согласно [22] приведены в таблице 17.1.1.

Таблица 17.1.1 - Оптимальные параметры микроклимата во всех типах учебных и дошкольных помещений с использованием ПЭВМ

Температура, С°	Относительная влажность, %	Абсолютная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
19	62	10	< 0,1
20	58	10	< 0,1
21	55	10	< 0,1

Одним из наиболее распространенных в производстве вредных факторов является шум. Он создается работающим оборудованием, преобразователями напряжения, работающими осветительными приборами дневного света, а также проникает извне. Шум вызывает головную боль, быструю утомляемость, бессонницу или сонливость, ослабляет внимание, ухудшается память, снижается реакция.

Основным источником шума в комнате являются вентиляторы охлаждения ЭВМ. Уровень шума колеблется от 35 до 40 дБА. По [СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03] при выполнении основной работы на ЭВМ уровень звука на рабочем месте не должен превышать 50 дБА. Следовательно, можно считать, что рабочее место соответствует выше указанным нормам.

Источником электромагнитных излучений в нашем случае являются дисплеи ЭВМ. Монитор компьютера включает в себя излучения рентгеновской, ультрафиолетовой и инфракрасной области, а также широкий диапазон электромагнитных волн других частот. Согласно [22] напряженность электромагнитного поля по электрической составляющей на расстоянии 50 см поверхности видеомонитора не должна превышать 25 В/м в диапазоне от 5 Гц до 2 кГц, 2,5 В/м в диапазоне от 2 до 400 кГц. Плотность магнитного потока не должна превышать в диапазоне от 5 Гц до 2 кГц 250 нТл, и 25 нТл в диапазоне от 2 до 400 кГц. Поверхностный электростатический потенциал не должен

превышать 500 В. В ходе работы использовалась ЭВМ типа ASUS K53S со следующими характеристиками: напряженность электромагнитного поля 2,5 В/м; поверхностный потенциал составляет 450 В.

Согласно [СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03] конструкция ЭВМ должна обеспечивать мощность экспозиционной дозы рентгеновского излучения в любой точке на расстоянии 0,05 м от корпуса не более 0,1 мбэр/ч (100 мкР/ч). Предел дозы облучения для работников (операторы, программисты) составляет 0,5 бэр/год [21].

Утомляемость органов зрения может быть связана как с недостаточной освещенностью, так и с чрезмерной освещенностью, а также с неправильным направлением света. Нормальная освещенность достигается в дневное время за счёт естественного света, проникающего через оконные проёмы, в утренние и вечерние часы за счёт искусственного освещения лампами.

В помещении используется совместное освещение - искусственное и естественное (через окна). Система освещения общая.

В качестве источников искусственного света используются люминесцентные лампы, которые по сравнению с лампами накаливания имеют ряд существенных преимуществ: по спектральному составу близки к дневному, естественному свету; обладают более высоким КПД (в 1,5-2 раза выше, чем КПД ламп накаливания); обладают повышенной светоотдачей (в 3-4 раза выше, чем у ламп накаливания); более длительный срок службы.

Согласно [СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03] освещенность рабочего стола должна быть не менее 300 - 500 лк, что может достигаться установкой местного освещения. Местное освещение не должно создавать бликов на экране. За счет правильного выбора и расположения светильников, яркость бликов на экране не должна превышать 40 кд/м². Светильники местного освещения должны иметь не просвечивающий отражатель.

Нервно-эмоциональное напряжение при работе на ПК возникает вследствие монотонного режима работы, поэтому необходимо делать перерывы во время работы.

Меры защиты от опасных и вредных факторов производства делятся на технические и организационные. К ним относится защита от вредного воздействия облучения. При защите от внешнего облучения, возникающего при работе с дисплеем, проводятся следующие мероприятия:

- Согласно [22] для обеспечения оптимальной работоспособности и сохранения здоровья на протяжении рабочей смены должны устанавливаться регламентированные перерывы – при 8-часовом рабочем дне продолжительностью 15 минут через каждый час работы;

- дисплей устанавливать таким образом, чтобы от экрана до оператора было не менее 60-70 см;

- должны использоваться дисплеи со встроенными защитными экранами.

Сильное психологическое влияние оказывает на человека и окружающая цветовая гамма. Правильный подбор цветов при оформлении интерьера сильно влияет на производительность труда человека. Особенно в тех случаях, когда необходимо выполнять работы высокой точности или, если человек находится под влиянием длительного эмоционального напряжения.

17.2 Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды

К опасным факторам можно отнести наличие в помещении большого количества аппаратуры, использующей однофазный электрический ток напряжением 220 В и частотой 50 Гц. По опасности электропоражения комната относится к помещениям без повышенной опасности, так как отсутствует влажность, высокая температура, токопроводящая пыль и возможность одновременного соприкосновения с имеющимися соединениями с землей металлическими предметами и металлическими корпусами оборудования [23].

Во время нормального режима работы оборудования опасность электропоражения крайне мала, однако, возможны аварийные режимы работы, когда происходит случайное электрическое соединение частей оборудования, находящегося под напряжением с заземленными конструкциями.

Поражение человека электрическим током может произойти в следующих случаях:

- при прикосновении к токоведущим частям во время ремонта ЭВМ;
- при однофазном (однополюсном) прикосновении незаземленного от земли человека к незаземленным токоведущим частям электроустановок, находящихся под напряжением;
- при прикосновении к незаземленным частям, находящимся под напряжением, то есть в случае нарушения изоляции;
- при соприкосновении с полом и стенами, оказавшимися под напряжением;
- при возможном коротком замыкании в высоковольтных блоках: блоке питания, блоке развертки монитора.

