

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

Институт: ИнЭО

Направление подготовки: 140400 «Электроэнергетика и электротехника»

Кафедра: Электропривод и электрооборудование

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Проектирование системы электроснабжения электродлампового завода УДК 621.31.031:621.32.002

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г13	Юнусов Р.А.		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Качин С.И.	д.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Мелик-Гайказян М.В.	к.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Романцов И.И.	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Электропривод и электрооборудование				

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

Институт: ИнЭО

Направление подготовки: «Электроэнергетика и электротехника»

Кафедра: Электропривод и электрооборудование

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

_____ Деменьтьев Ю.Н.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г13	Юнусову Рустему Аметовичу

Тема работы:

Проектирование системы электроснабжения электролампового завода	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	от 1.04.16 2533/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p><i>Объектом исследования является спиральный цех электролампового завода. В качестве исходных данных представлены:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - генеральный план завода; - план спирального цеха; - сведения об электрических нагрузках завода; - сведения об электрических нагрузках спирального цеха..
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования; обсуждение результатов</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> - расчет нагрузки электроприемников спирального цеха методом упорядоченных диаграмм; - полная суммарная нагрузка завода в целом; - детальное рассмотрение особенностей трансформаторных подстанций в системах электроснабжения с последующим выбором цеховых трансформаторов; - обсуждение результатов выполненной работы; - разработка раздела «Финансовый менеджмент,

<i>выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>		<i>ресурсоэффективность и ресурсосбережение»; - разработка раздела «Социальная ответственность»; - заключение.</i>	
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>		<i>- схема электроснабжения спирального цеха; - однолинейная схема;</i>	
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>			
Раздел	Консультант		
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Мелик-Гайказян Мария Вигеновна		
«Социальная ответственность»	Романцов Игорь Иванович		
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
Профессор	Качин С.И.	Д.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г13	Юнусов Р.А.		

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г13	Юнусову Рустему Аметовичу

Институт	ИнЭО	Кафедра	ЭПЭО
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

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

<i>1. Стоимость затрат технического проекта: на материальные затраты, зарплаты, страховые отчисления и накладные расходы</i>	В техническом проекте были задействованы руководитель и инженер. Стоимость материальных ресурсов определялась по средней стоимости. Зарботная плата рассчитывается в соответствии с окладами сотрудников НИ ТПУ
<i>2. Продолжительность выполнения</i>	Приблизительная оценка продолжительности выполнения технического проекта составляет более 100 рабочих дней

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<i>1. Планирование и формирования графика работ по реализации технического проекта</i>	Для составления графика по проектированию электроснабжения предприятия используется оценка трудоемкости работ для каждого исполнителя. По полученным данным строится график Ганта, позволяющий лучше спланировать процесс реализации технического проекта
<i>2. Формирование сметы технического проекта</i>	В процессе формирования сметы технического проекта используется следующая группировка затрат по статьям: <i>Материальные затраты;</i> <i>Полная заработная плата исполнителей;</i> <i>Отчисления во внебюджетные фонды;</i> <i>Накладные расходы;</i>
<i>3. Ресурсоэффективность и ресурсосбережение</i>	Оценка эффективности проекта производится с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	24.04.16
---	----------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Мелик-Гайказян М.В.	К.Э.Н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г13	Юнусов Р.А.		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г13	Юнусову Рустему Аметовичу

Институт	ИнЭО	Кафедра	Электроснабжение промышленных предприятий
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<p><i>1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения) – опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы) <p><i>негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера) 	<p><i>Рабочим местом является электроламповый завод с подробным рассмотрением спирального цеха.</i></p> <p><i>Описание рабочего места на предмет возникновения:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения) - опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, электрической, природы)
<p><i>2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме</i></p>	<p><i>ПУЭ, СН-245, НПБ 105-03, ГОСТ 12.1.012-90, ГОСТ 12.0.002-97, ГОСТ 12.1.005-97, СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03</i></p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p><i>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства) 	<ul style="list-style-type: none"> - физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; - действие фактора на организм человека; - приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); - предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)
<p><i>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> – механические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч.

<ul style="list-style-type: none"> – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактич. мероприятия, средства пожаротушения) 	<p>статическое электричество, средства защиты);</p> <ul style="list-style-type: none"> – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).
<p>3. Охрана окружающей среды:</p> <ul style="list-style-type: none"> – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. 	<ul style="list-style-type: none"> – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – разработка и принятие решений по обеспечению экологической безопасности предприятия.
<p>4. Защита в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС на объекте; <ul style="list-style-type: none"> – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий 	<ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС на объекте; – эвакуация людей из зданий и помещений.
Перечень графического материала:	
<p>При необходимости представить эскизные графические материалы к расчётному заданию (обязательно для специалистов и магистров)</p>	

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Романцов И.И.	Кандидат технических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г13	Юнусов Р. А.		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 110 с., 11 рис., 23табл., 32источников, 2приложения.

