

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Южно-Уральский государственный университет  
(национальный исследовательский университет)»

Политехнический институт

Факультет механико-технологический  
Кафедра техники и технологии

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ  
Заведующий кафедрой, к.т.н.,  
доцент  
\_\_\_\_\_ А.В. Прохоров  
\_\_\_\_\_ 2018 г.

Создание комплекса электроснабжения предприятия и цеха  
по производству электромонтажных изделий

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ  
ЮУрГУ– 130302.2018.740. ПЗ ВКР

Руководитель работы,  
Инженер по ВНТиТ  
\_\_\_\_\_ С.Н. Разыграев  
\_\_\_\_\_ 2018 г.

Автор работы –  
студент группы ДО-533  
\_\_\_\_\_ Д.Э. Мокичев  
\_\_\_\_\_ 2018 г.

Нормоконтролер, старший  
преподаватель  
\_\_\_\_\_ Д.П. Химичева  
\_\_\_\_\_ 2018 г.

Челябинск 2018

## АННОТАЦИЯ

Мокичев, Д.Э. Создание комплекса электроснабжения предприятия и цеха по производству электромонтажных изделий. – Челябинск: ЮУрГУ, ДО-533; 2018. – 56 с. 2 илл., библиогр. список – 50 наим., 26 прил., 5 чертежей ф. А3.

В выпускной квалификационной работе по исходным данным произведен расчет электрических нагрузок по участкам цеха, выбрана схема электроснабжения цеха по производству электромонтажных изделий, приведены расчеты выбора числа и мощности трансформаторов. Выбор сечения питающих проводов и кабелей осуществлен по условию нагрева, выбранное сечение проверено по допустимой потере напряжения.

Рассмотрен вопрос выбора мощности, типа, количества и мест размещения компенсирующих устройств.

Приведены расчеты токов короткого замыкания, по результатам которых выполнен выбор защитной и коммутационной аппаратуры. Также произведен выбор трансформаторов цеховой подстанции и определена необходимость компенсации реактивной мощности.

Принимаемые конструктивные решения технически обоснованы и соответствуют требованиям нормативных документов.

					<b>130302.2018.740 ПЗ ВКР</b>		
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>			
<i>Разраб.</i>	Мокичев				<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>	Разыграев				Д	2	56
<i>Реценз.</i>					ЮУрГУ кафедра техники и технологии		
<i>Н. Контр.</i>	Химичева						
<i>Утверд.</i>	Прохоров						

**Создание комплекса  
электроснабжения  
предприятия и цеха  
по производству**

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....		7
1	АНАЛИЗ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ	
1.1	Обзор литературы и работ, связанных с проектированием систем электроснабжения промышленных предприятий.....	10
1.2	Характеристика предприятия и источников питания.....	13
2	СРАВНЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ПЕРЕДОВЫХ ЗАРУБЕЖНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И РЕШЕНИЙ.....	16
3	ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЦЕХА	
3.1	Характеристика технологического процесса и электрооборудования цеха.....	18
3.2	Выбор номинального напряжения сети по формуле.....	18
3.3	Выбор трансформаторов $T_1, T_2$ .....	19
3.4	Выбор проводов и опор	
3.4.1	Определяются параметры проводов по линии $W_1$ .....	21
3.4.2	Выбор опор для линии 110 кВ.....	23
3.5	Технико-экономический расчет капиталовложений в подстанцию 6/0,4 кВ	
3.5.1	Выбор трансформаторов $T_3, T_4$ , кабельной линии, коммутационной аппаратуры расчет капиталовложения в подстанцию, расчет потерь электрической энергии в трансформаторах и ее стоимости.....	25
3.5.2	Выбор кабельных линий по стороне 6 кВ.....	25
3.6	Расчет токов короткого замыкания линий.....	26
3.7	Выбор высоковольтных выключателей	
3.7.1	Выбор выключателей $B_4$ на напряжение 6 кВ.....	27
3.7.2	Выбор выключателей $B_3, B_5$ на напряжение 6 кВ.....	28
3.7.3	Выбор выключателей $B_2, B_6$ на напряжение 110 кВ.....	28

					<b>130302.2018.740 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		3

3.7.4	Выбор выключателей В <sub>1</sub> на напряжение 110 кВ.....	29
3.8	Выбор разъединителей на напряжение 110 кВ и 6 кВ	
3.8.1	Выбор линейных разъединителей на напряжение 110 кВ.....	30
3.8.2	Выбор секционных разъединителей на напряжение 110 кВ.....	30
3.8.3	Выбор линейных разъединителей на напряжение 6 кВ.....	31
3.9	Выбор и проверка трансформаторов тока	
3.9.1	Выбор и проверка трансформатора тока 110 кВ.....	31
3.9.2	Выбор и проверка трансформатора тока 6 кВ.....	31
3.10	Выбор и проверка трансформаторов напряжения	
3.10.1	Выбор и проверка трансформатора напряжения 110 кВ.....	32
3.10.2	Выбор и проверка трансформатора напряжения 6 кВ.....	32
3.11	Выбор и проверка шинной сборки напряжением 6 кВ.....	33
3.12	Проверка кабельной линии на термическую стойкость.....	33
3.13	Защита трансформаторов Т <sub>1</sub> –Т <sub>2</sub> , и кабельной линии 6 кВ	
3.13.1	Выбор дифференциальной защиты трансформаторов Т <sub>1</sub> , Т <sub>2</sub> .....	34
3.13.2	Выбор МТЗ и ТО защиты кабельной линии 6 кВ.....	34
3.14	Описание цеха по производству электромонтажных изделий.....	34
3.15	Определение электрических нагрузок цеха .....	35
3.16	Определение расчетной нагрузки цеха по производству электромонтажных изделий от силовых электроприёмников.....	35
3.17	Определение осветительной нагрузки цеха.....	38
3.18	Выбор числа, мощности и типа трансформаторов цеховой подстанции.....	38
3.19	Определение центров электрических нагрузок.....	39
3.20	Выбор сечения кабелей, питающих распределительные пункты.....	40
3.21	Определение расчетной нагрузки для I, II секций шин 0,4 кВ.....	41
3.22	Расчет отклонений напряжения в максимальных и послеаварийных режимах.....	41

3.23	Расчёт токов короткого замыкания на линии 0,4 кВ.....	46
3.24	Выбор и проверка защитной аппаратуры для схемы электроснабжения цеха.....	47
3.25	Расчет заземляющих устройств цеха.....	50
3.26	Расчет молниезащиты цеха.....	50
	<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b>	51
	<b>БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК</b>	52
	<b>ПРИЛОЖЕНИЯ</b>	
	ПРИЛОЖЕНИЕ А Расчет капиталовложений в подстанцию 6/0,4 кВ..	57
	ПРИЛОЖЕНИЕ Б Расчёт токов короткого замыкания в относительных единицах.....	63
	ПРИЛОЖЕНИЕ В Выбор и проверка вакуумных выключателей В <sub>3</sub> , В <sub>4</sub> , В <sub>5</sub> на напряжение 6 кВ.....	69
	ПРИЛОЖЕНИЕ Г Выбор и проверка выключателей В <sub>2</sub> , В <sub>6</sub> , В <sub>1</sub> на напряжение 110 кВ.....	73
	ПРИЛОЖЕНИЕ Д Выбор и проверка секционных и линейных разъединителей на напряжение 110 кВ.....	76
	ПРИЛОЖЕНИЕ Е Выбор и проверка линейных разъединителей на напряжение 6 кВ.....	78
	ПРИЛОЖЕНИЕ Ж Выбор и проверка трансформаторов тока на напряжение 6 кВ и 110 кВ.....	79
	ПРИЛОЖЕНИЕ И Выбор и проверка трансформаторов напряжения 6 и 110 кВ.....	83
	ПРИЛОЖЕНИЕ К Выбор и проверка шинной сборки 6 кВ.....	85
	ПРИЛОЖЕНИЕ Л Проверка кабельной линии на термическую стойкость.....	88
	ПРИЛОЖЕНИЕ М Дифференциальная защита трансформаторов Т <sub>1</sub> , Т <sub>3</sub> и МТЗ линии W <sub>2</sub> в электромеханическом исполнении.....	89

ПРИЛОЖЕНИЕ Н	Определение типов электроприемников и разделение их на группы.....	101
ПРИЛОЖЕНИЕ П	Выбор типа светильников и расчет осветительной нагрузки.....	102
ПРИЛОЖЕНИЕ Р	Выбор и проверка трансформаторов на 6 кВ.....	104
ПРИЛОЖЕНИЕ С	Определение центра электрических нагрузок цеха по производству электромонтажных изделий .....	108
ПРИЛОЖЕНИЕ Т	Выбор сечения кабелей, питающих распределительные пункты.....	113
ПРИЛОЖЕНИЕ У	Определение расчетных нагрузок I и II секций шин РЩ 0,4 кВ.....	116
ПРИЛОЖЕНИЕ Ф	Расчет отклонений напряжения в максимальных и послеаварийных режимах.....	120
ПРИЛОЖЕНИЕ Х	Расчёт токов короткого замыкания линии 0,4 кВ...	132
ПРИЛОЖЕНИЕ Ц	Выбор и проверка защитной аппаратуры для схемы электроснабжения цеха.....	151
ПРИЛОЖЕНИЕ Ш	Расчет заземляющих устройств и молниезащиты цеха.....	159
ПРИЛОЖЕНИЕ Щ	Схема заземления цеха по производству электромонтажных изделий.....	171
ПРИЛОЖЕНИЕ Э	Схема электроснабжения цеха по производству электромонтажных изделий.....	172
ПРИЛОЖЕНИЕ Ю	Схема релейной и дифференциальной защиты трансформаторов.....	173
ПРИЛОЖЕНИЕ Я	Схема электроснабжения предприятия.....	174
ПРИЛОЖЕНИЕ Ф	Принципиальная электрическая схема потребителей цеха 0,4 кВ.....	175

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы.** Актуальность решаемой задачи велика, поскольку внедрение новых конструктивных решений позволит сократить потери в элементах сети, улучшить качество электроэнергии, облегчить, а также обеспечить более безопасную работу для оперативного персонала и свести к минимуму возможность ошибочных действий с его стороны. При этом должны по возможности применяться решения, требующие минимальных расходов ресурсов, не теряя при этом качества, надежности и безопасности всей цеховой структуры.

**Целью выпускной квалификационной работы** является правильное и разумное сочетание требований экономичности системы электроснабжения с надежностью, безопасностью и удобством эксплуатации, обеспечение надлежащего качества электроэнергии, уровня напряжения, стабильность частоты и т. п. Должны также учитываться кратчайшие сроки выполнения строительномонтажных работ и необходимая гибкость системы, обеспечивающая возможность расширения при развитии предприятия без существенного усложнения и удорожания.

К наиболее важным задачам, которые должны быть решены в проекте, относятся:

- определение расчетной нагрузки цеха по производству электромонтажных изделий;
- выбор числа и мощности цеховых трансформаторов и мест их установки;
- выбор схемы электроснабжения цеха и трансформаторов ГПП;
- расчет токов короткого замыкания со стороны 110, 6, 0,4 кВ;
- выбор коммутационной аппаратуры с высокой и низкой сторон питающей сети;
- выбор и расчёт схемы питающих и распределительных сетей цеха;
- электроснабжение цеха по производству электромонтажных изделий.

					<b>130302.2018.740 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		7

**Задачи выпускной квалификационной работы:** создание комплекса электроснабжения цеха по производству электромонтажных изделий и установка необходимого оборудования.

**Объектом выпускного квалификационной работы** является система электроснабжения цеха.

**Предметом выпускной квалификационной работы** при проектировании и построении системы электроснабжения, необходимо учитывать ряд факторов, к числу которых относятся: потребляемая мощность и категории надежности питания отдельных элементов, графики нагрузок крупных потребителей, характер нагрузок, число и мощность подстанций и других пунктов потребления электроэнергии, напряжение потребителей, число расположение, мощность, напряжение и другие параметры располагаемых источников питания.

Основными определяющими факторами являются характеристика источников питания, мощность и категория потребителей электроэнергии. При построении системы электроснабжения нужно учитывать требования ограничения токов короткого замыкания, а также условия выполнения простой и надежной релейной защиты и автоматики.

**Практическая значимость выпускной квалификационной работы** заключается в рассмотрении вопросов, решение которых необходимо для электроснабжения цеха по производству электромонтажных изделий и его потребителей.

**Структура выпускной квалификационной работы** состоит из введения, трех разделов, заключения и библиографического списка. Раздел 1 посвящен теоретическому обоснованию темы исследования, в нем дается оценка существующей схемы электроснабжения. В Разделе 2 приводится сравнение отечественных и передовых зарубежных технологий и решений. В Разделе 3 описывается весь технологический процесс электроснабжения цеха по производству электромонтажных изделий.