Основными мероприятиями по обеспечению электробезопасности являются [23]:

- изолирование (ограждение) токоведущих частей, исключающее возможность случайного прикосновения к ним;
- своевременный осмотр технического оборудования, изоляции;
- наличие общего рубильника;
- установка защитного заземления;

Сопротивление заземляющего устройства, к которому присоединены выводы однофазного источника питания электроэнергией, с учетом естественных заземлителей и повторных заземлителей нулевого провода должно быть не более 2,4 и 8 Ом соответственно, при междуфазных напряжениях 380, 220 и 127 В однофазного источника питания [27].

В качестве профилактики предупреждения поражения электрическим током, сотрудникам необходимо проходить инструктаж по технике безопасности.

17.3 Охрана окружающей среды

В компьютерах огромное количество компонентов, которые содержат токсичные вещества и представляют угрозу, как для человека, так и для окружающей среды.

К таким веществам относятся:

- свинец (накапливается в организме, поражая почки, нервную систему);
- ртуть (поражает мозг и нервную систему);
- никель и цинк (могут вызывать дерматит);
- щелочи (прожигают слизистые оболочки и кожу);

Поэтому компьютер требует специальных комплексных методов утилизации. В этот комплекс мероприятий входят:

- отделение металлических частей от неметаллических; металлические части переплавляются для последующего производства;
- неметаллические части компьютера подвергаются специально переработке; [21]

Исходя из сказанного выше перед планированием покупки компьютера необходимо:

- побеспокоится заранее о том, каким образом будет утилизирована имеющаяся техника, перед покупкой новой.
- узнать насколько новая техника соответствует современным эко-стандартам и примут ее на утилизацию после окончания срока службы;

Утилизировать оргтехнику, а не просто выбрасывать на «свалку» необходимо по следующим причинам:

Во-первых, в любой компьютерной и организационной технике содержится некоторое количество драгоценных металлов. Российским законодательством предусмотрен пункт, согласно которому все организации обязаны вести учет и движение драгоценных металлов, в том числе тех, которые входят в состав основных средств. За несоблюдение правил учета, организация может быть оштрафована на сумму от 30000 до 50000 руб [33];

Во-вторых, предприятие также может быть оштрафовано за несанкционированный вывоз техники или оборудования на «свалку»;

В-третьих, утилизируя технику мы заботимся об экологии: количество не перерабатываемых отходов минимизируется, а такие отходы, как пластик, пластмассы, лом черных и цветных металлов, используются во вторичном производстве. Электронные платы, в которых содержатся драгметаллы, после

переработки отправляются на аффинажный завод, после чего чистые металлы сдаются в Госфонд, а не оседают на свалках.

Таким образом утилизацию компьютера можно провести следующим образом:

1. Мониторы с электронно-лучевыми трубками необходимо сдать для переработки в ближайший специализированный центр переработки или передать его изготовителю для дальнейшего рециклинга.

2. Использовать услуги профессиональной компании по рециклингу, которая может приехать и забрать все приборы, которые планируется сдать в переработку.

3. Можно обратиться в местный муниципалитет по вопросу переработки электроники. [22]

17.4 Защита в чрезвычайных ситуациях

В помещении, где производилась выпускная квалификационная работа, имеется электропроводка напряжением 220 вольт, предназначенная для питания вычислительной техники и освещения. При неправильной эксплуатации оборудования и коротком замыкании электрической цепи может произойти возгорание, которое грозит уничтожением техники, документов и другого имеющегося оборудования.

Данное помещение относится к категории Д (наличие твердых сгораемых вещей) [31].

Согласно техническому регламенту о требованиях пожарной безопасности, каждый объект защиты должен иметь систему обеспечения пожарной безопасности. Система обеспечения пожарной безопасности объекта защиты включает в себя систему предотвращения пожара, систему противопожарной защиты, комплекс организационно-технических мероприятий по обеспечению пожарной безопасности [32]

Необходимо проводить следующие пожарно-профилактические мероприятия [32]:

- организационные мероприятия, касающиеся технического процесса с учетом пожарной безопасности объекта;
- эксплуатационные мероприятия, рассматривающие эксплуатацию имеющегося оборудования;
- технические и конструктивные, связанные с правильные размещением и монтажом электрооборудования и отопительных приборов.

Организационные мероприятия:

1. Противопожарный инструктаж обслуживающего персонала;
2. Обучение персонала правилам техники безопасности;
3. Издание инструкций, плакатов, планов эвакуации.

Эксплуатационные мероприятия:

1. Соблюдение эксплуатационных норм оборудования;
2. Обеспечение свободного подхода к оборудованию;
3. Содержание в исправном состоянии изоляции токоведущих проводников.

К техническим мероприятиям относится соблюдение противопожарных требований при устройстве электропроводок, оборудования, систем отопления, вентиляции и освещения. В коридоре имеется порошковый огнетушитель типа ОП-5, рубильник, на двери приведен план эвакуации в случае пожара, и, на досягаемом расстоянии, находится пожарный щит.