Ключевые слова: расчетная нагрузка, картограмма нагрузок, выбор трансформаторов, компенсация, электроснабжение цеха, выбор оборудования, проверка оборудования, однолинейная схема, менеджмент, социальная ответственность.

Объектом исследования является спиральный цех электролампового завода.

Цель работы: разработка системы электроснабжения промышленного предприятия. Экономическое обоснование принятых решений.

В процессе исследования произведен выбор метода расчета на основе исходных данных, поэтапный расчет электрических нагрузок завода и рассматриваемого цеха, выбор оборудования и его проверка при различных режимах работы.

В результате исследования была спроектирована конкретная модель электроснабжения промышленного предприятия, представлен расчет бюджета затрат и безопасность для окружающей среды.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: исследуемый завод состоит из шестнадцати цехов, напряжение питающей линии 35 кВ; рабочие напряжения внутри завода: 10, 0,4 кВ; схема внутрив заводской сети – радиальная.

Оглавление

Введение.....	10
1 Объект и методы исследования.....	12
2. Расчеты и аналитика.....	16
2.1 Расчет нагрузок спирального цеха.....	16
2.2 Определение нагрузок по предприятию.....	21
2.3 Построение картограммы нагрузок и определение центра электрических нагрузок.....	24
2.4 Внутривзаводское электроснабжение.....	27
2.4.1 Выбор числа и мощности трансформаторов цеховых ТП напряжением 10/0,4 кВ.....	27
2.4.2 Расчет мощности компенсационных устройств в сети 0,4 кВ.....	32
2.4.3 Определение мощности батарей конденсаторов в сетях выше 1 кВ.....	35
2.4.4 Расчет потерь мощности в трансформаторах.....	35
2.5 Электроснабжение ГПП.....	39
2.5.1 Расчет ГПП.....	39
2.5.2 Выбор рационального напряжения внешнего электроснабжения предприятия.....	40
2.5.3 Выбор мощности трансформаторов ГПП.....	40
2.5.4 Выбор сечения линии, питающей ГПП.....	41
2.5.5 Схема внутривзаводской распределительной сети 10 кВ.....	43
2.5.6 Расчет токов короткого замыкания в сети выше 1 кВ.....	46
2.5.7 Выбор сечений линий питающей сети цеха.....	49
2.5.8 Проверка линий и выбор защитных аппаратов, высоковольтных трансформаторов тока и напряжения.....	52
2.6 Электроснабжение спирального цеха.....	57
2.6.1 Выбор сечений проводников и защитной аппаратуры напряжением до 1 кВ.....	59
2.6.2 Расчет токов короткого замыкания в сети до 1000В.....	62
2.6.3 Расчет сети по потере напряжения.....	64
2.6.4 Построение карты селективности.....	68
3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	79
3.1 SWOT-анализ системы электроснабжения.....	79
3.2 Организация работ технического проекта.....	82
3.2.1 Структура работ в рамках технического проектирования.....	82
3.2.2 Определение трудоемкости выполнения технического проекта.....	84
3.2.3 Разработка графика проведения системы электроснабжения.....	85
3.3 Составление сметы затрат на разработку ТП.....	86

3.3.1 Расчет материальных затрат НТИ.....	86
3.3.2 Расчет полной заработной платы исполнителей темы	86
3.3.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	88
3.3.4 Накладные расходы.....	89
3.3.5. Формирование сметы технического проекта.....	89
3.4. Определение ресурсоэффективности проекта.....	90
4 Социальная ответственность.....	93
4.1 Описание рабочей зоны.....	93
4.2 Анализ опасных и вредных факторов	93
4.3 Производственная санитария.....	94
4.3.1 Воздух рабочей зоны.....	94
4.3.2 Вентиляция	95
4.3.3 Защита от шума и вибрации.....	96
4.3.4 Освещение.....	96
4.4 Электробезопасность.....	97
4.4.1 Защита от случайного прикосновения.....	98
4.4.2 Защитное заземление.....	98
4.4.3 Зануление.....	100
4.5 Пожарная безопасность.....	101
4.6 Охрана окружающей среды.....	102
4.7 Эвакуация людей из зданий и помещений.....	102
Заключение.....	104
Список литературы.....	106

Введение

Система электроснабжения предприятия должна обеспечивать удобство и безопасность в обслуживании, необходимое качество электроэнергии и бесперебойность электроснабжения в нормальном и послеаварийном режимах. Наряду с этим, система электроснабжения должна оставаться достаточно экономичной. Довольно серьезные дополнительные требования предъявляют электроприемники с резкопеременной ударной нагрузкой и потребители, требующие исключительно бесперебойного питания при любых режимах работы. Для выполнения всех вышеизложенных условий необходимо еще на стадии проектирования обеспечить построение оптимальной системы электроснабжения.