									Лист
									8
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	130302.2018.740 ПЗ				



**Объем выпускной квалификационной работы** составляет 175 страниц машинописного текста и содержит 2 иллюстрации, 28 таблиц, библиографический список из 50 наименований и 26 приложений.

					<b>130302.2018.740 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		9

# 1 АНАЛИЗ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ

## 1.1 Обзор литературы и работ, связанных с проектированием систем электроснабжения промышленных предприятий

Задачами проектирования и эксплуатации современных систем электроснабжения промышленных предприятий являются разработка и технико-экономическое обоснование решений, определяющих формирование и развитие сетей электроснабжения предприятия и средств их эксплуатации, при которых обеспечивается энергетическая безопасность и оптимальная надежность снабжения потребителей электроэнергией в необходимых количествах и требуемого качества с наименьшими затратами. Все эти вопросы должны быть рассмотрены и проработаны в соответствии с требованиями ПУЭ и ПТЭЭП [24].

Нарушение электроснабжения предприятий связано со значительным ущербом. Следует, что выбор конфигурации и параметров систем электроснабжения, их эксплуатационных режимов должен выполняться с учетом показателей надежности. Общие требования к надежности электроснабжения потребителей приведены в ПУЭ. В частности, схемы подстанций разрабатываются в тесной связи с общей схемой электроснабжения предприятия и обязательно должны учитывать перспективы развития предприятия [6].

Схемы трансформаторных подстанций промышленных предприятий всех напряжений строятся на следующих основных положениях:

- преимущественное применение одной системы шин и резкое ограничение применение двух систем шин;
- широкое применение «блочных схем»;
- широкое применение автоматизации и телемеханизации на всех напряжениях [5].

					<b>130302.2018.740 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		10

Если даже при сооружении подстанций не предусматривается ее автоматизация или телемеханизация, то схема коммутации все же должна строиться таким образом, чтобы в дальнейшем эти мероприятия возможно было осуществить без значительных затрат и переделок.

При решении задач оптимизации промышленного электроснабжения возникает необходимость сравнения большого количества вариантов. Многовариантность задач промышленной энергетики обуславливает проведение технико-экономических расчетов, целью которых является определение оптимального варианта схемы, параметров электросети и ее элементов [6].

Технико-экономические расчеты выполняют для набора:

- рациональной с точки зрения технико-экономических показателей схемы электроснабжения цехов и предприятия в целом;
- технически и экономически обоснованного числа, мощности и режима работы трансформаторов главной понизительной и цеховых подстанций;
- рациональных напряжений в схеме, определяющих размеры капиталовложений, расход цветного металла, потери электроэнергии и эксплуатационные расходы;
- сечений проводов, шин и жил кабелей в зависимости от ряда технических и экономических факторов;
- экономически целесообразных средств компенсации реактивной мощности и мест размещения компенсирующих устройств.

В настоящее время основным документом, в котором обобщены и методически оформлены руководящие указания по экономическим расчетам в области промышленной энергетики, является «Методика технико-экономических расчетов в энергетике» [28]. В соответствии с этими материалами основным критерием, позволяющим рекомендовать данное техническое решение, является его экономическая эффективность.

В соответствии с [28] оптимальным из сравниваемых вариантов считают вариант, обеспечивающий минимум приведенных затрат.

При выполнении технико-экономических расчетов систем промышленного электроснабжения должны соблюдаться определенные условия сопоставимости вариантов:

– технические, при которых сравнивают только взаимозаменяемые варианты при оптимальных режимах работы и оптимальных параметрах, характеризующих каждый рассматриваемый вариант;

– экономические, при которых расчет сравниваемых вариантов ведут применительно к одинаковому уровню цен и одинаковой достижимости принятых уровней развития техники с учетом одних и тех же экономических показателей, характеризующих каждый рассматриваемый вариант.

После приведения к сопоставимому виду для каждого варианта определяют капитальные вложения, эксплуатационные расходы и суммарные приведенные затраты. Следует иметь в виду, что при сравнении вариантов данные для технико-экономических расчетов следует брать из одного или одинаковых справочных материалов [28, 9].

Одной из важных задач на сегодняшний день является рассмотрение режимов экономии электроэнергии в сетях и промышленных установках.

Качество электроэнергии оценивается по технико-экономическим показателям, которые учитывают ущерб, причиняемый народному хозяйству вследствие порчи материалов, расстройств технологического процесса, ухудшение качества выпускаемой продукции, снижение производительности труда и по другим причинам, – так называемый технологический ущерб. Кроме того, существует и электромагнитный ущерб от некачественной электроэнергии, который характеризуется увеличением потерь электроэнергии, выходом из строя электротехнического оборудования, нарушением работы автоматики, телемеханики и связи и т. д. [13].

					<i>130302.2018.740 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		12

Качество электроэнергии также тесно связано с надежностью электроснабжения, поскольку нормальным режимом электроснабжения является такой режим, при котором потребители получают электроэнергию не только нормированного качества, но и заранее согласованного с электроснабжающей организацией ее количество, поступающую бесперебойно. Правилами пользования электрической и тепловой энергией определена ответственность энергосистемы за недоотпуск электроэнергии и за отпуск некачественной электроэнергии на границе балансовой принадлежности электрических сетей энергосистемы и потребителя [5].

## 1.2 Характеристика предприятия и источников питания

Основная часть электрической энергии, потребляемой цехами, используется для питания приводов различных механизмов, освещения, для различных электротехнологических установок, в которые входят: электротермические, электросварочные, установки электролиза, электрофильтры другие [13].

Приемники электроэнергии промышленных предприятий условно делятся на следующие группы:

- приемники трехфазного тока напряжением до 1000 В, частотой 50 Гц;
- приемники трехфазного тока напряжением выше 1000 В, частотой 50 Гц;
- приемники однофазного тока напряжением до 1000 В, частотой 50 Гц;
- приемники, работающие с частотой, отличной от 50 Гц, питаемые от преобразовательных подстанций и установок;
- приемники постоянного тока, питаемые от преобразовательных подстанций и установок [32].

Электроприемники цеха по производству электромонтажных изделий не связаны между собой технологическим процессом, их работа происходит независимо друг от друга, и остановка одного из них или нескольких не вызывает остановки других приемников. Среда в цехе нормальная.

					<b>130302.2018.740 ПЗ</b>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		13

Расположение электроприемников стабильное, так как их стабильность обусловлена постоянством их местоположения. Обратное воздействие на систему электроснабжения определяется величиной реактивной мощности, потребляемой данными приемниками электрической энергии. Потребители рассматриваемой группы создают равномерную и симметричную нагрузку по всем трем фазам.

Предприятие расположено в промышленно развитом районе. Цех по производству электромонтажных изделий получает питание от районной электростанции. На предприятии использованы потребители электроэнергии преимущественно 1 и 2 категории, значит, предприятие можно отнести ко 2 категории по бесперебойности электроснабжения – прием к установке двухтрансформаторные цеховые подстанции.

Для электроснабжения цеховых электроприемников применяется смешанная схема электроснабжения. Шинопровод устанавливается на высоте 2,5 м над уровнем пола. Шинопровод подключен к вводно-линейной панели с помощью кабеля, который подводится к шинопроводу в полу в трубе. Для освещения цеха устанавливаются щиты рабочего и аварийного освещения, которые подключены к головному участку шинопровода.

Питание электроприемников осуществляется по проводам, которые спускаются от шинопровода. Они проводятся под полом в металлических трубах и подводятся к электрическим двигателям аппаратов. Питание ЭП, расположенных в остальных помещениях, выполняется по радиальной схеме, т. е. от распределительных пунктов.

РП получают питание от трансформаторной подстанции.

Электроснабжение цеха осуществляется от встроенных понижающих подстанций. Схема электроснабжения завода позволяет продолжать питание электроприёмников энергией даже в аварийной ситуации. Технологический процесс производства не является непрерывным и кратковременное отсутствие электроэнергии не приносит большого ущерба.

					<b>130302.2018.740 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		14

Отметим, что небольшая часть электрической энергии потребляется однофазными электроприемниками и электроприемниками со специфическим характером нагрузки, основная нагрузка – трехфазная длительная, следовательно, нет необходимости решать вопросы по ограничению колебаний напряжений, уменьшения содержания высших гармоник, ограничения несимметрии напряжения.

					<i>130302.2018.740 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		15

## 2 СРАВНЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ПЕРЕДОВЫХ ЗАРУБЕЖНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И РЕШЕНИЙ

На сегодняшний день в области энергетики мы можем наблюдать качественное развитие технологий и методических решений направленных на улучшение качества электроснабжения потребителей. Многие технические решения и методы заимствуются у зарубежных стран, так как на сегодняшний день во многих странах Северной Америки и Западной Европы электроэнергетика развита значительно лучше [49].

Для примера, во многих странах с развитой энергетикой отсутствует оперативный персонал. Это связано с тем, что глубоко внедрена автоматизация процессов. Все оперативные переключения производятся автоматически, без участия человека. Защиты линий и оборудования выполняются на цифровых устройствах, имеющих связь с центральным (головным) звеном. Данная тенденция наблюдается и в отечественной энергетике, внедряется новое оборудование, выполненное по международным стандартам и не чем не уступающее зарубежным аналогам. Для примера такого оборудования можно привести вакуумный выключатель ВБЭ-10-20/630-УЗ, производства НПП «Контакт», г. Саратов [7]. Это выключатель, предназначенный для оперативных переключений в линиях 6–10 кВ, и имеет широкий спектр возможностей. Это аппаратура только начинает внедряться, но уже очень хорошо себя зарекомендовала и можно прогнозировать ее дальнейшее распространение на рынке [7]. В Соединенных штатах аналогичная аппаратура вводится уже давно и за это время стала неотъемлемой частью энергосистемы. Что позволило им в свою очередь отказаться от оперативного персонала, в пользу автоматизации процессов устранения человека от оперативных переключений.

Сравнивая пути развития отечественной и зарубежной электроэнергетики, можно с уверенностью сказать, что данный вид аппаратуры будет и дальше внедряться.

					<b>130302.2018.740 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		16



Широкое применение техники и информационных технологий, явилось важнейшим фактором увеличения конкурентоспособности Российской экономики [49].

Технологический процесс повысил структуру и масштабы производства в индустриально развитых государствах. Сегодня ими исполняется планомерный переход от стадии развития индустриального к постиндустриальному, а также к информационной стадии. Все процессы оживленно стимулируются и регулируются правительствами, чья роль не ограничивается только лишь стандартными поддержками фундаментальной науки и различных целевых исследований, а так же применяет меры по развитию особенно приоритетных промышленных отраслей [49].

					<i>130302.2018.740 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		17

### 3 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЦЕХА

#### 3.1 Характеристика технологического процесса и электрооборудования цеха

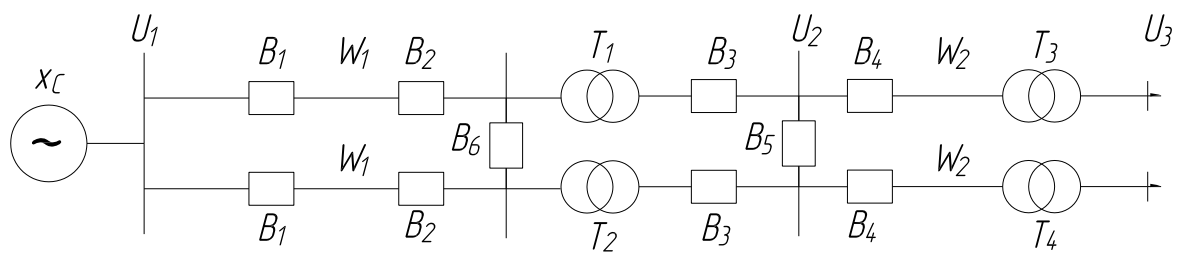


Рисунок 1 – Исходная схема

$$E_c = 300 \text{ МВА};$$

$$X_{*c} = 0,6 \text{ Ом};$$

$$L_1 = 85 \text{ км};$$

$$L_2 = 2,2 \text{ км};$$

$$S_{HT1}=S_{HT2} = 24 \text{ МВА};$$

$$S_{HT3}=S_{HT4} = 400 \text{ кВА};$$

$$U_3 = 0,4 \text{ кВ}.$$

#### 3.2 Выбор номинального напряжения сети по формуле

Номинальное напряжение зависит от многих факторов, поэтому задача его выбора не может иметь однозначного решения.

Для расчета воспользуемся формулой Стилла:

$$U_{\text{ном}} = 4,34\sqrt{L + 0,016P}, \quad (1)$$

где  $L$  – длина линии электропередач, равная 50 км;

$P$  – активная мощность, равная.