Наиболее дешевым и простым средством пожаротушения является вода, поступающая из обычного водопровода. Для осуществления эффективного тушения огня используют пожарные рукава и стволы, находящиеся в специальных шкафах, расположенных в коридоре. В пунктах первичных средств огнетушения должны располагаться ящик с песком, пожарные ведра и топор.

Если возгорание произошло в электроустановке, для его устранения должны использоваться огнетушители углекислотные типа ОУ-2, или порошковые типа ОП-5. Кроме устранения самого очага пожара нужно, своевременно, организовать эвакуацию людей.

Комплекс организационных и технических мероприятий пожарной профилактики, таких как устройство эвакуационных путей, систем обнаружения

пожара в случае возникновения пожара может обеспечить безопасность людей, ограничить распространение огня, предотвратить пожар, а также создать условия для успешного тушения пожара [32].

17.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Согласно [22] при размещении рабочих мест с ЭВМ расстояние между рабочими столами с видеомониторами (в направлении тыла поверхности одного видеомонитора и экрана другого видеомонитора) должно быть не менее 2,0 м, а расстояние между боковыми поверхностями видеомониторов - не менее 1,2 м.

Рабочие места с ЭВМ в помещениях с источниками вредных производственных факторов должны размещаться в изолированных кабинах с организованным воздухообменом.

Рабочие места с ЭВМ при выполнении творческой работы, требующей значительного умственного напряжения или высокой концентрации внимания, рекомендуется изолировать друг от друга перегородками высотой 1,5 - 2,0 м.

Экран видеомонитора должен находиться от глаз пользователя на расстоянии 600 - 700 мм, но не ближе 500 мм с учетом размеров алфавитно-цифровых знаков и символов.

Конструкция рабочего стола должна обеспечивать оптимальное размещение на рабочей поверхности используемого оборудования с учетом его количества и конструктивных особенностей, характера выполняемой работы. При этом допускается использование рабочих столов различных конструкций, отвечающих современным требованиям эргономики. Поверхность рабочего стола должна иметь коэффициент отражения 0,5 - 0,7.

Конструкция рабочего стула (кресла) должна обеспечивать поддержание рациональной рабочей позы при работе на ЭВМ, позволять изменять позу с целью снижения статического напряжения мышц шейно-плечевой области и спины для предупреждения развития утомления. Тип рабочего стула (кресла) следует выбирать с учетом роста пользователя, характера и продолжительности работы с ЭВМ.

Рабочий стул (кресло) должен быть подъемно-поворотным, регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а также расстоянию спинки от переднего края сиденья, при этом регулировка каждого параметра должна быть независимой, легко осуществляемой и иметь надежную фиксацию.

Поверхность сиденья, спинки и других элементов стула (кресла) должна быть полумягкой, с нескользящим, слабо электризующимся и воздухопроницаемым покрытием, обеспечивающим легкую очистку от загрязнений.

Снижению психофизических и нервно-эмоциональных нагрузок способствует правильная организация рабочего места [29].

В соответствии с Трудовым кодексом РФ [34], в целях обеспечения требований охраны труда осуществляется контроль за их выполнением, в каждой организации численностью более 50 сотрудников создается служба охраны труда. Либо заключается договор со специалистами. Служба охраны труда подчиняется руководителю предприятия. На должность специалиста по охране труда назначаются имеющие квалификацию инженера по охране труда или прошедшие специальное обучение.

Задачами службы охраны труда являются: организация обеспечения выполнения работниками требований по охране труда, контроль за соблюдением охраны труда, информация о состоянии охраны труда. Служба по охране труда ведет учет и анализ производственного травматизма и профессиональных заболеваний, измерение величин опасных и вредных факторов, оценку травмобезопасности, аттестацию рабочих мест, приемку в эксплуатацию производственных объектов, согласование документации в области охраны труда, участие в расследовании несчастных случаев, обучение по охране труда.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения данной работы была спроектирована система электроснабжения вагоноремонтного завода с подробным рассмотрением механического цеха.

На первых этапах работы были определены: расчетная нагрузка механического цеха с учетом освещения методом коэффициента расчетной мощности; полная нагрузка цехов с учетом освещения и высоковольтной нагрузки методом коэффициента спроса; суммарная расчетная нагрузка предприятия с учетом потерь в трансформаторах ГПП и высоковольтных линиях.

Результаты расчета нагрузок были использованы для построения картограммы нагрузок и определения центра электрических нагрузок предприятия с целью определения оптимального места расположения ГПП. Получилось так, что ЦЭН расположился в месте недоступном для размещения ГПП, и в результате чего была определена зона рассеяния ЦЭН. ГПП была смещена выше ЦЭН в зоне рассеяния.

На следующем этапе был произведен выбор числа и мощности трансформаторов цеховых ТП. Из-за неравномерного распределения нагрузки по территории предприятия и с целью оптимальной загрузки трансформаторов было принято решение использовать трансформаторы двух типоразмеров. Были выбраны трансформаторы марок ТМ-2500/6 и ТМ-630/6, которые распределены по пяти трансформаторным подстанциям.

Предприятие относится к потребителям II категории по степени надежности электроснабжения. Поэтому снабжение электроэнергией предприятия осуществляется от подстанции энергосистемы, которая располагается в 7 километрах от предприятия, на напряжении 110 кВ двухцепной воздушной линией с проводами марки АС-70/11. На ГПП были установлены два трансформатора марки ТДН-10000/110. В качестве схемы ГПП была выбрана схема 4Н – два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линии.