Целью данной работы является проектирование системы электроснабжения электролампового завода с подробным рассмотрением спирального цеха. Основной целью выполнения квалификационной работы является проверка усвоения дисциплин, предусмотренных учебным планом, и развитие способности самостоятельно решать практические вопросы проектирования систем электроснабжения.

Данный вид производства предполагает наличие нагрузки второй и третьей категорий по степени надежности электроснабжения. В состав завода входят различные цеха, выполняющие определенную роль. Производство продукции осуществляется в 2 смены. Характеристика среды – нормальная.

Процесс выполнения проекта предусматривает несколько этапов.

Во-первых, расчет нагрузки спирального цеха методом упорядоченных диаграмм.

Во-вторых, определение расчетной нагрузки предприятия в целом по расчетным активным и реактивным нагрузкам цехов с учетом расчетной нагрузки освещения цехов и территории предприятия, потерь мощности в трансформаторах цеховых подстанций, ГПП и линиях. Расчет производится методом коэффициента спроса.

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 1000В для проверки правильности выбора сечений проводников

На последнем этапе производится расчет электроснабжения спирального цеха.

Выбор в качестве объекта исследования отдельно взятого цеха позволяет наиболее детально рассмотреть структуру электроснабжения промышленного предприятия.

1 Объект и методы исследования

Исходными данными на проектирование являются генплан электролампового завода(изображен на рисунке1), сведения об электрических нагрузках электролампового завода(таблица1), генплан спирального цеха и сведения об электрических нагрузках спирального цеха (рисунок 2, таблица 2 соответственно).

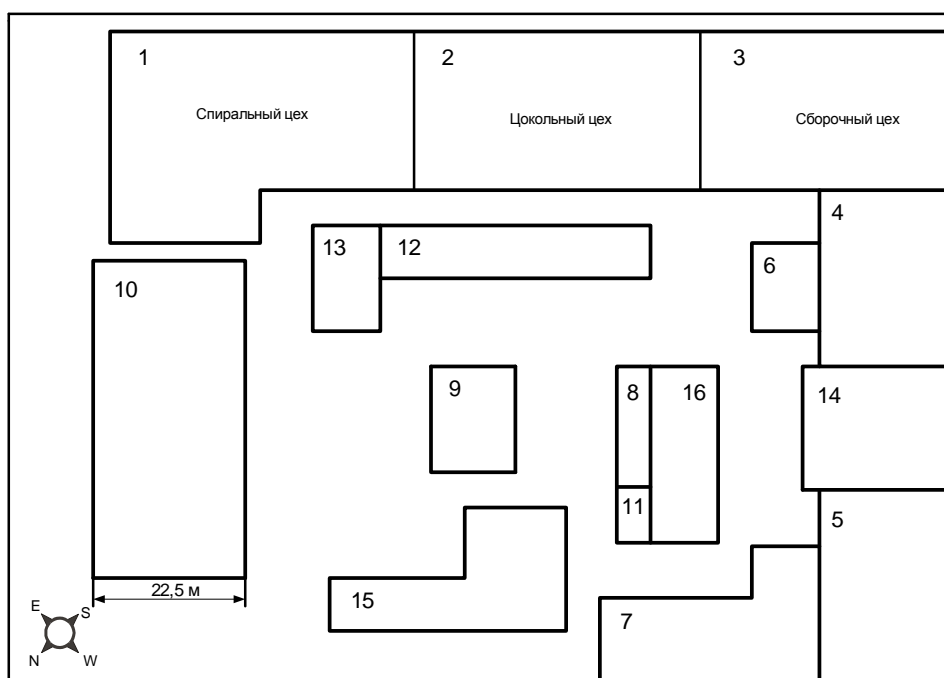


Рисунок 1 - Генплан электролампового завода

Таблица 1 - Сведения об электрических нагрузках

№	Наименование цеха	Установленная мощность ЭП, кВт
1	2	3
1	Спиральный	-
2	Цокольный	450
3	Сборочный	585
4	Стекольный первый участок	600
5	Стекольный второй участок	400
6	Компрессорная	1450
7	Инструментальный	350
8	Котельная	120
9	Энергоцех	160
10	Административный корпус	450
11	Клееварный	75
12	Газоочистительная станция	150
13	Очистные сооружения	170