Задано  $S_{\text{потр}} = 24 \text{ МВА}$ , а так же  $\cos\varphi_i = 0,95$  для нагрузки.

$$P = S \cdot \cos\varphi = 24 \cdot 0,95 = 22,8 \text{ МВт}$$

$$U_1 = 4,34\sqrt{85 + 0,016 \cdot 22800} = 92,0 \text{ кВ}$$

Для сравнения воспользуемся эмпирической формулой Илларионова из литературы [21]:

$$U_{ном} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{L} + \frac{2500}{P}}} \quad (2)$$

$$U_1 = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{85} + \frac{2500}{22,8}}} = 93,1 \text{ кВ}$$

Ближайшим стандартным напряжением является 110 кВ. Выбираем его, как основное для высокой стороны нашей сети.

### 3.3 Выбор трансформаторов $T_1, T_2$

Определение полной номинальной мощности трансформатора:

$$S_T = \frac{S_{потр}}{\beta \cdot N}, \quad (3)$$

где  $S_T$  – расчетная мощность трансформатора;

$N$  – число трансформаторов;

$\beta$  – коэффициент загрузки трансформаторов в нормальном режиме, для повышения экономичности работы, рекомендуется принимать с учётом полной нагрузочной способности  $\beta = 0,7$  [19].

$$S_T = \frac{24000}{0,7 \cdot 2} = 17142 \text{ кВА.}$$

Из стандартного ряда номинальных мощностей трансформаторов выбираются трансформаторы:  $S_{ном1} = 25 \text{ МВА}$ ,  $S_{ном2} = 32 \text{ МВА}$ .

Помимо нормального режима, необходимо рассмотреть послеаварийный режим работы трансформатора, чтобы проверить его нагрузочную способность.

В качестве послеаварийного режима рассматривается режим отключение одного трансформатора:

$$S_{авар} = S_{потр} \quad (4)$$

$$S_{авар} = S_{потр} = 24 \text{ МВА}$$

Аварийная нагрузка трансформатора при отключении одного из них определяется:

$$\beta_{ав} = \frac{S_{авар}}{S_{ном}}, \quad (5)$$

где  $S_{ном}$  – номинальная полная мощность трансформатора.

$$\beta_{ав1} = \frac{24}{25} = 0,96$$

$$\beta_{ав2} = \frac{24}{32} = 0,75$$

Для масляных трансформаторов коэффициент аварийной перегрузки не должен превышать 1,4. Оба варианта удовлетворяют условиям.

На двухтрансформаторной подстанции в нормальном режиме работы трансформаторы должны быть загружены на 60÷70 %.

Рассчитаем коэффициент загрузки трансформаторов, а также произведем проверку трансформаторов на перегрузку:

$$\beta_з = \frac{S_p}{S_{ном} \cdot N}, \quad (6)$$

где  $S_{ном}$  – номинальная полная мощность трансформатора;

$S_p$  – расчетная мощность потребителя;

$N$  – число трансформаторов.

$$\beta_{з1} = \frac{24}{25 \cdot 2} = 0,5$$

$$\beta_{з2} = \frac{24}{32 \cdot 2} = 0,38$$

Поскольку в рассмотренном втором варианте трансформатор по  $\beta_з$  и по  $\beta_{ав}$  загружен не полностью, то выбранный трансформатор не удовлетворяет необходимым требованиям, и не может быть использован. Единичная мощность трансформатора ТД-25000 выбрана в соответствии с рекомендациями удельной плотности расчетной нагрузки и полной расчетной нагрузки объекта, что является экономически целесообразно (номинальная мощность не завышена), также на случай развития производства у потребителя, данный трансформатор обладает необходимым запасом резерва мощности.

					<b>130302.2018.740 ПЗ</b>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		20

Выбирается для трансформаторов Т<sub>1</sub>, Т<sub>2</sub>: ТД-25000/110.

Паспортные данные на трансформаторы Т<sub>1</sub>, Т<sub>2</sub> взяты из литературы [22] и указаны в таблице 1.

Таблица 1 – Паспортные данные трансформатора

Тип	$S_{ном}$ , МВА	$U_{Вномі}$ , кВ	$u_k$ , %	$\Delta P_k$ , кВт	$\Delta P_0$ , кВт	$I_x$ , %
ТД-25000/110	25	115	10,5	120	25	0,75

### 3.4 Выбор проводов и опор

#### 3.4.1 Определяются параметры проводов по линии W<sub>1</sub>

Рабочий ток, протекающий по линии в часы максимума энергосистемы, определяется по формуле:

$$I_{pi} = \frac{S_i}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.} \cdot n}, \quad (7)$$

где n – количество цепей.

Для линий W<sub>1</sub>:

$$I_{pW1} = \frac{24 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 115000} = 125,51 \text{ А}$$

Экономически целесообразное сечение определяется из выражения:

$$F_{эi} = \frac{I_{pi}}{j_э}, \quad (8)$$

где j<sub>э</sub> – нормированная экономическая плотность тока. Экономическая плотность тока при числе использования максимума нагрузки в год условно заданно T<sub>ноб</sub> = 5000 часов составляет j<sub>э</sub> = 1,0 А/мм<sup>2</sup> [24].

Для воздушных линий рекомендовано применение сталеалюминевых проводов. Так как толщина стенки гололеда для электрифицируемого района (условно задаемся – Средний Урал) составляет 15 мм, то рекомендованное по [24] соотношение для сталеалюминевых проводов: А/С = 6,00 – 6,25 – при сечениях до 185 мм<sup>2</sup>; А/С = 7,71 и более при сечениях 240 мм<sup>2</sup> и более.

При выборе сечений проводов в районных электрических сетях напряжением 110 кВ необходимо учитывать ряд ограничений:

а) по условию отсутствия «короны»:

$$F_3 \geq F_{\min \kappa} \quad (9)$$

Минимальное сечение проводов ВЛ 110 кВ по условию «короны» –  $F_{\min \kappa} = 70 \text{ мм}^2$  [24];

б) по условиям нагрева:

$$I_{\text{доп}} \geq I_{\text{max}}, \quad (10)$$

где  $I_{\text{доп}}$  – максимально допустимый ток по условию теплового нагрева;

$I_{\text{max}}$  – наибольшее расчётное значение тока в проводнике.

Экономически целесообразное сечение для линии  $W_1$  будет равно:

$$F_{\text{эЛ1}} = \frac{125,51}{1,1} = 114,1 \text{ мм}^2$$

Полученное сечение округляется до ближайшего стандартного значения. Для линии  $W_1$  выбирается провод АС-120/27 [22].

Проверка выбранного сечения по нагреву.

Рассмотрим аварийный режим – обрыв одной цепи. Тогда ток, протекающий в оставшейся цепи, определяется как:

Для линии  $W_1$ :

$$I_{\text{max i}} = 2 \cdot 114,1 = 228,2 \text{ А} < I_{\text{доп}} = 450 \text{ А}.$$

Определение параметров схемы замещения линий.

Параметры удельных сопротивлений линии  $W_1$  находятся из литературы [17] и сводятся в таблицу 2.

Таблица 2 – Параметры линии  $W_1$

Линия	$S_{\text{pi}}$ , МВА	$R_{0i}$ , Ом/км	$X_{0i}$ , Ом/км	$W_1$ , км	$R_{W1}$ , Ом	$X_{W1}$ , Ом
$W_1$	24	0,198	0,420	85	17,82	37,8

$$R_{Wi} = R_{0i} \cdot L \quad (11)$$

$$X_{Wi} = X_{0i} \cdot L, \quad (12)$$

где  $L$  – длина линии, км.

$$R_{W1} = 0,198 \cdot 85 = 17,82 \text{ Ом}$$

$$X_{W1} = 0,420 \cdot 85 = 37,8 \text{ Ом}$$

### 3.4.2 Выбор опор для линии 110 кВ

В электросетевом строительстве при сооружении воздушной линии 110 кВ используются стальные опоры или опоры железобетонные [19]. Количество опор зависит от климатического района по гололеду, от марки и сечения провода, от расстояния пролета [41].

Использование железобетонных опор для этого класса напряжения реально только для районов с простыми условиями строительства, так как железобетонные опоры имеют ряд недостатков:

- большая длина стоек – 22 м, затрудняющая их транспортировку;
- невозможность заглубления опор ниже 3 м, что недостаточно для надежного закрепления опор в пучинистых грунтах;
- большой вес стоек – около 5 т;
- слабая устойчивость железобетона к повреждениям при транспортировке, погрузо-разгрузочных и строительно-монтажных работах.

Этих недостатков лишены стальные опоры. Подавляющая часть стальных опор для указанного класса напряжения представляет собой конструкции башенного типа, собранные из пространственных ферм, которые, в свою очередь, собираются на болтах из прокатных уголков.

Достоинством таких опор является относительно небольшой расход стали.

Недостатки: большое число деталей, трудоемкость сборки при монтаже, высокочрезвычайно дорогие перевозки после укрупненной сборки, большие затраты на фундаменты.

С учетом всех достоинств и недостатков, принимаются к рассмотрению стальные опоры.

					<b>130302.2018.740 ПЗ</b>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		23

Условно примем, что местность равнинная без дорожных и автомобильных проездов, нет поворотов, пересечений и каких-либо коммуникаций.

Общее количество опор определяется:

$$N = \frac{L}{l_{пр}}, \quad (13)$$

где  $L$  – длина линии, км;

$l_{пр}$  – длина пролета, км.

$$N = \frac{85}{0,3} = 283 \text{ шт} - \text{общее количество опор.}$$

Для воздушной линии применяются следующие типы опор:

- промежуточные, предназначенные для поддержания проводов на прямых участках трассы;
- анкерные, предназначенные для жесткого закрепления проводов в особо ответственных точках воздушной линии.

Число анкерных опор воздушной линии составляет 10 % от общего числа на линии.

В нашем случае анкерные опоры составят 28 шт. (2 шт. на концах воздушной линии и 26 шт. на прямых ее участках).

Остальные: промежуточные опоры –  $N_{пром} = 283 - 26 = 257$  шт.

Из [21] выбираем по марке прокладываемого кабеля и климатических условий. Для линий 110 кВ была выбрана марка кабеля АС-120/27. Данные заносим в таблицу 3:

Таблица 3 – Технические характеристики опор ВЛ 110 кВ

Опоры	Район по гололёду	Марка провода	Допустимый пролёт, м
Промежуточные			
ПС110-2	I-II	АС-120/27	330–255
Анкерно-угловые			
У110-2	I-IV	АС-120/27	-



### 3.5 Технико-экономический расчет капиталовложений в подстанцию 6/0,4 кВ

3.5.1 Выбор трансформаторов Т<sub>3</sub>, Т<sub>4</sub>, кабельной линии, коммутационной аппаратуры расчет капиталовложения в подстанцию, расчет потерь электрической энергии в трансформаторах и ее стоимости

Технико-экономический расчет капиталовложений в подстанцию и расчет потерь электрической энергии в трансформаторах представлен в приложении А.

Исходя из заданной номинальной мощности 400 кВА для трансформаторов Т<sub>3</sub>, Т<sub>4</sub> выбираются трансформаторы типа ТМГ-400 [36].

Из сравнения экономических показателей видно, что вариант 2 (приложение А)  $U_{ном} = 6$  кВ наиболее дорогим, поэтому для проектирования сети выбирается номинальное напряжение  $U_{ном} = 6$  кВ, с соответствующим электрическим оборудованием: кабельной линии АСБ 6 кВ 3×35, трансформаторами 6 кВ – ТМГ 400/6.

#### 3.5.2 Выбор кабельных линий по стороне 6 кВ

Расчет для кабельных линий ведется аналогично расчетам для воздушных линий.

Экономически плотность тока для кабельной линии с алюминиевыми жилами при числе использования максимума нагрузки в год условно заданно  $T_{нб} = 5500$  часов составляет  $j_3 = 1,4$  А/мм<sup>2</sup> [24].

Условно принимаем  $S_{pT3} = 400$  кВа.

Для линий  $W_2$ :

$$I_{pW2} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 36,66 \text{ А.}$$

Экономически целесообразное сечение определяется из выражения:

$$F_{3W2} = \frac{36,66}{1,4} = 26,18 \text{ мм}^2.$$

									Лист
									25
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	130302.2018.740 ПЗ				

Полученное сечение округляется до ближайшего стандартного значения.  
Для линии  $W_2$  выбирается кабель АСБ 6 кВ  $3 \times 35 \text{ мм}^2$ .

Кабель рассматривается по длительно допустимому току.

По таблице 2 [24]  $I_{\text{доп}} = 100 \text{ А}$ .

Для линии  $W_2$ :

$$I_{\text{max } i} = 1,4 \cdot 36,66 = 51,32 \text{ А} < I_{\text{доп}}$$

По нагреву кабель проходит.

Определение параметров схемы замещения линий:

Параметры удельных сопротивлений линий находятся из таблицы П.2 [15] и сводятся в таблицу 4.