Было выбрано основное оборудование ГПП и проверено на действие токов КЗ. В качестве аппаратов защиты на напряжении 110 кВ были использованы элегазовые выключатели, на напряжение 6 кВ – вакуумные.

Питания цехов и высоковольтной нагрузки производится по кабельным линиям с бумажной изоляцией пропитанной маслосиликоновым составом марки ААШв по радиальной схеме. Прокладка кабельных линий осуществляется в траншеях.

Система электроснабжения механического цеха выполнена по радиальной схеме кабелями марки АВВГ. В качестве основных аппаратов защиты использованы автоматические выключатели серии ВА.

Построены эпюры отклонения напряжения от шин ГПП до самого мощного и удаленного электроприемника механического цеха. Анализ эпюр показал, что отклонения напряжения в режимах максимальных и минимальных нагрузок не превышает $\pm 5\%$, а в послеаварийном режиме - $\pm 10\%$, что удовлетворяет требованиям ГОСТа.

Произведен расчет токов коротких замыканий в сети 0,4 кВ, по результатам которого была произведена проверка сечений кабельных линий и выбранных аппаратов защиты, и построена карта селективности действия аппаратов защиты.

В разделе финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение был произведен анализ конкурентных технических решений и QuaD анализ схем главной понизительной подстанции вагоноремонтного завода. По результатам анализа было определено, что наиболее привлекательным вариантом схемы ГПП является схема 4Н. Далее было произведено планирование выпускной квалификационной работы, в рамках которого определен перечень этапов выполнения работ, определена трудоемкость выполнения каждого этапа, и в итоге построен календарный план-график выполнения работ. На основе построенного план-графика и должностных окладов исполнителей темы была рассчитана полная заработная плата руководителя и инженера; определены затраты на использованные материальные ресурсы; отчисления во внебюджетные

фонды и накладные расходы. Просуммировав указанные статьи расходов, определили бюджет научного исследования.

В разделе социальная ответственность был произведен анализ вредных и опасных факторов, которые влияют на студента-дипломника при выполнении выпускной квалификационной работы в компьютерном классе, и определены меры защиты от вредных факторов. Также были рассмотрены вопросы защиты окружающей среды, организационные и правовые вопросы обеспечения безопасности.

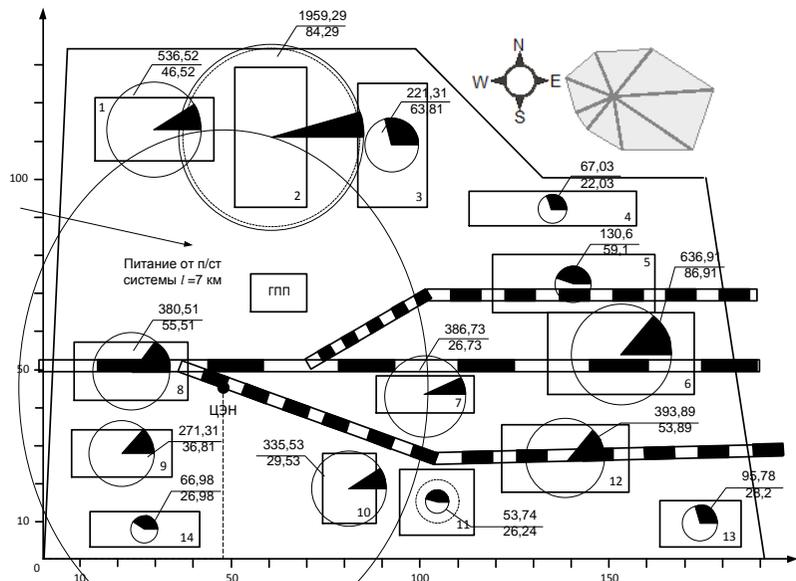
По результатам проделанной работы можно сделать вывод, что выпускная квалификационная работа выполнена в соответствии с поставленной целью и, что данная модель электроснабжения цеха и всего предприятия в целом надежна и пригодна к эксплуатации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Кабышев А.В., Обухов С.Г. Расчет и проектирование систем электроснабжения объектов и установок. Учебное пособие и справочные материалы для курсового и дипломного проектирования – Томск: Изд-во ТПУ, 2006. – 248 с.
2. Сумарокова Л.П. Электроснабжение промышленных предприятий. Учебное пособие. Томский политехнический университет – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 288 с.
3. Правила устройства электроустановок - 7 изд. Сибирское университетское издательство, 2011.
4. Вакуумные выключатели ВВ/TEL среднего класса напряжения 6 – 20 кВ. Каталог «Таврида Электрик», 2016. – 16 с.
5. Пункты распределительные ПР11. Номенклатурный каталог «Стандарт Энерго», 2016. – 8 с.
6. Низковольтные автоматические выключатели: учебное пособие / А.В. Кабышев, Е.В. Тарасов. – Томск: Изд-во ТПУ, 2011. – 346 с.
7. Вводно-распределительные устройства серии ВРУ-1 ГОСТ Р 51321.1-2000. Каталог «Стандарт Энерго», - 2013. – 51 с.
8. Гаврилин А.И., Обухов С.Г., Озга А.И. Электроснабжение промышленных предприятий: методические указания – Томск: Изд-во ТПУ, 2013, - 120 с.
9. Мельников М. А. Внутризаводское электроснабжение: Учебное пособие – Томск: Изд-во ТПУ, 2004.
10. Мельников М. А. Внутрицеховое электроснабжение: Учебное пособие – Томск: Изд-во ТПУ, 2002.
11. Справочник по проектированию электрических сетей / Под редакцией Д.Л. Файбисовича. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во НИЦ ЭНАС, 2006. – 352 с.: ил.
12. Рожкова Л.Д., Козулин В.С.. Электрооборудование станций и подстанций. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 646 с.

13. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию / Под общей редакцией А.А. Федорова – Москва: Энергоатомиздат, 1986.
14. ГОСТ 32144-2013 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
15. Безопасность жизнедеятельности. /Под ред. Н.А. Белова - М.: Знание, 2000- 364с.
16. Справочная книга для проектирования электрического освещения. / Под ред. Г.Б. Кнорринга. – Л.: Энергия, 1976.
17. Самгин Э.Б. Освещение рабочих мест. – М.: МИРЭА, 1989. – 186с.
18. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
19. СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. Санитарные нормы.
20. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03. Естественное и искусственное освещение.
21. СанПиН 2.2.4.1191–03. Электромагнитные поля в производственных условиях.
22. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.
23. ГОСТ 12.1.038–82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов.
24. Правила устройства электроустановок. – СПб.: Изд-во ДЕАН, 2001. – 928 с.
25. Межотраслевые правила по охране труда при эксплуатации электроустановок (МПОТ).
26. ГОСТ 12.4.011-89. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация.
27. ГОСТ 12.1.030-81. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление.

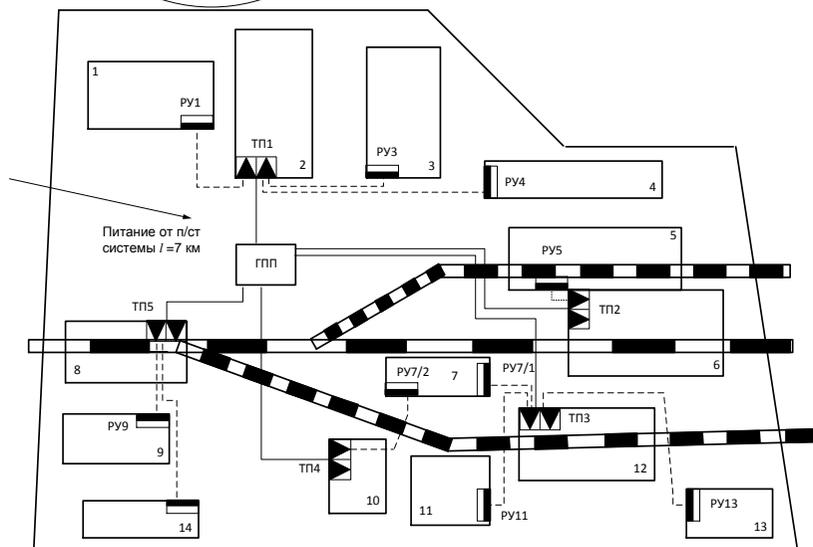
28. НПБ 105-03. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.
29. ГОСТ 12.2.032-78. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.
30. Охрана окружающей среды. Под ред. С.В. Белова. – М.: Высшая школа, 1991.
31. ГОСТ 12.1.004-91, СС5Т. Пожарная безопасность. Общие требования
32. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности.
33. КоАП РФ, Статья 19.14. Нарушение правил извлечения, производства, использования, обращения, получения, учета и хранения драгоценных металлов, жемчуга, драгоценных камней или изделий, их содержащих
34. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 03.07.2016) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2017)