Таблица 1 (продолжение) – Сведения об электрических нагрузках

14	Столярный	55
15	Электрокарная	450
16	Корпус нестандартногооборуд.	270

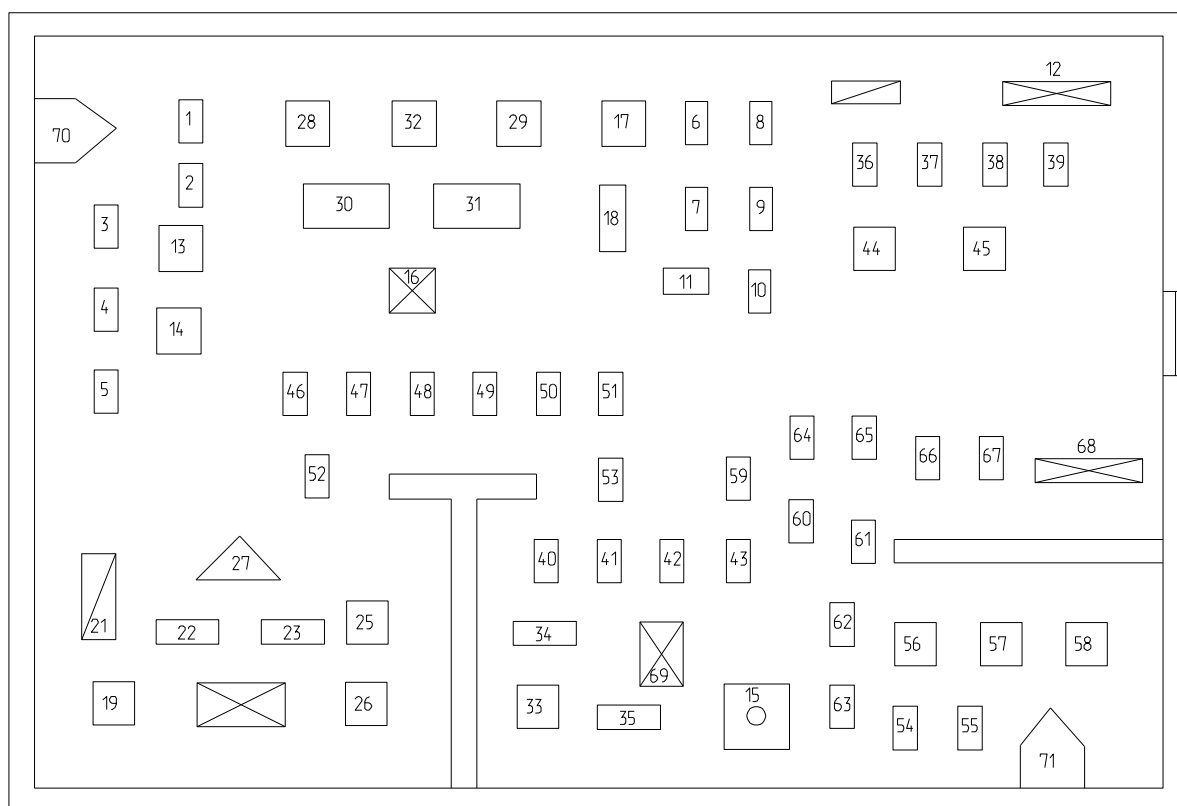


Рисунок 2 – Генплан спирального цеха

Таблица 2 – Сведения об электрических нагрузках

№	Наименование электроприемника	Установленная мощность ЭП, кВт
1	2	3
1-5	Автомат сварки электродов	0,54
6-8	Печь муфельная стационарная	12
9,10	Печь отжига никелированной стальной проволоки	8
11	Установка алюминирования никелевой проволоки	2,5
12	Печь препарирования	6
13,14	Станок радиально-сверлильный 2М112	0,55
15	Дисцилятор ЭД-2М	55
16	Настольный токарный станок	0,25
17	Станок токарно-винторезный	3,2
18	Точильно-шлифовальный станок	0,18
19	Механическая мешалка	0,27
20	Печь муфельная СНОЛ	2,5

Таблица 2 (продолжение) – Сведения об электрических нагрузках

21	Печь сушильная	2,5
22,23	Установка алюминирования проволоки	6,2
24	Печь высокотемпературная	11,1
25,26	Намоточное устройство	1,6
27	Шаровая мельница	0,55
28,29	Станок перемотки 2-FT-7	1,1
30,31	Преобразователь частоты	33,2
32	Станок радиально-сверлильный	1
33	Точильно-шлифовальный станок	1,5
34	Станок координатно-расточной 2УЧ30	3,2
35	Станок токарный УТ 16В	3,3
36-43	Станок резки спирали	1,3
44,45	Станок ручной резки спирали	0,32
46-48	Станок спирализации FO-25	0,65
49-51	Станок спирализации МО-144	0,55
52-55	Станок спирализации Б282-05	2,2
56-58	Станок спирализации СГТК-7	3,2
59-61	Станок спирализации скоростной ТПО170078	2,7
62-63	Станок спирализации МО-128	6,1
64-67	Полуавтомат резки спирали с препарированием	4,5
68	2-х зонная печь препарирования с перемоткой	5,3
69	Однозонная печь с перемоткой	2,5
70,71	Вентилятор	40

В данной работе рассматривается электроснабжение электролампового завода. В целом завод состоит из 16 производственных помещений, к которым относятся производственные и вспомогательные цеха, а также административный корпус.