Таблица 4 – Параметры удельных сопротивлений линий

Линия	$S_{\text{рi}}$ , кВА	$R_{0i}$ , Ом/км	$X_{0i}$ , Ом/км	$W_2$ , км	$R_{W2}$ , Ом	$X_{W2}$ , Ом
$W_2$	400	0,641	0,083	2,2	1,41	0,182

$$R_{W2} = 0,641 \cdot 2,2 = 1,41 \text{ Ом}$$

$$X_{W2} = 0,083 \cdot 2,2 = 0,182 \text{ Ом}$$

### 3.6 Расчет токов короткого замыкания линий

При расчетах короткого замыкания принимается ряд допущений, которые значительно упрощают расчет, внося незначительные погрешности. Приняты следующие допущения:

- не учитываются токи нагрузки;
- не учитываются емкости, а, следовательно, и емкостные токи в воздушной и кабельной сети;
- трехфазная сеть принимается симметричной, или сопротивления фаз равными друг другу;
- отсутствует насыщение стали электрических машин (генераторов, электродвигателей, трансформаторов);
- не учитываются токи намагничивания трансформаторов;

– не учитываются активные сопротивления генераторов и трансформаторов;

– не учитывается сдвиг по фазе э.д.с. различных источников питания, входящих в расчетную схему.

Расчет токов короткого замыкания производится в относительных единицах с использованием приближенного приведения

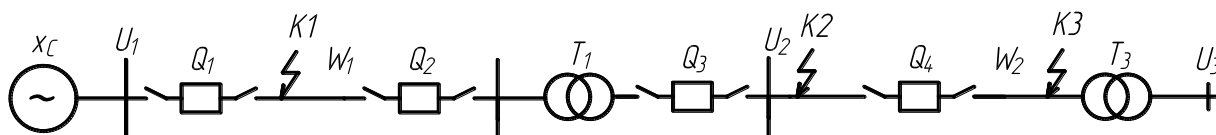


Рисунок 2 – Схема для расчетов токов короткого замыкания

Расчет токов короткого замыкания в относительных единицах приведён в приложении Б.

Расчеты токов короткого замыкания для точек  $K_1$ – $K_3$  приведены в сводной таблице 6.

Таблица 6 – Расчётные данные по токам короткого замыкания в точках КЗ

Расчетные точки	$K_1$	$K_2$	$K_3$
Приведение	Ток, приведенный к ступени 115 кВ	Ток, приведенный к ступени 6,3 кВ	Ток, приведенный к ступени 6,3 кВ
$I_{n0 \rightarrow ki}$ , кА	2,52	10,31	1,89

### 3.7 Выбор высоковольтных выключателей

Высоковольтные выключатели подразделяются на масляные, электромагнитные, воздушные, вакуумные и элегазовые.

#### 3.7.1 Выбор выключателей $V_4$ на напряжение 6кВ

Выбор и проверка выключателей  $V_4$  на напряжение 6 кВ произведены в приложении В.

Результаты проверки приведены в таблицах 7 и 8.

Таблица 7 – Параметры выключателя ВБЭ-10-20/630-УЗ

Параметр выключателя	Паспортные параметры	Условия выбора	Расчётные параметры
1. Номинальное напряжение	10000 В	$U_{номВ} \geq U_{уст}$	6000 В
2. Номинальный ток	630 А	$I_{номВ} \geq I_{pmax}$	57,8 А

Таблица 8 – Проверка вакуумного выключателя ВБЭ-10-20/630-У3

Параметр выключателя	Паспортные параметры	Условия выбора	Расчётные параметры
1. Номинальный ток отключения	20 кА	$I_{отк.ном} \geq I_{но,к2}$	10,31 кА
2. Номинальное содержание аperiodической составляющей	$\beta = 30 \%$	$\sqrt{2} \cdot I_{отк.ном} \cdot \beta$ $8,64 \text{ кА} \geq i_{ат}$	0,821 кА
3. Ток динамической стойкости	51 кА	$I_{дин.ст} \geq i_{уд}$	23,86 кА
4. Ток термической стойкости и время его действия	$I_T = 20 \text{ кА}$ $t_T = 3 \text{ с}$	$I_T^2 \cdot t_T = 1200 \geq B_k$	6,38 кА <sup>2</sup> ·с

### 3.7.2 Выбор выключателей В<sub>3</sub>, В<sub>5</sub> на напряжение 6 кВ

Выбор и проверка выключателей В<sub>3</sub>, В<sub>5</sub> произведены в приложении В.

Результаты проверки приведены в таблицах 9 и 10.

Таблица 9 – Параметры выключателя VАН 12-63-8000-27

Параметр выключателя	Паспортные параметры	Условия выбора	Расчётный параметр
1. Номинальное напряжение	10000 В	$U_{номВ} \geq U_{уст}$	6000 В
2. Номинальный ток	8000 А	$I_{номВ} \geq I_{р max}$	3211,3 А

Таблица 10 – Параметры выключателя VАН 12-63-8000-27

Параметр выключателя	Паспортные параметры	Условия выбора	Расчётный параметр
1. Номинальный ток отключения	63 кА	$I_{отк.ном} \geq I_{но,к2}$	10,31 кА
2. Номинальное содержание аperiodической составляющей	$\beta = 30 \%$	$\sqrt{2} \cdot I_{отк.ном} \cdot \beta$ $18,9 \text{ кА} \geq i_{ат}$	0,821 кА
3. Ток динамической стойкости	160 кА	$I_{дин.ст} \geq i_{уд}$	43,936 кА
4. Ток термической стойкости и время его действия	$I_T = 63 \text{ кА}$ $t_T = 3 \text{ с}$	$I_T^2 \cdot t_T = 11907 \geq B_k$	58,46 кА <sup>2</sup> ·с

### 3.7.3 Выбор выключателей В<sub>2</sub>, В<sub>6</sub> на напряжение 110 кВ

Выбор и проверка выключателей В<sub>2</sub>, В<sub>6</sub> на напряжение 110 кВ произведены в приложении Г.

Результаты проверки приведены в таблицах 11 и 12.

					130302.2018.740 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		28

Таблица 11 – Параметры выключателя ВПО-110Ш-31,5/2000УХЛ1

Параметр выключателя	Паспортные параметры	Условия выбора	Расчётный параметр
1. Номинальное напряжение	110000 В	$U_{номВ} \geq U_{уст}$	110000 В
2. Номинальный ток	2000 А	$I_{номВ} \geq I_{р\max}$	251,31 А

Таблица 12 – Параметры выключателя ВПО-110Ш-31,5/2000УХЛ1

Параметр выключателя	Паспортные параметры	Условия выбора	Расчётный параметр
1. Номинальный ток отключения	31,5 кА	$I_{отк.ном} \geq I_{но,к1}$	2,52 кА
2. Номинальное содержание апериодической составляющей	$\beta = 23 \%$	$\sqrt{2} \cdot I_{отк.ном} \cdot \beta$ $7,245 \text{ кА} \geq i_{ат}$	0,298 кА
3. Ток динамической стойкости	102 кА	$I_{дин.ст} \geq i_{уд}$	5,44 кА
4. Ток термической стойкости и время его действия	$I_T = 40 \text{ кА}$ $t_T = 3 \text{ с}$	$I_T^2 \cdot t_T = 4800 \geq B_k$	6,731 кА <sup>2</sup> ·с

### 3.7.4 Выбор выключателей В<sub>1</sub> на напряжение 110 кВ

Выбор и проверка выключателей В<sub>1</sub> на напряжение 110 кВ произведены в приложении Г.

Результаты проверки приведены в таблицах 13 и 14.

Таблица 13 – Параметры выключателя ВПО-110Ш-31,5/2000УХЛ1

Параметр выключателя	Паспортные параметры	Условия выбора	Расчётный параметр
1. Номинальное напряжение	110000 В	$U_{номВ} \geq U_{уст}$	110000 В
2. Номинальный ток	2000 А	$I_{номВ} \geq I_{р\max}$	251,31 А

Таблица 14 – Параметры выключателя ВПО-110Ш-31,5/2000УХЛ1

Параметр выключателя	Паспортные параметры	Условия выбора	Расчётный параметр
1. Номинальный ток отключения	31,5 кА	$I_{отк.ном} \geq I_{но,к1}$	2,52 кА
2. Номинальное содержание апериодической составляющей	$\beta = 23 \%$	$\sqrt{2} \cdot I_{отк.ном} \cdot \beta$ $7,245 \text{ кА} \geq i_{ат}$	0,233 кА
3. Ток динамической стойкости	102 кА	$I_{дин.ст} \geq i_{уд}$	6,23 кА
4. Ток термической стойкости и время его действия	$I_T = 40 \text{ кА}$ $t_T = 3 \text{ с}$	$I_T^2 \cdot t_T = 4800 \geq B_k$	9,91 кА <sup>2</sup> ·с

### 3.8 Выбор разъединителей на напряжение 110 кВ и 6 кВ

#### 3.8.1 Выбор линейных разъединителей на напряжение 110 кВ

Выбор и проверка линейных разъединителей на напряжение 110 кВ произведены в приложении Д.

Результаты проверки приведены в таблицах 15 и 16.

Таблица 15 – Параметры разъединителей РГНП-110/1000 УХЛ1

Параметр разъединителя	Паспортные параметры	Условия выбора	Расчётный параметр
1. Номинальное напряжение	110000 В	$U_{номР} \geq U_{уст}$	110000 В
2. Номинальный ток	1000 А	$I_{номР} \geq I_{р max}$	251,31 А

Таблица 16 – Параметры разъединителей РГНП-110/1000 УХЛ1

Параметр разъединителя	Паспортные параметры	Условия выбора	Расчётный параметр
1. Ток динамической стойкости	80 кА	$I_{дин.ст} \geq i_{yд}$	6,23 кА
2. Ток термической стойкости и время его действия	$I_T = 31,5$ кА $t_T = 3$ с	$I_T^2 \cdot t_T = 2976,75 \geq B_{к}$	6,73 кА <sup>2</sup> ·с

#### 3.8.2 Выбор секционных разъединителей на напряжение 110 кВ

Выбор и проверка секционных разъединителей на напряжение 110 кВ произведены в приложении Д.

Результаты проверки приведены в таблицах 17 и 18.

Таблица 17 – Параметры разъединителей РГНП-110/1000 УХЛ1

Параметр разъединителя	Паспортные параметры	Условия выбора	Расчётный параметр
1. Номинальное напряжение	110000 В	$U_{номР} \geq U_{уст}$	110000 В
2. Номинальный ток	1000 А	$I_{номР} \geq I_{р max}$	251,31 А

Таблица 18 – Параметры разъединителей РГНП-110/1000 УХЛ1

Параметр разъединителя	Паспортные параметры	Условия выбора	Расчётный параметр
1. Ток динамической стойкости	80 кА	$I_{дин.ст} \geq i_{yд}$	6,23 кА
2. Ток термической стойкости и время его действия	$I_T = 31,5$ кА $t_T = 3$ с	$I_T^2 \cdot t_T = 2976,75 \geq B_{к}$	9,91 кА <sup>2</sup> ·с

### 3.8.3 Выбор линейных разъединителей на напряжение 6 кВ

Выбор и проверка линейных разъединителей на напряжение 6 кВ произведены в приложении Е.

Результаты проверки приведены в таблицах 19 и 20.

Таблица 19 – Параметры разъединителей РЛНД-1-10/630-УХЛ1

Параметр разъединителя	Паспортные параметры	Условия выбора	Расчётный параметр
1. Номинальное напряжение	10000 В	$U_{номР} \geq U_{уст}$	6000 В
2. Номинальный ток	630 А	$I_{номР} \geq I_{р\max}$	115,61 А

Таблица 20 – Параметры разъединителей РЛНД-1-10/630-УХЛ1

Параметр разъединителя	Паспортные параметры	Условия выбора	Расчётный параметр
1. Ток динамической стойкости	51 кА	$I_{дин.ст} \geq i_{уд}$	9,57 кА
2. Ток термической стойкости и время его действия	$I_T = 25$ кА $t_T = 3$ с	$I_T^2 \cdot t_T = 1875 \geq B_k$	0,944 кА <sup>2</sup> ·с

### 3.9 Выбор и проверка трансформаторов тока

#### 3.9.1 Выбор и проверка трансформатора тока 110 кВ

Выбор и проверка трансформаторов тока 110 кВ произведены в приложении Ж.

Результаты проверки приведены в таблицах 21 и 22.

Таблица 21 – Параметры трансформатора тока ТГФМ-110-УХЛ1

Параметр трансформатора тока	Паспортные параметры	Условия выбора	Расчётный параметр
1. Номинальное напряжение	110000 В	$U_{номТГ} \geq U_{ном}$	110000 В
2. Номинальный ток	300 А	$I_{номТГ} \geq I_{р\max}$	125,65 А

Таблица 22 – Параметры проверки трансформатора тока ТГФМ-110-УХЛ1

Параметр трансформатора тока	Паспортные параметры	Условия выбора	Расчётный параметр
Вторичная нагрузка	4 Ом	$r_2 \leq r_{2ном}$	1,12 Ом

#### 3.9.2 Выбор и проверка трансформатора тока 6 кВ

Выбор и проверка трансформаторов тока 6 кВ произведены в приложении Ж.