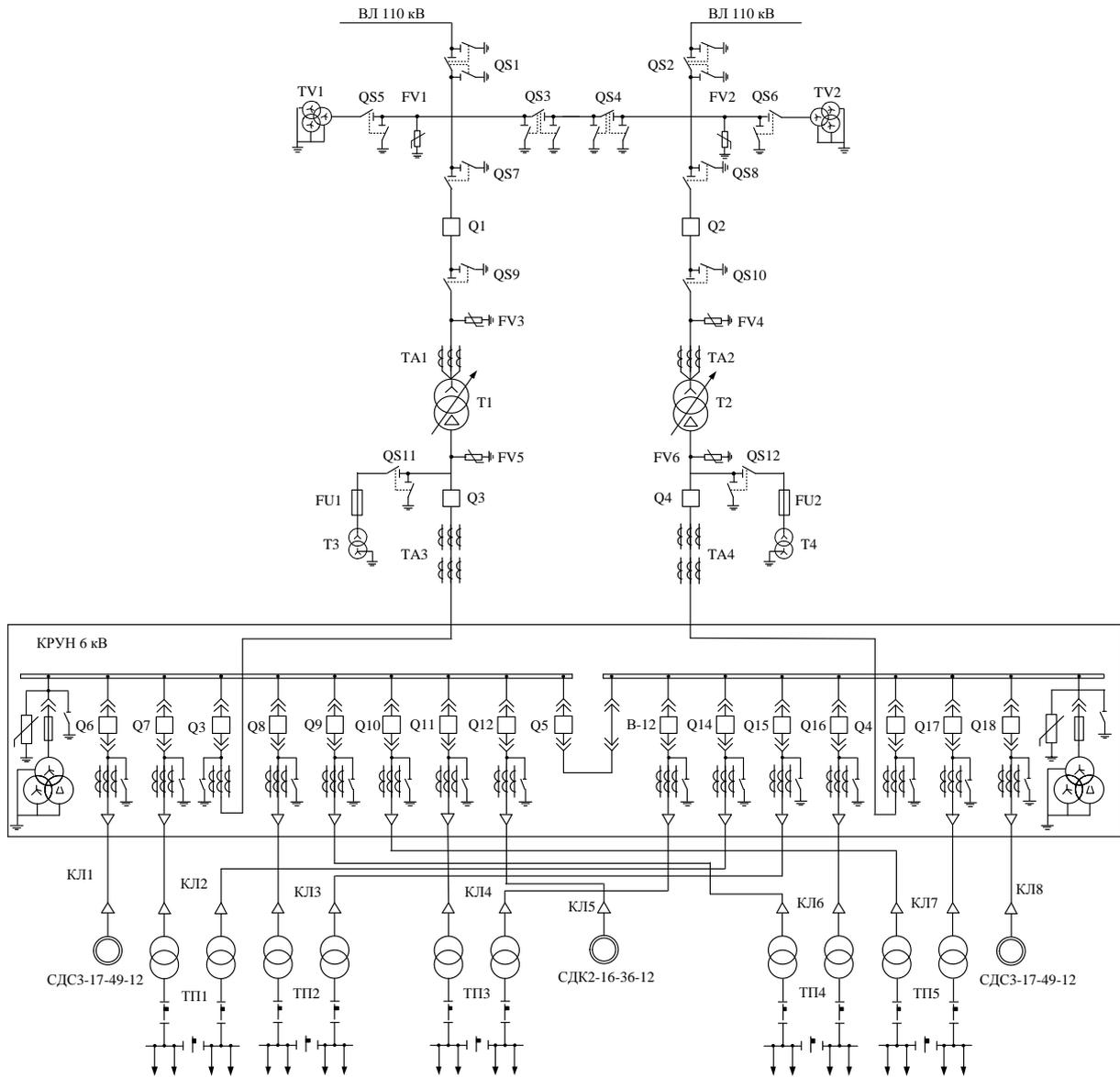
№	Наименование цеха	Категория ЭП по надежности	Характеристика среды
1	Пилорама	III	пожароопасная
2	Литейный	6 кВ	жаркая
		0,38 кВ	
3	Кузнечный	II	жаркая
4	Склад	III	нормальная
5	Подъемный	II	нормальная
6	Колесный	II	нормальная
7	Инструментальный	III	нормальная
8	Покрасочный	II	химически активная
9	Деревообрабатывающий	II	пыльная
10	Котельная	I	жаркая, пыльная
11	Компрессорный	6 кВ (СД)	нормальная
		0,38 кВ	
12	Сварочный	II	взрывоопасная
13	Механический	II	нормальная
14	Заготовительный	III	нормальная

Условные обозначения

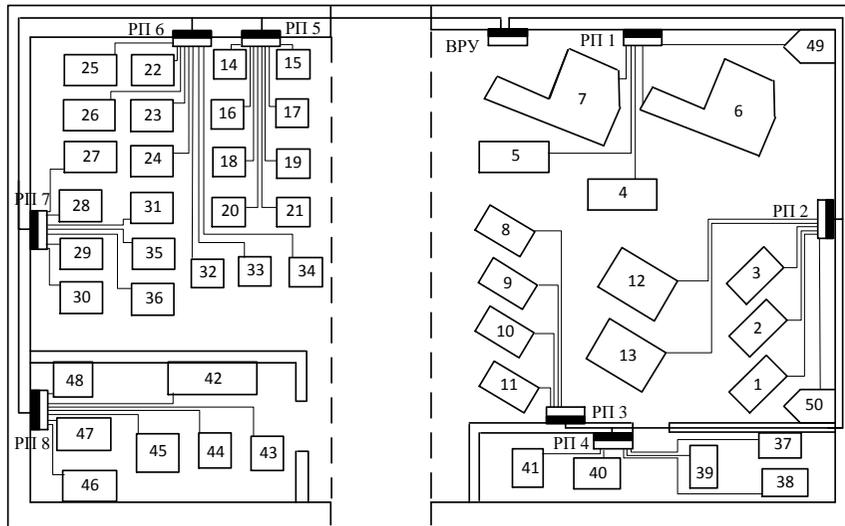
- Нагрузка ниже 1 кВт (черный сектор – осветительная нагрузка)
- Нагрузка выше 1 кВт
- Расчетная активная мощность цеха, кВт (сверху)
 Расчетная активная мощность освещения, кВт (снизу)
- Распределительное устройство ГПП
- Цеховая двухтрансформаторная подстанция
- Распределительный пункт 0,4 кВ
- Распределительная сеть 6 кВ
- Распределительная сеть 0,4 кВ



				ДП-ФЮРА.3710000.241.34				
Имя	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Генплан. Картограмма нагрузок. Схема распределения электроэнергии по заводу.	Лит.	Масса	Масштаб
Разработ.		Заручина А.И.						
Провер.		Серебряков Е.Ж.						
					Лист 1		Листов 1	
					ТПУ ЭНИИ Группа 5А3Д			