Характеристики внешней среды (температура, влажность, наличие взрыво или пожароопасных зон) могут влиять не только на конструктивное исполнение оборудования, но и на выбор марок и сечений проводов, кабелей и защитной аппаратуры. Производственный процесс на проектируемом заводе характеризуется нормальными условиями, но некоторые из отделений цехов завода могут быть отнесены к жарким и влажным помещениям, а также к помещениям с химически активной средой. Характеристика среды основных производственных помещений по цехам электролампового завода представлена в таблице 3.

Перерыв электроснабжения электроприемников основного производства электролампового завода может привести к массовому недоотпуску продукции и простоям людей, поэтому электроприемники основного производства можно отнести ко второй категории. Вспомогательные цеха и подразделения, прямо не участвующие в создании продукции предприятия, можно отнести к третьей категории. Классификация основной доли электроприемников электролампового завода по бесперебойности электроснабжения приведена в таблице 3.

Таблица 3 - Характеристика внешней среды производственных помещений электролампового завода и бесперебойности электроснабжения основных производств

№ на ген плане	Наименование	Характеристика среды	Категория по надежности электроснабжения
1	Спиральный	Нормальная	II
2	Цокольный	Нормальная	II
3	Сборочный	Нормальная	II
4	Стекольный первый участок	Нормальная	III
5	Стекольный второй участок	Нормальная	II
6	Компрессорная	Нормальная	III
7	Инструментальный	Нормальная	II
8	Котельная	Жаркая, влажная	II
9	Энергоцех	Нормальная	III
10	Административный корпус	Нормальная	II
11	Клееварный	Жаркая, влажная	II
12	Газоочистительная станция	Нормальная	III
13	Очистные сооружения	Нормальная	III
14	Столярный	Нормальная	III
15	Электрокарная	Нормальная	III
16	Корпус	Нормальная	III

Как видно из таблицы 3, в рассматриваемом спиральном цехе под номером 1 на генплане среда нормальная и большинство электроприемников относятся ко II категории по надежности электроснабжения.

2. Расчеты и аналитика

2.1 Расчет нагрузок спирального цеха

Так как рассматриваемый цех относится ко второй категории по надежности электроснабжения, поэтому схема электроснабжения его электроприемников должна обеспечивать возможность резерва.

Номинальный ток электроприемников I_H , А определяем по формуле

$$I_H = \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos \varphi}, \quad (2.1.1)$$

где P_H – номинальная мощность электроприемника, кВт;

U_H - номинальное линейное напряжение электроприемника,

принимая $U_H = 0,38$ кВ;

$\cos \varphi$ – коэффициент активной мощности электроприемника.

Определим расчетную нагрузку спирального цеха. Расчет будем вести методом упорядоченных диаграмм. Для этого группируем электроприемники в количествах, шт по характерным категориям в узлах питания с одинаковыми коэффициентами использования и реактивной мощности $\cos \varphi$ ($\tan \varphi$). Номинальная мощность электродвигателей с повторно-кратковременным режимом работы $P_{H\text{ПВ}}$, кВт приводится к длительному режиму работы $P_{H\text{ДЛ}}$, кВт

$$P_{H\text{ДЛ}} = P_{H\text{ПВ}} \cdot \sqrt{\text{ПВ}}, \quad (2.1.3)$$

где ПВ – продолжительность включения, относительные единицы.

Все электроприемники в узле питания разделяем на 2 группы по значениям коэффициента использования $K_{и}$: группа А $K_{и} < 0,6$; группа Б $K_{и} \geq 0,6$.

Первоначально определяется суммарная номинальная мощность группы электроприемников $\sum P_H$, кВт как сумма номинальных мощностей электроприемников в группе. Затем определяется показатель силовой сборки m

$$m = \frac{P_{H\text{max}}}{P_{H\text{min}}}, \quad (2.1.4)$$

где P_{Hmax}, P_{Hmin} – максимальная и минимальная номинальная мощность у электроприемников из группы соответственно, кВт.

Сменная активная мощность для электроприемника, P_{cmi} , кВт определяется как

$$P_{cmi} = \sum P_{Hi} \cdot K_{Hi}, (2.1.5)$$

где K_{Hi} – коэффициент использования электроприемника, относительные единицы.

Примечание: При расчете нагрузок электроприемников, относящихся к группе Б суммарная сменная мощность равна сумме номинальных мощностей $\sum P_{cm} = \sum P_H$.

Сменная реактивная мощность для электроприемника, Q_{cmi} , кВар рассчитывается по выражению

$$Q_{cmi} = P_{cmi} \cdot \tan \varphi_i, (2.1.6)$$

где $\tan \varphi_i$ – коэффициент реактивной мощности для электроприемника, относительные единицы.