Результаты проверки приведены в таблицах 23 и 24.

Таблица 23 – Параметры трансформатора тока ТВЛМ-6

Параметр трансформатора тока	Паспортные параметры	Условия выбора	Расчётный параметр
1. Номинальное напряжение	6000 В	$U_{номтт} \geq U_{ном}$	6000 В
2. Номинальный ток	150 А	$I_{номтт} \geq I_{рmax}$	51,3 А

Таблица 24 – Параметры проверки трансформатора тока ТВЛМ-6

Параметр трансформатора тока	Расчётный параметр	Условия выбора	Паспортные параметры
Вторичная нагрузка	0,51	$r_2 \leq r_{2ном}$	0,6

### 3.10 Выбор и проверка трансформаторов напряжения

#### 3.10.1 Выбор и проверка трансформатора напряжения 110 кВ

Выбор и проверка трансформаторов напряжения 110 кВ произведены в приложении И.

Результаты проверки приведены в таблицах 25 и 26.

Таблица 25 – Параметры трансформатора напряжения НАМИ-110

Параметр трансформатора напряжения	Паспортные параметры	Условия выбора	Расчётный параметр
1. Номинальное напряжение	110 кВ	$U_{номтт} \geq U_{ном}$	110 кВ
2. Класс точности	0,5		
3. Вторичная нагрузка	400 ВА	$S_{ном} \geq S_{2\Sigma}$	15,7

Таблица 26 – Вторичная нагрузка трансформатора напряжения

Наименование прибора	Тип прибора	Потребляемая мощность, ВА	
		P, Вт	Q, Вар
Вольтметр	М-381-1	2	-
Счетчик активной энергии	И-680	4	9,7
Итого		6	9,7

#### 3.10.2 Выбор и проверка трансформаторов напряжения 6 кВ

Выбор и проверка трансформаторов напряжения 6 кВ произведены в приложении И.

Результаты проверки приведены в таблицах 27 и 28.



Таблица 27 – Параметры трансформатора напряжения 3хЗНОЛ-6

Параметр трансформатора напряжения	Паспортные параметры	Условия выбора	Расчётный параметр
1. Номинальное напряжение	6 кВ	$U_{номтт} \geq U_{ном}$	6 кВ
2. Класс точности		0,5	
3. Вторичная нагрузка	50 ВА	$S_{ном} \geq S_{2\Sigma}$	15,7

Таблица 28 – Вторичная нагрузка трансформатора напряжения

Наименование прибора	Тип прибора	Потребляемая мощность, ВА	
		P, Вт	Q, ВАр
Вольтметр	М-381-1	2	-
Счетчик активной энергии	И-680	4	9,7
Итого		6	9,7

### 3.11 Выбор и проверка шинной сборки напряжением 6 кВ

В закрытых распределительных устройства 6 кВ сборные шины выполняются жесткими алюминиевыми шинами.

Выбор и проверка шинной сборки 6 кВ произведены в приложении К.

Результаты проверки приведены ниже:

$$\sigma_{п} = \frac{243,36 \cdot 7,7^2}{12 \cdot 14,7} = 81,796 \text{ МПа}$$

Шины механически прочны, если:

$$\sigma_{расч} = \sigma_{ф,мах} + \sigma_{п} < \sigma_{доп}, \quad (14)$$

где  $\sigma_{доп}$  – допустимое напряжение.

$$\sigma_{расч} = \sigma_{ф,мах} + \sigma_{п} = 0,481 + 81,796 = 82,277 \text{ МПа} < \sigma_{доп} = 82,3 \text{ МПа}$$

### 3.12 Проверка кабельной линии на термическую стойкость

Выбор и проверка кабельной линии 6 кВ на термическую стойкость произведены в приложении Л.

Результаты проверки приведены ниже.

$$F_{min} = \frac{\sqrt{164,75 \cdot 10^3}}{92} = 34,12 \text{ мм}^2$$

Полученное значение минимального сечения кабеля, меньше выбранного кабеля АСБ 6 кВ с сечением  $3 \times 35 \text{ мм}^2$ , следовательно кабель по термической стойкости проходит.

									Лист	
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	130302.2018.740 ПЗ					33

### 3.13 Дифференциальная защита трансформаторов $T_1$ – $T_2$ , и защита кабельной линии 6 кВ

Для осуществления защиты используются трансформаторы тока, установленные с обеих сторон защищаемого трансформатора. Вторичные обмотки трансформаторов тока и реле соединяются в схему продольной дифференциальной защиты.

#### 3.13.1 Выбор дифференциальной защиты трансформаторов $T_1$ , $T_2$

Продольно дифференциальной защита трансформаторов  $T_1$ ,  $T_2$  выполнена с применением реле ДЗТ-11.

Расчет дифференциальной защиты произведён в приложении М.

#### 3.13.2 Выбор МТЗ и ТО защиты кабельной линии 6 кВ

Подробный расчет защиты для линии 6 кВ произведён в приложении М.

Исходя из расчетов выбираем реле типа РТ-81/1 с уставкой 4 А, ток уставки 120 А, ток отсечки 800 А, время срабатывания реле 1,7 секунды.

В результате данные релейной защиты по линии 6 кВ следующие:

$$I_{уст} = 120 \text{ А};$$

$$t = 1,7 \text{ сек};$$

$$I_{отс} = 960 \text{ А}.$$

### 3.14 Описание цеха по производству электромонтажных изделий

Электромонтажное производство играет одну из основных ролей для предприятий. В течение последнего полувека трудно найти технологию электромонтажных работ, что не применялась бы на производствах и в строительстве.

Цех по производству электромонтажных изделий, оснащён современным оборудованием, что обеспечивает высокую степень индустриальности их изготовления.

					<b>130302.2018.740 ПЗ</b>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		34

Цех предназначен для изготовления электромонтажных изделий. Под электромонтажными изделиями принято понимать все виды устройств и элементов, которые позволяют провести ряд работ с электроэнергией.

Производство электромонтажных изделий в первую очередь занимается изготовлением дюбелей и различных креплений, что необходимы при монтаже разного рода конструкций и открытых элементов проводки. Изготовление ответвительных ящиков необходимо для распределения и соединения проводов. Силовые коробки в свою очередь – это вводные устройства для распределения электричества, а для бытового учета расхода применяют квартирные щитки.

Электромонтажное производство изготавливает щитки однофазного типа и с выключателями, и без них. В них предусматривается особенность отхождения на несколько видов категорий автоматического типа и с пробками.

Цех по производству электромонтажных изделий представляет собой одноэтажное строение с различными типами электрооборудования и станками.

### 3.15 Определение электрических нагрузок цеха по производству электромонтажных изделий

Для удобства выполнения расчетов все Электроприемники цеха по производству электромонтажных изделий разобьем по характерным группам, в зависимости от одинакового характера работы, коэффициентов использования и коэффициентов реактивной мощности.

Исходные данные и расчетные коэффициенты электрических нагрузок отдельных электроприемников, взятых из [22, табл.1.1.1] и сведены в таблицы Н1–Н6 (приложение Н).

### 3.16 Определение расчетной нагрузки цеха по производству электромонтажных изделий от силовых электроприёмников

После деления электроприёмников на группы, производится расчёт групповой номинальной и сменной мощности по цеху. Определяется эффективное

					<b>130302.2018.740 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		35

число электроприёмников. После определения коэффициента расчётной мощности определяются расчётные активная, реактивная и полная мощности.

Групповая номинальная мощность трёхфазных электроприёмников цеха по производству электромонтажных изделий:

$$P_{\text{НОМ}} = \sum_{i=1}^n P_{\text{НОМ } i}, \quad (15)$$

где  $P_{\text{НОМ } i}$  – номинальная активная мощность по группам электроприёмников, кВт.

$$P_{\text{НОМ.цеха}} = 209 + 273 + 112 + 184 + 42 = 848 \text{ кВт}$$

Групповая средняя мощность трёхфазных электроприёмников цеха по производству электромонтажных изделий:

$$P_{\text{СМ}} = \sum_{i=1}^n P_{\text{НОМ } i} \cdot k_{ui}, \quad (16)$$

где  $k_{ui}$  – групповой коэффициент использования по группам электроприёмников.

$$P_{\text{СР.цеха}} = 209 \cdot 0,17 + 273 \cdot 0,20 + 112 \cdot 0,65 + 184 \cdot 0,80 + 42 \cdot 0,5 = 345,13 \text{ кВт}$$

Групповой коэффициент использования электроприёмников цеха по производству электромонтажных изделий:

$$k_u = \frac{P_{\text{СМ}}}{P_{\text{НОМ}}} \quad (17)$$

$$k_{u \text{ цеха}} = \frac{345,13}{848} = 0,407$$

При значительном числе электроприёмников эффективное число электроприёмников трехфазных нагрузок можно определить, исходя из условия:

$$m = \frac{P_{\text{НОМ } \max}}{P_{\text{НОМ } \min}} > 3, \quad (18)$$

тогда

$$n_{\text{эф}} = \frac{2 \cdot P_{\text{НОМ}}}{P_{\text{НОМ } \max}}, \quad (19)$$

где  $P_{\text{НОМ.}\max}$ ,  $P_{\text{НОМ.}\min}$  – номинальная мощность наибольшего и наименьшего по мощности электроприёмника;

$m$  – фактическое число электроприёмников в цехе.

Наибольшая номинальная мощность у электрической печи № 36:

$$P_{\text{НОМ.}\max} = 50 \text{ кВт}$$

					<b>130302.2018.740 ПЗ</b>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		36

Наименьшая номинальная мощность у шлифовально-обдирочного станка № 11:

$$P_{\text{ном. min}} = 8 \text{ кВт}$$

Фактическое число электроприемников в цехе:

$$m = \frac{50}{8} = 6,25 > 3$$

Эффективное число электроприемников трехфазных нагрузок:

$$n_{\text{эф. цеха}} = \frac{2 \cdot 848}{50} = 33,92$$

Принимается равным ближайшему меньшему целому числу  $n_{\text{эф. цеха}} = 34$ .

Групповой коэффициент расчетной мощности:  $K_p = f(K_u, n_{\text{эф}})$ .

По таблице [41, табл.Б.1] принимается  $K_{p, \text{цеха}} = 0,75$ .

Средневзвешенное значение группового коэффициента реактивной мощности  $tg\varphi$ :

$$tg\varphi = \frac{\sum_{i=1}^m k_{ui} \cdot P_{\text{ном}i} \cdot tg\varphi_i}{\sum_{i=1}^n k_{ui} \cdot P_{\text{ном}i}} \quad (20)$$

$$tg\varphi_{\text{цеха}} = \frac{209 \cdot 0,17 \cdot 1,17 + 273 \cdot 0,2 \cdot 1,17 + 112 \cdot 0,65 \cdot 0,75 + 184 \cdot 0,8 \cdot 0,33 + 42 \cdot 0,5 \cdot 0,88}{209 \cdot 0,17 + 273 \cdot 0,2 + 112 \cdot 0,65 + 184 \cdot 0,8 + 70 \cdot 0,5} = 0,69$$

Расчетная мощность трёхфазных электроприёмников цеха по производству электромонтажных изделий:

$$P_p = K_p \cdot P_{cm} \quad (21)$$

$$Q_p = P_p \cdot tg\varphi \quad (22)$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} \quad (23)$$

$$P_{p \text{ цеха}} = 0,75 \cdot 345,13 = 258,85 \text{ кВт}$$

$$Q_{p \text{ цеха}} = 258,85 \cdot 0,69 = 178,6 \text{ кВАр}$$

$$S_{p \text{ цеха}} = \sqrt{258,85^2 + 178,6^2} = 314,48 \text{ кВА}$$

Помимо расчётной мощности силовых электроприёмников необходимо определить расчётную мощность осветительной нагрузки.

					130302.2018.740 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		37

### 3.17 Определение осветительной нагрузки цеха

Достоинства светодиодных светильников по сравнению с аналогами, а также расчет осветительной нагрузки представлены в приложении П.

Выбираются светодиодные светильники Center 50 Вт, 5000 Лм [33].