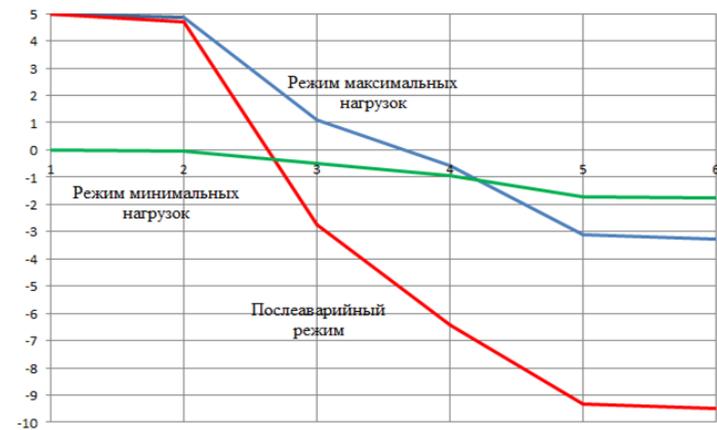
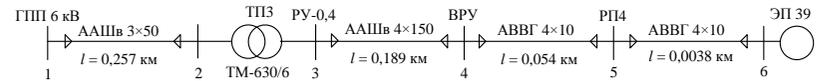


ДП-ФЮРА.3710000.242.Э4				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
	Разр.	Харченко А.И.		
	Провер.	Саргисев Е.Ж.		
Схема электрическая принципиальная				Лит. Масса Масштаб
Лист 1		Листов 1		
ТПУ ЭНИИ Группа 5А3Д				

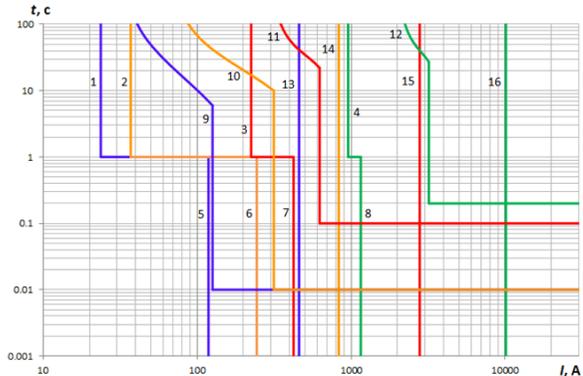
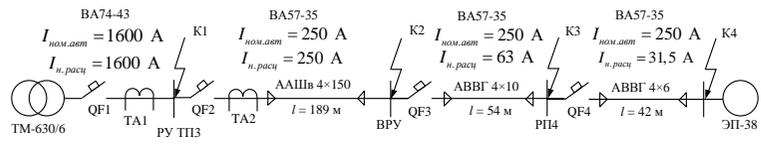
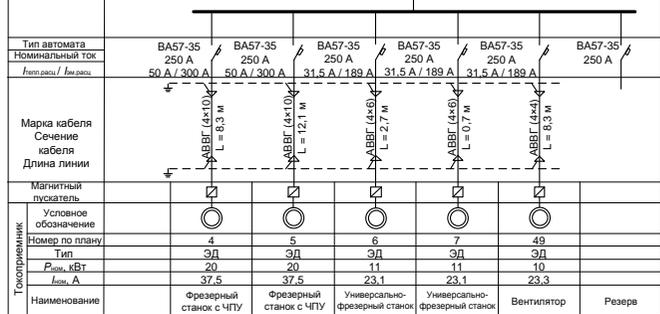
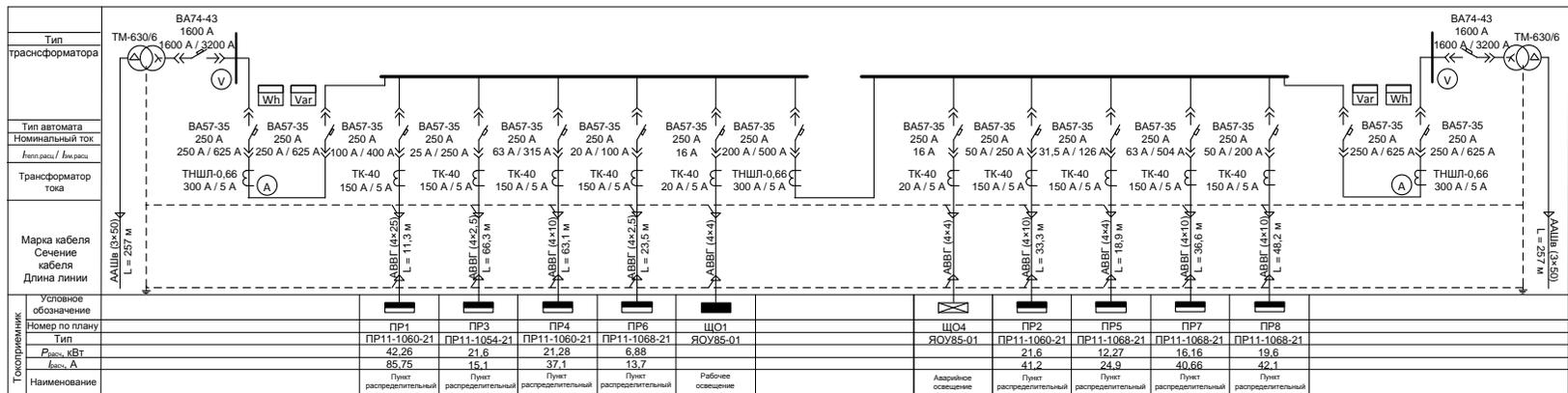