По отношению суммарной сменной и суммарной номинальной мощности для группы электроприемников определяется среднесменный коэффициент использования $K_{и.с.}$, относительные единицы

$$K_{и.с.} = \frac{\sum P_{cm}}{\sum P_H}, (2.1.7)$$

По полученным значениям $m, K_{и.с.}$ и количеству электроприемников в рассчитываемом узле питания по [5, страница 56] выбираем метод расчета эффективного числа электроприемников $n_э$, шт.

Исходя из значений $K_{и.с.}$ и $n_э$ по [5, таблица 3.3] находим коэффициент максимума K_M для группы ЭП, относительные единицы.

Максимальная расчетная активная мощность для группы электроприемников P_p , кВт рассчитывается как

$$P_p = \sum P_{cm} \cdot K_M. (2.1.8)$$

Максимальная расчетная реактивная мощность для группы электроприемников Q_p , кВАр определяется по выражению

$$Q_p = \sum Q_{cm} \cdot K_M' \quad (2.1.9)$$

где K_M' - коэффициент максимума для реактивной мощности, относительные единицы, $K_M' = 1,1$ при $n_{\text{э}} \leq 10$; $K_M' = 1$ при $n_{\text{э}} > 10$.

Примечание: При расчете нагрузок электроприемников, относящихся к группе Б суммарные расчетные мощности равны сумме сменных мощностей $P_p = \sum P_{cm}$; $Q_p = \sum Q_{cm}$.

Полная расчетная мощность для узла питания S_p , кВА определяется как

$$S_p = \sqrt{\sum P_p^2 + \sum Q_p^2} \quad (2.1.10)$$

Расчетный ток для узла питания I_p , А определяется как

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H} \quad (2.1.11)$$

где U_H – номинальное линейное напряжение для узла питания, кВ.

Произведем расчет остальных пунктов питания, и полученные сведения сведем в таблицу 4.

Таблица 4 – Расчет электрических нагрузок спирального цеха

№ п/п	Наименование узлов	Нагрузка установленная						Нагрузка средняя за смену				Нагрузка максимальная				in	in	iпик гр
		n	Pн, кВт	PнΣ, кВт	m	Kn	cosφ/tgφ	Pсм, кВт	Qсм, кВАр	nэ	Км/Км'	Pp, кВт	Qp, кВАр	Sp, кВА	Ip/In			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
	Гр.А ПР1																	
1-5	Автомат сварки электродов	5	0,54	2,7		0,35	0,5/1,73	0,95	1,63							5,35	1,78	
13,14	Станок радиально-сверильный 2М112	2	0,55	1,1		0,14	0,5/1,73	0,15	0,27							9,08	1,82	
28,29	Станок перемотки 2-FT-7	2	1,1	2,2		0,14	0,5/1,73	0,31	0,53							18,17	3,63	
32	Станок радиально-сверильный	1	1	1		0,14	0,5/1,73	0,14	0,24							16,51	3,30	
	Итого по ПР1 (Гр.А)	10	0,54-1,1	7	<3	0,221	-	1,55	2,68	10	1,84/1,1	2,85	2,94	4,10	6,22			23,59
	ПР2																	
	Гр.А																	
22,23	Установка алюминированная проволоки	2	6,2	12,4		0,4	0,7/1,02	4,96	50,59							14,63	14,63	
25,26	Намоточное устройство	2	1,6	3,2		0,4	0,7/1,02	1,28	13,06							18,87	3,77	
52	Станок спирализации Б282-05	1	2,2	2,2		0,14	0,5/1,73	0,31	0,53							36,33	7,27	
19	Механическая мешалка	1	0,27	0,27		0,5	0,65/1,17	0,14	0,16							3,43	0,69	
	Итого по Гр.А	6	0,27-6,2	18,07	>3	0,36984	-	6,683	64,33879	5	2/1,1	13,37	70,77					
	Гр.Б																	
27	Шаровая мельница	1	0,55	0,55		0,80	0,8/0,75	0,44	0,33							5,68	1,14	
24	Печь высокотемпературная ПВ=10%	1	3,51	3,51		0,80	0,95/0,33	2,81	0,84							6,10	6,10	
21	Печь сушильная	1	2,50	2,50	-	0,80	0,95/0,33	2,00	0,66							4,35	4,35	
	Итого по Гр.Б	3	0,55-3,51	6,56	0,8	-	-	5,25	1,83	-	1/1	6,56	1,83					
	Итого по ПР2	9	0,27-6,2	24,63	-	-	-	-	-	-	-	19,93	72,61	75,29	114,39			148,04
	ПР3																	3,43
	Гр.А																	
16	Настольный токарный станок	1	0,25	0,25		0,14	0,5/1,73	0,04	0,06							4,13	0,83	
18	Точильно-шлифовальный станок	1	0,18	0,18		0,14	0,5/1,73	0,03	0,04							2,97	0,59	
46-48	Станок спирализации FO-25	3	0,65	1,95		0,14	0,5/1,73	0,27	0,47							10,73	2,15	
49-51	Станок спирализации MO-144	3	0,55	1,65		0,14	0,5/1,73	0,23	0,40							9,08	1,82	
	Итого по ПР3 (Гр.А)	8	0,18-0,65	4,03	>3	0,14	-	0,56	0,98	6	3,04/1,1	1,72	1,07	2,02	3,07			13,51
	ПР4																	
	Гр.А																	
17	Станок токарно-винторезный	1	3,2	3,2		0,14	0,5/1,73	0,448	0,77504							52,85	10,57	
11	Установка алюминированная никелево	1	2,5	2,5		0,4	0,7/1,02	1	1,02							5,90	5,90	58,74
	Итого по Гр.А	2	2,5-3,2	5,7	<3	0,25404	-	1,448	1,79504	-	-/1,1	5,70	1,97					
	Гр.Б																	
6-8	Печь муфельная стационарная	3	12	36		0,8	0,95/0,33	28,8	9,504							20,86	20,86	
9,10	Печь отжига никелерованной стальной	2	8	16		0,8	0,95/0,33	12,8	4,224							13,91	13,91	
	Итого по Гр.Б	5	8-12	52	-	0,8	-	41,6	13,728	-	1/1	41,60	15,10					
	Итого по ПР4	7	2,5-12	57,7	-	-	-	-	-	-	-	47,30	17,08	50,29	76,41			126,57