Итоговые расчетные мощности с учётом рабочего и аварийного освещения:

$$P_{pT} = P_p + \frac{P_{p\text{ос}}}{3} = 258,85 + \frac{32,24}{3} = 269,6 \text{ кВт}$$

$$Q_{pT} = Q_{p\text{цеха}} + \frac{Q_{p\text{ос}}}{3} = 178,6 + \frac{17,52}{3} = 184,44 \text{ кВАр}$$

$$S_{pT} = \sqrt{P_{pT}^2 + Q_{pT}^2} = \sqrt{269,6^2 + 184,44^2} = 326,65 \text{ кВА}$$

### 3.18 Выбор числа, мощности и типа трансформаторов цеховой подстанции

Правильный выбор числа и мощности трансформаторов на подстанциях промышленных предприятий является одним из важных вопросов электроснабжения и построения рациональных сетей. В нормальных условиях трансформаторы должны обеспечивать питание всех потребителей предприятия при их номинальной нагрузке.

Критерии выбора трансформаторов, нахождение их мощности, а также возможность установки конденсаторных батарей представлены в приложении Р.

Выбирается силовой трансформатор ТМГ-400.

Нахождение мощности трансформаторов определяется:

$$S_l = \frac{S_{pT}}{\beta \cdot N}, \quad (24)$$

где  $N$  – число трансформаторов на подстанции;

$\beta$  – коэффициент загрузки.

ПУЭ требует использовать для питания электроприемников второй категории два источника. Принимается коэффициент загрузки трансформатора  $\beta = 0,7$  [21].

$$S_1 = \frac{326,65}{0,7 \cdot 2} = 233,32 \text{ кВА}$$

Реактивная мощность, которая может быть передана со стороны 6 кВ в сеть низкого напряжения трансформатором ТМГ-400:

$$Q_T = \sqrt{(\beta \cdot N \cdot S_{ном})^2 - P_{pT}^2} \quad (25)$$

$$Q_{T \text{ мех.цеха}} = \sqrt{(0,7 \cdot 2 \cdot 400)^2 - 233,32^2} = 509,08 \text{ кВАр}$$

Мощность конденсаторных установок напряжением до 1000 В:

$$Q_{кн} = Q_p - Q_T \quad (26)$$

$$Q_{кн} = 184,44 - 509,08 = -324,64 \text{ кВАр}$$

Так как  $Q_{кн} < 0$ , то конденсаторные батареи не устанавливаются.

По результатам расчетов выбираем трансформатор ТМГ-400/6/0,4, так как он допустим по техническим условиям, в аварийном режиме выполняются условия по допустимой перегрузке трансформатора, а также выполняется условие для резервирования мощности при дальнейшем развитии предприятия.

### 3.19 Определение центров электрических нагрузок

Центр электрических нагрузок (ЦЭН) является центром цехового потребления электроэнергии цехом.

Координаты центра расчетных нагрузок ( $x_0$ ,  $y_0$ ) определяются по следующим выражениям:

$$x_0 = \frac{\sum_{i=1}^m P_{ном i} \cdot x_i}{\sum_{i=1}^m P_{ном i}} \quad (27)$$

$$y_0 = \frac{\sum_{i=1}^m P_{ном i} \cdot y_i}{\sum_{i=1}^m P_{ном i}}, \quad (28)$$

где  $i = 1, 2 \dots n$  – количество электроприемников в цехе;

$x_i$ ,  $y_i$  – координаты  $i$ -того электроприемника.

Центр электрических нагрузок цеха по производству электромонтажных изделий:

$$x_0 = \frac{1520,4 + 3670,3 + 6121,92 + 5827,5 + 8043 + 2733}{189 + 118 + 144 + 450 + 190 + 70} = 24,16 \text{ м}$$

$$y_0 = \frac{5880 + 3604,7 + 3712,8 + 3186,6 + 796 + 1323}{189 + 118 + 144 + 450 + 190 + 70} = 13,41 \text{ м}$$

Координаты электроприемников расположенных в помещениях цеха по производству электромонтажных изделий и их номинальные мощности приведены в таблицах С.1–С.6 (приложение С).

### 3.20 Выбор сечения кабелей, питающих распределительные пункты

Потребители цеха по производству электромонтажных изделий сосредоточены, поэтому для питания всех приемников цеха будет использоваться двухступенчатая радиальная схема с применением распределительных пунктов типа ПР8503 [26].

В таблице Т.1 (приложение Т) представляются типы распределительных пунктов, используемых для питания потребителей 1–50.

Средневзвешенное значение группового коэффициента реактивной мощности  $\text{tg}\varphi$  по РП-1:

$$\text{tg}\varphi_{\text{РП-1}} = \frac{\sum_{i=1}^n K_{ui} \cdot P_{\text{ном}i} \cdot \text{tg}\varphi_i}{\sum_{i=1}^n K_{ui} \cdot P_{\text{ном}i}} = \frac{0,2 \cdot 153 \cdot 1,17}{0,2 \cdot 153} = 1,17$$

Расчетная активная мощность определяется:

$$P_{\text{рРП-1}} = K_{\text{рРП-1}} \cdot P_{\text{смРП-1}} = 1,71 \cdot 30,6 = 52,32 \text{ кВт}$$

Расчетная реактивная мощность в общем случае рассчитывается по одной из следующих формул:

$$Q_p = 1,1 \cdot \sum_{i=1}^n n_i \cdot k_{ui} \cdot p_{\text{ном}i} \cdot \text{tg}\varphi_i, \text{ если } n_{\text{эф}} \leq 10 \quad (29)$$

$$Q_p = \sum_{i=1}^n n_i \cdot k_{ui} \cdot p_{\text{ном}i} \cdot \text{tg}\varphi_i, \text{ если } n_{\text{эф}} > 10 \quad (30)$$

Так как  $n_{\text{эфРП-1}} = 9$ , тогда расчетная реактивная мощность рассчитывается:

$$Q_{\text{рРП-1}} = 1,1 \cdot 0,2 \cdot 153 \cdot 1,17 = 39,38 \text{ кВАр.}$$

									Лист
									40
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	130302.2018.740 ПЗ				



$$I_{pRP-1} = \frac{S_{pRP-1}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{\sqrt{P_{pRP-1}^2 + Q_{pRP-1}^2}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{\sqrt{52,32^2 + 39,38^2}}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 94,90 \text{ А}$$

Таким же образом выполняются расчёты электрических нагрузок по РП 2–7, а также выбор их сечений кабелей. Они представлены в таблице Т.3 (приложение Т).

### 3.21 Определение расчетной нагрузки для I, II секций шин 0,4 кВ

Расчетная мощность по первой секции шин щита 0,4 кВ цеха по производству электромонтажных изделий с учетом осветительной нагрузки:

$$P_{p1 \text{ сш цеха}} = P_p + P_{p.ос} = 128,35 + 32,24/3 = 144,47 \text{ кВт}$$

$$Q_{p1 \text{ сш цеха}} = Q_p + Q_{p.ос} = 89,86 + 17,52/3 = 98,62 \text{ кВАр}$$

$$S_{p1 \text{ сш цеха}} = \sqrt{P_{p1 \text{ сш цеха}}^2 + Q_{p1 \text{ сш цеха}}^2} = \sqrt{144,47^2 + 98,62^2} = 174,92 \text{ кВА}$$

$$I_{p1 \text{ сш цеха}} = \frac{S_{p1 \text{ сш цеха}}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{174,92}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 253,5 \text{ А}$$

Подробный расчет и определение расчетных нагрузок I и II секций шин представлен в приложении У.

### 3.22 Расчет отклонений напряжения в максимальных и послеаварийных режимах

Одним из важнейших показателей качества электроэнергии является отклонение напряжения.

Отклонение напряжения – отличие фактического напряжения в установившемся режиме работы системы электроснабжения от его номинального значения. Отклонение напряжения в той или иной точке сети происходит под воздействием изменения нагрузки в соответствии с её графиком.

Согласно ПУЭ, напряжение на шинах распределительных устройств должно поддерживаться в пределах 100–105 % от номинального значения. Для

										Лист
										41
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	130302.2018.740 ПЗ					

обеспечения долговечности электродвигателей использовать их при напряжении выше 110 % и ниже 90 % от номинального не рекомендуется.

Расчет отклонений напряжений производится для режимов максимальных и минимальных нагрузок в характерных точках схемы, т. е. точках, в которых оно будет достигать своих предельных значений.

Для определения отклонений напряжения в режиме максимальных нагрузок составляется схема замещения сети, подключенной к трансформатору  $T_1$  и сети, подключенной к трансформатору  $T_2$  (соответственно рисунок Ф.1, Ф.2, приложение Ф).

Для электроснабжения двухтрансформаторной подстанции цеха по производству электромонтажных изделий прокладываются две кабельные линии марки АСБ-6 3×35:

$$R_{0i} = 1,84 \text{ мОм/м}, X_{0i} = 0,102 \text{ мОм/м}, L = 2200 \text{ м.}$$

$$\text{Тогда } R_{k1} = R_{0i} \cdot L_i = 1,24 \cdot 2200 = 2728 \text{ мОм.}$$

$$X_{k1} = X_{0i} \cdot L_i = 0,091 \cdot 2200 = 200,2 \text{ мОм.}$$

Параметры сопротивлений кабелей приведены в таблице Ф.1 (приложение Ф).

Определение отклонений напряжения в режиме максимальных нагрузок.

Напряжение на шинах ГПП в режиме максимальных нагрузок принимается:

$$U_{\text{ном}} = 1,05 \cdot U_{\text{ном}} = 1,05 \cdot 6 = 6,3 \text{ кВ.}$$

Определение отклонений напряжения в режиме максимальных нагрузок для трансформатора  $T_1$ .

Расчетная схема отклонений напряжения в режиме максимальных нагрузок для первого трансформатора цеха по производству электромонтажных изделий представлена на рисунке Ф.3 (приложение Ф).

Потери напряжения на участке 1–2:

									Лист
									42
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	130302.2018.740 ПЗ				

$$\Delta U_{1-2} = \frac{P_{p1c.ш.} \cdot (R_{к1} + R_{m1}) + Q_{p1c.ш.} \cdot (X_{к1} + X_{m1})}{U_{НОМ}} =$$

$$= \frac{128,35 \cdot (2728 + 1237) + 89,86 \cdot (200,2 + 3856)}{6300} = 155,2 \text{ В}$$

Напряжение на стороне высшего напряжения трансформатора в точке 2:

$$U_{ВН \text{ тр}} = U_1 - \Delta U_2 = 6300 - 155,2 = 6144,8 \text{ В}$$

Коэффициент трансформации трансформатора:

$$k_{\text{тр}} = \frac{U_{ВННОМ}}{U_{НННОМ}} = \frac{6}{0,4} = 15$$

Напряжение в точке 3:

$$U_3 = \frac{6144,8}{15} = 409,65 \text{ В}$$

Расчет потери напряжения на участке 3–4:

$$\Delta U_3 = \frac{P_{рПП1} \cdot R_{к2} + Q_{рПП1} \cdot X_{к2}}{U_{НОМ}} = \frac{30,6 \cdot 20,16 + 39,38 \cdot 1,85}{400} = 1,72 \text{ В}$$

Напряжение на стороне низшего напряжения трансформатора, принимая, что устройство ПБВ находится в основном положении:

$$U_4 = U_3 - \Delta U_3 = 409,65 - 1,72 = 407,93 \text{ В}$$

Расчет потери напряжения на участке 4–5:

Для печи № 35:

$$P_{НОМ\text{№}35} = 17 \text{ кВт}$$

$$S_{НОМ.i} = \frac{P_{НОМ.i} \cdot 10^3}{\eta_i \cdot \cos \varphi_i} = \frac{17 \cdot 10^3}{0,88 \cdot 0,95} = 29,72 \text{ кВА}$$

$$Q_{НОМ\text{№}35} = \sqrt{S_{НОМ\text{№}35}^2 - P_{НОМ\text{№}35}^2} = \sqrt{29,72^2 - 17^2} = 24,38 \text{ кВАр}$$

$$\Delta U_4 = \frac{P_{р\text{№}35} \cdot R_{к3} + Q_{р\text{№}35} \cdot X_{к3}}{U_{НОМ}} = \frac{17 \cdot 64,26 + 24,38 \cdot 1,89}{0,4} = 2,7 \text{ В}$$

Расчет напряжения в точке 5:

$$U_5 = U_4 - \Delta U_4 = 407,93 - 2,7 = 405,23 \text{ В}$$

Отклонение напряжения на зажимах № 35:

$$\delta U_5 = \frac{405,23 - 400}{400} \cdot 100\% = 1,3 \%$$

Результаты расчета отклонений напряжения в режиме максимальных нагрузок для электроприёмников первого трансформатора сведены в таблицу Ф.2 (приложение Ф).

Расчеты по отклонению напряжения в сети, получающего питание от второго трансформатора в режиме максимальных нагрузок ведутся аналогичным способом и сведены в таблицу Ф.3 (приложение Ф).

В качестве послеаварийного режима рассматривается режим, когда один из трансформаторов вышел из строя ( $T_2$ ).