Условные обозначения

- Распределительный пункт 0,4 кВ
- Распределительный сеть 0,4 кВ
- Проезд



					ДП-ФЮРА.3710000.243.Э4		
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Схема силовой сети механического цеха. Этора отклонения напряжения.		
Рисов.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата			
Провер.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата			
					Лит.	Масштаб	Масштаб
					Лист 1	Листов 1	
					ТПУ ЭНИИ Группа САЭД		



Наименование аппарата защиты	Номинальный ток расцепителя, А	Номинальный ток срабатывания уставки в зоне КЗ, А
BA74-43	1600	3200
BA57-35	250	625
BA57-35	63	315
BA57-35	31,5	126

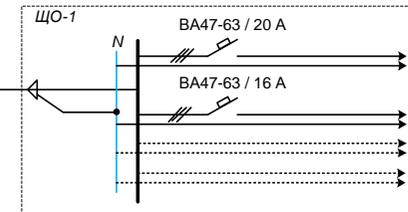
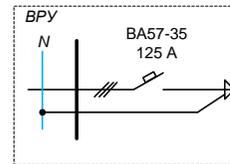
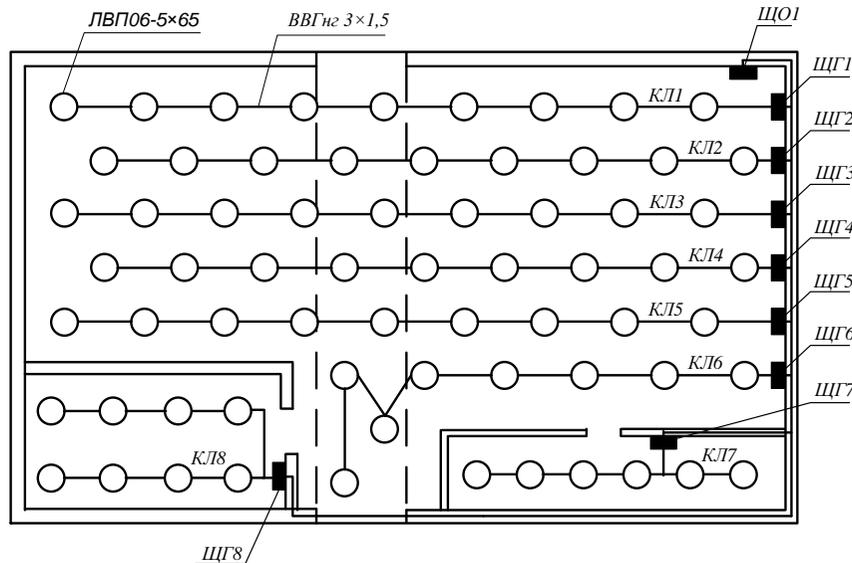
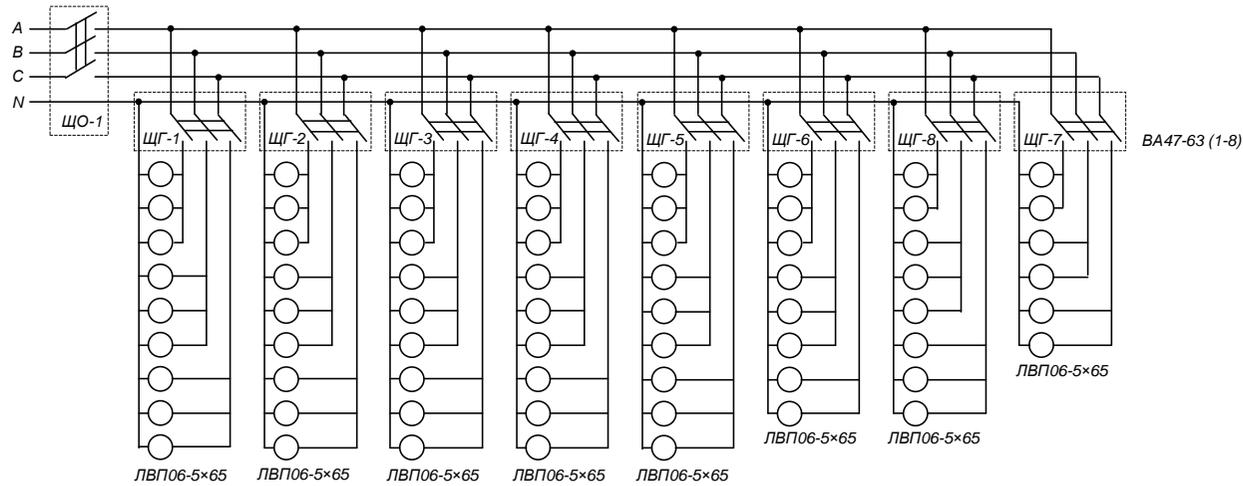
ДП-ФЮРА.371000.244.Э4

Однолинейная схема электроснабжения механического цеха. Карта селективности.

Изм.	Лист	№ доп.	Подп.	Дата
Разраб.	Харченко А.П.			
Провер.	Саргсисев Е.Ж.			

Лит.	Масса	Масштаб
Лист 1 из 1		

ТПУ ЭНИИ
Группа 5А3Д



					ДП-ФЮРА.3710000.245.Э4					
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	План расположения и схема питания светильников механического цеха					
								Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.	Харченко А.И.									
Провер.	Сарыкиев Е.Ж.				Лист 1	Листов 1				
					ТПУ ЭНИН Группа 5А3Д					