Таблица 4 (продолжение) – Расчет электрических нагрузок спирального цеха

	ПР5														5,90	
	Гр.А															
36-39	Станок резки спирали ОБ-17	4	1,3	5,2		0,4	0,5/1,73	2,08	3,5984						21,47	4,29
44,45	Станок ручной резки спирали	2	0,32	0,64		0,4	0,5/1,73	0,256	0,44288						5,28	1,06
	Итого по Гр.А	6	0,32-1,3	5,84	>3	0,4	-	2,336	4,04128	-	-	5,84	4,45			
	Гр.Б															
12	Печь препарирования	1	6	6		0,8	0,95/0,33	4,8	1,584						10,43	10,43
20	Печь муфельная СНОЛ	1	2,5	2,5		0,8	0,95/0,33	2	0,66						4,35	4,35
	Итого по Гр.Б	2	2,5-6	8,5	-	0,8	-	6,8	2,244	-	1/1	8,50	2,24			
	Итого по ПР5	8	0,32-6	14,34	-	-	-	-	-	-	-	14,34	6,69	15,82	24,04	43,79
	ПР6															
	Гр.А															
64-67	Полуавтомат резки спирали с препаратом	5	4,5	22,5		0,35	0,5/1,73	7,875	13,62375						74,32	14,86
59-61	Станок спирализации скоростной ТПО 1	3	2,7	8,1		0,14	0,5/1,73	1,134	1,96182						44,59	8,92
	Итого по ПР6 (Гр.А)	8	2,7-4,5	30,6	>3	0,29441	-	9,009	15,58557	2	1/1,1	18,92	15,59	24,51	37,24	107,18
	ПР7															
	Гр.А															
33	Точильно-шлифовальный станок	1	1,5	1,5		0,14	0,5/1,73	0,21	0,3633						24,77	4,95
34	Станок координатно-расточный 2УЧ30	1	3,2	3,2		0,17	0,65/1,17	0,544	0,63648						40,65	8,13
35	Станок токарный УТ 16В	1	3,3	3,3		0,14	0,5/1,73	0,462	0,79926						21,80	10,90
40-43	Станок резки спирали ОБ-17	4	1,3	5,2		0,14	0,5/1,73	0,728	1,25944						8,59	4,29
53	Станок спирализации Б282-05	1	2,2	2,2		0,14	0,5/1,73	0,308	0,53284						14,53	7,27
	Итого по Гр.А	8	1,3-3,3	15,4	<3	0,14623	-	2,252	3,59132	8	2,72/1,1	6,13	3,95			
	Гр.Б															
69	Однозонная печь с перемоткой	1	2,5	2,5		0,8	0,95/0,33	2	0,66						4,35	4,35
	Итого по Гр.Б	1	2,5	2,5	-	0,8	-	2	0,66	-	1/1	2,50	0,66			
	Итого по ПР7	9	1,3-3,3	17,9	-	-	-	-	-	-	-	8,63	4,61	9,78	14,86	54,32
	ПР8															
	Гр.А															
54,55	Станок спирализации Б282-05	2	2,2	4,4		0,14	0,5/1,73	0,616	1,06568						36,33	7,27
56-58	Станок спирализации СГТК-7	3	3,2	9,6		0,14	0,5/1,73	1,344	2,32512						52,85	10,57
62-63	Станок спирализации МО-128	2	6,1	12,2		0,14	0,5/1,73	1,708	2,95484						100,74	20,15
	Итого по ПР8 (Гр.А)	7	2,2-6,1	26,2	<3	0,14	-	3,668	6,34564	7	2,88/1,1	10,56	6,98	12,66	19,24	117,16
	ПР9															
	Гр.А															
15	Дисцилятор	1	55	55		0,4	0,7/1,02	22	22,44						648,79	129,76
71	Вентелятор	1	40	40		0,65	0,85/0,62	26	16,12						388,58	77,72
	Итого по ПР9 (Гр.А)	2	40-55	95	<3	0,50526	-	48	38,56	-	-	95,00	15,60	96,27	146,27	726,50
	ПР10															
	Гр.А															
30,31	Преобразователь частоты	2	33,2	66,4		0,5	0,55/1,52	33,2	50,464						498,44	99,69
70	Вентелятор	1	40	40		0,65	0,85/0,62	26	16,12						388,58	77,72
	Итого по ПР10 (Гр.А)	3	33,2-40	106,4	<3	0,55639	-	59,2	66,584	-	-	106,40	18,40	107,98	164,06	576,16
	Итого по силовой нагрузке	71		456,60								325,64	161,56	398,73	605,82	611,75