Напряжение на шинах ГПП в послеаварийном режиме принимается равным:

$$U_{\text{НОМ}} = 1,05 \cdot U_{\text{НОМ}} = 1,05 \cdot 6 = 6,3 \text{ кВ.}$$

Потери напряжения на участке 1–2:

$$\Delta U_{1-2} = \frac{P_{pT} \cdot (R_{k1} + R_{m1}) + Q_{pT} \cdot (X_{k1} + X_{m1})}{U_{\text{НОМ}}} =$$
$$= \frac{296,48 \cdot (3680 + 1237) + 175,6 \cdot (204 + 3856)}{6300} = 242,73 \text{ В}$$

Напряжение на стороне высшего напряжения трансформатора в точке 2:

$$U_{\text{ВН тр}} = U_1 - \Delta U_2 = 6300 - 242,73 = 6057,27 \text{ В}$$

Напряжение в точке 3:

$$U_3 = \frac{6057,27}{15} = 403,82 \text{ В}$$

Расчет потери напряжения на участке 3–4:

$$\Delta U_3 = \frac{P_{pРП1} \cdot R_{k2} + Q_{pРП1} \cdot X_{k2}}{U_{\text{НОМ}}} = \frac{30,6 \cdot 20,16 + 39,38 \cdot 1,85}{400} = 1,72 \text{ В}$$

Необходимо определить напряжение на стороне низшего напряжения трансформатора, принимая, что устройство ПБВ находится в основном положении:

$$U_4 = U_3 - \Delta U_3 = 403,82 - 1,72 = 402,1 \text{ В}$$

									Лист
									44
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	130302.2018.740 ПЗ				

Расчет потери напряжения на участке 4–5:

Для печи № 35:

$$P_{\text{НОМ}\#35} = 17 \text{ кВт}$$

$$S_{\text{НОМ}\#i} = \frac{P_{\text{НОМ}\#i} \cdot 10^3}{\eta_i \cdot \cos \varphi_i} = \frac{17 \cdot 10^3}{0,88 \cdot 0,65} = 29,72 \text{ кВА}$$

$$Q_{\text{НОМ}\#35} = \sqrt{S_{\text{НОМ}\#35}^2 - P_{\text{НОМ}\#35}^2} = \sqrt{29,72^2 - 17^2} = 24,38 \text{ кВАр}$$

$$\Delta U_4 = \frac{P_{\text{р}\#35} \cdot R_{\text{кз}} + Q_{\text{р}\#35} \cdot X_{\text{кз}}}{U_{\text{НОМ}}} = \frac{17 \cdot 64,26 + 24,38 \cdot 1,89}{0,4} = 2,7 \text{ В}$$

Расчет напряжения в точке 5:

$$U_5 = U_4 - \Delta U_4 = 402,1 - 2,7 = 399,4 \text{ В}$$

Отклонение напряжения на зажимах № 35:

$$\delta U_5 = \frac{399,4 - 400}{400} \cdot 100\% = - 0,15 \%$$

Дальнейший расчет ведется аналогично и результаты расчета отклонений напряжения в послеаварийном режиме сводятся в таблицу Ф.4 (приложение Ф).

Обеспечение требуемого режима напряжения для трансформаторов.

Наибольшее отклонение напряжения на зажимах № 1. Тогда:

$$n_{m1} = \frac{395 - 390}{\frac{400}{2,5}} \cdot 100 = 0,5$$

Расчетное значение номера ответвления, полученное выше, округляется до ближайшего целого числа и определяется напряжение на шинах вторичной обмотки трансформатора после изменения коэффициента трансформации.

Принимается минус первое ответвление устройства ПБВ. Коэффициент трансформации при этом положении устройства ПБВ:

$$k_T = \frac{6,0}{0,4} \cdot \left(1 - 1 \cdot \frac{0}{100}\right) = 15$$

Определяется напряжение на стороне низшего напряжения трансформатора в послеаварийном режиме:

									Лист
									45
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	130302.2018.740 ПЗ				

$$U_3 = \frac{6057,27}{15} = 403,82 \text{ В}$$

Дальнейший расчет ведется аналогично и результаты расчета отклонений напряжения в послеаварийном режиме сводятся в таблицу Ф.5 (приложение Ф).

### 3.23 Расчёт токов короткого замыкания на линии 0,4 кВ

Схема замещения для расчетов трехфазных токов короткого замыкания в сети, питающейся от трансформатора  $T_3$  представлена на рисунке X.1 (приложение X).

Схема замещения для расчетов трехфазных токов короткого замыкания в сети, питающейся от трансформатора  $T_4$ , представлена на рисунке X.2.

Для электроснабжения двухтрансформаторной подстанции цеха по производству электромонтажных изделий прокладываются две кабельные линии марки АСБ-6 3×35:

$$R_{0i} = 1,84 \text{ мОм/м}, X_{0i} = 0,102 \text{ мОм/м}, L = 2200 \text{ м.}$$

$$\text{Тогда } R_{k1} = R_{0i} \cdot L_i = 1,24 \cdot 2200 = 2728 \text{ мОм.}$$

$$X_{k1} = X_{0i} \cdot L_i = 0,091 \cdot 2200 = 200,2 \text{ мОм.}$$

Сопротивления кабельных линий от ГПП до РУ трансформаторной подстанции, приведенные к низшему напряжению:

$$R'_{k1} = 2728 \cdot \left(\frac{0,4}{6,3}\right)^2 = 11,0 \text{ мОм}$$

$$X'_{k1} = 200,2 \cdot \left(\frac{0,4}{6,3}\right)^2 = 0,81 \text{ мОм}$$

Для остальных РП, приемников расчеты ведутся аналогично и приведены в таблице X.1 (приложение X).

Начальное значение периодической составляющей тока короткого замыкания в точке К1 без учета сопротивления дуги в месте короткого замыкания:

$$I_{\text{по,к1}} = \frac{U_{\text{ср.н}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\text{к1}\Sigma}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 26,72} = 8,65 \text{ кА}$$

									Лист
									46
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	130302.2018.740 ПЗ				

Тогда начальное значение периодической составляющей тока короткого замыкания в точке К1 с учетом сопротивления дуги в месте короткого замыкания:

$$I_{\text{подК1}} = I_{\text{ПО,К1}} \cdot K_{\text{СК1}} = 0,73 \cdot 8,65 = 6,3 \text{ кА}$$

Ударный ток от системы в точке К1:

$$T_a = \frac{X_{\Sigma}}{2\pi f \cdot R_{\Sigma}} = \frac{17,64}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 20,08} = 0,0028$$

$$\varphi_{\text{кК1}} = \arctg\left(\frac{X_{\Sigma}}{R_{\Sigma}}\right) = \arctg\left(\frac{17,64}{20,08}\right) = 0,88$$

$$t_{\text{удК1}} = 0,01 \cdot \left(0,5 + \frac{\varphi_{\text{к}}}{\pi}\right) = 0,01 \cdot \left(0,5 + \frac{0,88}{3,14}\right) = 0,0077$$

$$i_{\text{удК1}} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{ПО1}} \cdot \left(1 + e^{-\frac{t_{\text{уд}}}{T_a}}\right) = \sqrt{2} \cdot 8,65 \cdot \left(1 + 2,72^{-\frac{0,0077}{0,0028}}\right) = 12,88 \text{ кА}$$

Для остальных точек К2–К15 расчет токов трехфазного короткого замыкания обозначенных на схемах замещения производится аналогичным образом и результаты расчетов трехфазного короткого замыкания для точек К1–К7 представлены в таблице Х.2, для точек К8–К15 в таблице Х.3 (приложение Х).

### 3.24 Выбор и проверка защитной аппаратуры для схемы электроснабжения цеха

В качестве аппаратов защиты сетей и электрических установок напряжением до 1000 В от коротких замыканий или перегрузок применяются автоматические выключатели и предохранители с плавкими вставками.

Автоматические выключатели являются наиболее совершенными аппаратами защиты, надёжными, срабатывающими при перегрузках и коротких замыканиях в защищаемой линии.

Для защиты 1 секции шин распределительного щита 0,4 кВ применяется автоматический выключатель типа «NS1000b» [45] с номинальным током  $I_{\text{номАВ}} = 1000 \text{ А}$ .

Условия выбора автоматического выключателя:

					130302.2018.740 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		47

$$I_{\text{номAB}} = 1000 \text{ A} \geq I_{\text{pmax}} = \frac{S_{\text{тр}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} \cdot \beta = \frac{400000}{\sqrt{3} \cdot 400} \cdot 1,4 = 809,25 \text{ A}$$

Проверяется номинальный ток расцепителя по следующим условиям, из которых окончательно принимается наибольшее значение:

– несрабатывание при пиковом токе.

Кратность срабатывания отсечки номинальному току расцепителя для данного автоматического выключателя NS1000b составляет  $I_{\text{co}}/I_{\text{расц}} = 2, 3, 5, 7, 10$  [45]. Принимается кратность срабатывания равную 2, тогда максимальный ток срабатывания отсечки определится:

$$I_{\text{co}} = k_{\text{н}} \cdot I_{\text{ном.расц.}} = 2 \cdot 1000 = 2000 \text{ A} > k_{\text{над}} \cdot k_{\text{самозап}} \cdot I_{\text{pmax}} =$$

$$= 1,2 \cdot 1,6 \cdot 809,25 = 1553,76 \text{ A}$$

Для автоматических выключателей типа NS1000b [45]:  $k_{\text{над}} = 1,6$ ,  $k_{\text{самозап}} = 1,2$ .

Условие выполняется;

– ток срабатывания защиты от перегрузки:

$$(1,25 \cdot I_{\text{ном расц}} = (1,25 \cdot 1000) = 1250 \text{ A}) \geq (I_{\text{pmax}} = 809,25 \text{ A})$$

Условие выполняется;

– проверяется чувствительность к трехфазному току короткого замыкания:

$$K_{\text{ч.норм}} = k_{\text{з}} \cdot k_{\text{р}} = 1,1 \cdot 1,3 = 1,43$$

$I_{\text{подк1}} = 6,3 \text{ кА} = 6300 \text{ A}$  – начальное значение периодической составляющей трехфазного тока короткого замыкания с учетом сопротивления дуги в точке К1.

$$k_{\text{ч}}^{(1)} = \frac{I_{\text{по}}^{(1)}}{I_{\text{co}}} = \frac{3340}{2000} = 1,67 \geq 1,43$$

Выключатель обладает необходимой чувствительностью.

Селективность срабатывания вводного выключателя и выключателей отходящих линий достигается отстройкой по времени срабатывания. Для вводного выключателя  $t_{\text{ср}} = 0,2 \text{ с}$ , а для отходящих линий  $t_{\text{ср}} = 0,1 \text{ с}$ .

Рассматривается линейный автоматический выключатель.

									Лист
									48
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	130302.2018.740 ПЗ				



В качестве примера рассматривается выбор выключателя, защищающий распределительный пункт РП-1.

Для защиты РП-1 используется выключатель типа NSX140F с номинальным током автоматического выключателя  $I_{\text{ном АВ}} = 140 \text{ А}$  и номинальным током расцепителя  $I_{\text{ном. расц.}} = 140 \text{ А}$ .

Расчетный ток, протекающий по кабелю, который защищает РП-1  $I_{\text{рmax}} = 94,90 \text{ А}$ .

$$I_{\text{ном АВ}} = 140 \text{ А} \geq I_{\text{рmax}} = 94,90 \text{ А}$$

$$I_{\text{ном. расц.}} = 140 \text{ А} \geq I_{\text{рmax}} = 94,90 \text{ А}$$

Проверяется NSX140F.

– несрабатывание при пиковом токе.

Кратность срабатывания отсечки номинальному току расцепителя для данного автоматического выключателя NSX140F составляет  $I_{\text{со}}/I_{\text{расц}} = 2, 3, 5, 7, 10$  [45]. Принимается кратность срабатывания равную 2, тогда максимальный ток срабатывания отсечки определится:

$$I_{\text{со}} = k \cdot I_{\text{ном. расц.}} = 2 \cdot 140 = 280 \text{ А} > k_{\text{над}} \cdot k_{\text{самозап}} \cdot I_{\text{рmax}} = \\ = 1,2 \cdot 1,6 \cdot 94,90 = 182,2 \text{ А}$$

Для автоматических выключателей типа NSX140F [45]:  $k_{\text{над}} = 1,6$ ,  $k_{\text{самозап}} = 1,2$ .

Условие выполняется;

– ток срабатывания защиты от перегрузки:

$$(1,25 \cdot I_{\text{ном расц}} = (1,25 \cdot 140) = 175 \text{ А}) \geq (I_{\text{рmax}} = 94,90 \text{ А})$$

Условие выполняется;

– проверяется чувствительность к трехфазному току короткого замыкания:

$$K_{\text{ч. норм}} = k_3 \cdot k_p = 1,1 \cdot 1,3 = 1,43$$

$I_{\text{подкв}} = 6,72 \text{ кА} = 6720 \text{ А}$  – начальное значение периодической составляющей трехфазного тока короткого замыкания с учетом сопротивления дуги в точке К8.

									Лист
									49
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	130302.2018.740 ПЗ				

$$k_{\text{ч}}^{(2)} = \frac{0,87 \cdot I_{\text{подк1}}}{I_{\text{со}}} = \frac{0,87 \cdot 6720}{280} = 20,9 \geq 1,43;$$

– проверяется чувствительность к однофазному короткому замыканию:

$I_{\text{пок8}}^{(1)} = 4,12 \text{ кА} = 4120 \text{ А}$  – начальное значение периодической составляющей однофазного тока короткого замыкания в точке К8.

$$k_{\text{ч}}^{(1)} = \frac{I_{\text{по8}}^{(1)}}{I_{\text{со}}} = \frac{4120}{280} = 14,7 \geq 1,43$$

Выключатель обладает необходимой чувствительностью.

Расчет остальных линейных выключателей ведется аналогичным образом и сведен в таблицу Ц.1.

### 3.25 Расчет заземляющих устройств цеха

Для подстанций напряжением 6/0,4 кВ должно быть выполнено одно общее заземляющее устройство, к которому должны быть присоединены: нейтраль трансформатора на стороне напряжением до 1 кВ; корпус трансформатора; металлические оболочки и броня кабелей напряжением до 1 кВ и выше; открытые проводящие части электроустановок напряжением до 1 кВ и выше; сторонние проводящие части.

Расчет заземляющих устройств произведен в приложении Ш.

### 3.26 Расчет молниезащиты цеха

Объектом защиты является производственное здание, помещения которого согласно ПУЭ относятся к зонам класса В – Ia. Согласно ПУЭ – это зоны, расположенные в помещениях, в которых при нормальной эксплуатации взрывоопасные смеси горючих газов (независимо от нижнего концентрационного предела воспламенения) или паров ЛВЖ с воздухом не образуются, а возможны только в результате аварий или неисправностей.

Определение зоны защиты, а также расчет заземлителей молниезащиты приведен в приложении Ш.

					<b>130302.2018.740 ПЗ</b>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		50

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной выпускной квалификационной работе было рассмотрено электроснабжение цеха по производству электромонтажных изделий, а именно, были рассчитаны электрические нагрузки завода и его освещение, выбраны схемы его внешнего и внутреннего электроснабжения.

В результате расчета была определена расчетная нагрузка, осветительная нагрузка и суммарная расчетная нагрузка цеха.

В результате расчета внутреннего электроснабжения завода были выбраны мощности цеховых трансформаторных подстанций и схема распределительных сетей завода. Было выбрано основное оборудование на напряжениях 110 и 6 кВ.

Произведен выбор секционных и линейных выключателей, линейных и секционных разъединителей, трансформаторов тока и напряжения на напряжения 6 и 110 кВ, а также выбор автоматических выключателей на напряжение 0,4 кВ.

Произведены расчеты и выбор релейной защиты и автоматики цеха в электромеханическом исполнении.

Также рассмотрены вопросы техники безопасности и произведены технико-экономические расчеты, по сравнению двух вариантов внутреннего электроснабжения цеха на 6 и 10 кВ. В результате сравнения суммарных затрат на внешнее электроснабжение было выбрано питающее напряжение 6 кВ с меньшими годовыми затратами.

									Лист
									51
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	130302.2018.740 ПЗ				

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Алиев, И.И. Справочник по электротехнике и электрооборудованию / И.И. Алиев. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2003. – 477 с.
- 2 Анастасиев, П.И. Проектирование кабельных сетей и проводок / П.И. Анастасиев, Е.З. Бранзбург, А.В. Коляда: под общ. ред. Г.Е. Хромченко. – М.: Энергия, 1980. – 384 с.
- 3 Андреев, В.А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения / В.А. Андреев. – 4-е изд. – М.: Высш.шк., 2006. – 456 с.
- 4 Барыбин, Ю.Г. Справочник по проектированию электрических сетей и электрооборудования / Ю.Г. Барыбин. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 416 с.
- 5 Блок, В.М. Пособие к курсовому и дипломному проектированию для электрических специальностей: Учебное пособие для студентов вузов / В.М. Блок. – М.: Высшая школа, 1981. – 456 с.
- 6 Васин, В.М. Дипломное проектирование для специальности электрооборудование промышленных предприятий и установок / В.М. Васин, Б.Ю. Липкин. – Минск: Высшая школа, 1977. – 143 с.
- 7 Вакуумный выключатель ВБЭ-10-20/630 УЗ. Электронный документ. – [http://www.kontakt-saratov.ru/vakuumny\\_6-10/vikl\\_vbe\\_10\\_20/](http://www.kontakt-saratov.ru/vakuumny_6-10/vikl_vbe_10_20/).
- 8 Вакуумный выключатель ВПО-110 кВ. Электронный документ. – [http://www.kontakt-saratov.ru/vikl\\_110\\_kv/](http://www.kontakt-saratov.ru/vikl_110_kv/).
- 9 Выбор вакуумного выключателя 6 кВ. Электронный документ. – <http://forca.ru/stati/podstancii/vyklyuchatel-vakuumnyu-trehfaznyu-vv-tel.html>.
- 10 Выбор силового трансформатора 630 кВА. Электронный документ. – <http://www.rus-trans.com>.
- 11 Выбор силового трансформатора 110 кВ. Электронный документ. – <http://www.rus-trans.com>.
- 12 ГОСТ 28249-93 Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ. – М.: Изд-во стандартов, 1993. – 6 с.

										Лист
										52
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	130302.2018.740 ПЗ					

13 Гурин, Н.А. Дипломное проектирование: учебное пособие / Н.А. Гурин, Г.И. Янукович. – Минск: Высшая школа, 1990. – 240 с.

14 Длительно допустимые токовые нагрузки кабелей. Электронный документ. – <http://sevcable.ru/sites/default/files/catalog/help/tok-nagr-cab.pdf>.

15 Идельчик, В.И. Электрические системы и сети: Учебник для вузов / В.И. Идельчик, В.А.Венникова. – М.: Энергия, 1974. – 592 с.

16 Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений / РД 34.21-122-87. – М.: изд. Энергоатомиздат, 1989. – 56 с.

17 Киреева, Э.А. Электроснабжение цехов промышленных предприятий / Э.А. Киреева. – М.: НТФ Энергопрогресс, 1998. – 562 с.

18 Кнорринг, Г.М. Цеховые электрические сети / Г.М. Кнорринг, М.К. Харчев. – М.: Госэнергоиздат, 1952. – 139 с.

19 Козулин, В.С. Электрооборудование станций и подстанций: Учебник для техникумов / В.С. Козулин, Л.Д. Рожкова. – М.: Энергия, 1987. – 648 с.

20 Конденсаторные установки КРМ (УКМ 58)-0,4 кВ – Электронный документ. – [http://www.matic.ru/docs/catalogs/brochure-matic/parts/lv\\_krm.pdf](http://www.matic.ru/docs/catalogs/brochure-matic/parts/lv_krm.pdf).

21 Костин, В.Н. Электропитающие системы и электрические сети: учебно-методический комплекс (учебное пособие) / В.Н. Костин. – СПб.: Изд-во СЗТУ, 2007. – 154 с.

22 Лыкин, А.В. Электрические системы и сети: Учебное пособие / А.В. Лыкин. – М.: Логос, 2008. – 254 с.

23 ОАО «Старооскольский завод электромонтажных изделий. Справочник - Каталог: Панель ГРЩ. Разработка и изготовление. – Старый Оскол: СОЭМИ, 2014. – 400 с.

24 Правила устройств электроустановок. Раздел 1. Общие правила. Главы 1.1, 1.2, 1.7, 1.9, Раздел 7. Главы 7.5, 7.6, 7.10. – 7-е изд. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2006.

25 Промэлектросервис. Выключатели автоматические ВА 301. Электронный документ. – <http://www.elektro-portal.com/series/show/va-301>.

					<b>130302.2018.740 ПЗ</b>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		53

26 Пункты распределительные серии ПР8503. Электронный документ. – <http://chebelektra.ru/nku/pr8xxx>.

27 Руководящие указания по релейной защите. Релейная защита понижающих трансформаторов и автотрансформаторов 110–500 кВ.: Выпуск 13Б. Расчеты. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 48 с.

28 Самсонов, В.С. Экономика предприятий энергетического комплекса / В.С. Самсонов, М.А. Вяткин. – М.: Высшая школа, 2005. – 264 с.

29 Разыграев, С.Н. Методическое указание для выполнения курсовой работы по переходные процессы в системах электроснабжения / С.Н. Разыграев, Д.П. Химичева. – Челябинск: ЮУрГУ, 2014. – 40 с.

30 Разыграев, С.Н. Методическое указание. Заземление и зануление электрического оборудования и станков. Расчеты заземляющих устройств / С.Н. Разыграев, Д.П. Химичева. – Челябинск: ЮУрГУ, 2014. – 40 с.

31 Разъединители на 110–220 кВ. Электронный документ. – <http://www.elekom-ural.ru/catalog/item/42-razediniteli-na-110-220kv.html>

32 Рожков, Л.Д. Электрооборудование станций и подстанций: Учебник для техникумов / Л.Д. Рожков, В.С. Козулин. – М.: Энергия, 1980. – 599 с.

33 Светодиодный светильник Center 50. Электронный документ. – <http://www.kvazar-gr.ru/triada.php>.

34 Силовой вакуумный выключатель внутренней установки, 6–10–15 кВ до 8000 Электронный документ. – <http://sems.ural.ru/store/34251/10033111>.

35 Справочник по проектированию электроснабжения: Электроустановки промышленных предприятий /под ред. Ю.Г. Барыбина, Л.Е. Федорова. – М.: Энергетика, 1995. – 464 с.

36 Трансформатор масляный ТМГ 400/6/0,4 Основные технические характеристики. Электронный документ. – [http://energo.maxte.ru/traBA\\_301-formator-masljanuj-tmg-400-6-0-4-u-un-0-zvezda-zv?search=тмг%204](http://energo.maxte.ru/traBA_301-formator-masljanuj-tmg-400-6-0-4-u-un-0-zvezda-zv?search=тмг%204).

									Лист
									54
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	130302.2018.740 ПЗ				

37 Трансформатор масляный ТМГ 250/6/0,4 Основные технические характеристики. Электронный документ. – <http://energo.maxte.ru/traBA301formator-masljanuj-tmg-250-6-0-4-u-un-0-zvezda-zv?tag>.

38 Трансформатор напряжения НАМИ-110. трансформатор напряжения измерительный масляный антирезонансный. Электронный документ. – [www.tdtransformator.ru/catalog/izmeritelnye/napryazheniya/ot-110-kv/nami-110.htm](http://www.tdtransformator.ru/catalog/izmeritelnye/napryazheniya/ot-110-kv/nami-110.htm).

39 Трансформаторы тока серии ТГФМ на напряжение 110 кВ. Электронный документ. – <http://www.etk-oniks.ru/Klass-napryazheniya-TT-110kV-i-vyshe/TGFM-110.html>.

40 Указания по расчету электрических нагрузок (РТМ 36.18.327-92). Инструктивные и информационные материалы по проектированию электроустановок № 7–8, 1992.– С.4–27 (ВНИПИ Тяжпромэлектро-проект). – 114 с.

41 Фёдоров, А.А. Основы электроснабжения промышленных предприятий / А.А. Федоров. – М.: Энергия, 1967. – 416 с.

42 Федров, А.А. Основы электроснабжения промышленных предприятий / А.А. Федоров. – М.: Энергия, 1972. – 472 с.

43 Фролова, Н.С. Электрические нагрузки промышленных предприятий. Методическое пособие / Н.С. Фролова. – Озёрск, 2003. – 246 с.

44 Чернобровов, Н.В. Релейная защита / Н.В. Чернобровов. – М.: Энергия, 1998. – 680 с.

45 Шабад, М.А. Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей / М.А. Шабад. – Санкт-Петербург: Политехника-сервис, 2003. – 350 с.

46 Электрический кабель ВВГнг. Электронный документ. – <http://elesant.ru/provoda-i-kabeli/elektricheskii-kabel-vvng>.

47 Электротехнический сайт «Современные решения в области силовых трансформаторов». – <http://www.elektrozavod.ru>.

					130302.2018.740 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		55

48 Электрические нагрузки промышленных предприятий /  
С.Д. Волобринский, Г.М. Каялов, П.Н. Клейн и др. – М.: Энергия, 1971. – 608 с.

49 Энергетическая стратегия России на период до 2020 года. Электронный документ. – <http://www.wood-pellets.com>.

50 Compact ВА 303 100–1600 А. Автоматические выключатели и выключатели-разъединители низкого напряжения Руководство по эксплуатации Электронный документ. – <http://www.elec.ru/files/127/000001223/attfile/02.pdf>.

					130302.2018.740 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		56