2.2 Определение нагрузок по предприятию

Цель расчета – нахождение расчетной активной, реактивной и полной мощностей, необходимых для выбора сечения распределительных сетей а так же защитной и коммутационной высоковольтной аппаратуры, числа и мощности трансформаторов цеховых подстанций.

Исходные данные к расчету являются величины установленной мощности по цехам P_H , их размеры $F, м^2$, а так же величины коэффициентов спроса K_c и коэффициента реактивной мощности $\tan \varphi$ ($\cos \varphi$). Исходные данные представлены в таблице 5

Расчетная активная мощность силовой нагрузки по цеху P_p , кВт

$$P_p = K_c \cdot P_H. (2.2.1)$$

Реактивная мощность силовой нагрузки Q_p , кВАр

$$Q_p = P_p \cdot \tan \varphi. (2.2.2)$$

Номинальная активная мощность осветительной нагрузки по цеху $P_{H.осв}$, кВт, определяется по формуле

$$P_{H.осв} = P_{уд} \cdot F, (2.2.3)$$

где $P_{уд}$ - удельная мощность (плотность) осветительной нагрузки, Вт/м², принимается в зависимости от наименования цеха и используемых в качестве освещения источников. Принимаем по [2, Таблица 1,11].

Расчетная активная мощность осветительной нагрузки по цеху $P_{p.о.}$, кВт определим по формуле

$$P_{p.о.} = P_{H.осв} \cdot K_{c.о.}, (2.2.4)$$

где $K_{c.о.}$ – коэффициент спроса осветительной нагрузки, принимаем по [2, Таблица 1,10] исходя из наименования цеха.

Расчетную реактивную мощность осветительной нагрузки по цеху $Q_{p.о.}$, кВАр считаем как

$$Q_{p.о.} = P_{p.о.} \cdot \tan \varphi_o, (2.2.5)$$

где $\tan \varphi_o$ – коэффициент мощности для осветительной нагрузки,

так как в качестве источника освещения предполагаются лампы ДРЛ, поэтому принимаем $\tan \varphi_0 = 2,68$.

Расчетная полная нагрузка по цеху S_p , кВА, рассчитывается по формуле

$$S_p = \sqrt{(P_p + P_{p.o.})^2 + (Q_p + Q_{p.o.})^2}. \quad (2.2.6)$$

Полученные в ходе расчета данные сведем в таблицу 5.

Таблица5 – Расчет электрических нагрузок по заводу

№	Наименование цеха	Силовая нагрузка					Осветительная нагрузка							Силовая+ осветительная		
		Рн, кВт	Кс	cosφ/tgφ	Рр, кВт	Qр, кВАр	Фцеха, м2	Руд.ос., кВт/м2	Рн.о., кВт	к с.о.	cosφ/tgφ	Рр.о., кВт	Q р.о., кВАр	ΣР, кВт	ΣQ, кВАр	ΣS, кВА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	Спиральный цех	325,64	0,4	0,75/0,88	130,25	114,624	1309	0,003	3,9	0,95	0,35/2,68	3,7	10,0	133,98	124,62	183,0
2	Цокольный цех	450	0,5	0,7/1,02	225	229,5	1309	0,003	3,9	0,95	0,35/2,68	3,7	10,0	228,73	239,50	331,2
3	Сборочный цех	585	0,5	0,75/0,88	292,5	257,4	1032	0,004	4,1	0,9	0,95/0,33	3,7	1,2	296,22	258,63	393,2
4	Стекольный цех (первый участок)	600,0	0,5	0,75/0,88	300	264,0	912	0,003	2,7	0,95	0,35/2,68	2,6	7,0	302,60	270,97	406,2
5	Стекольный цех (первый участок)	400	0,5	0,75/0,88	200	176,0	540	0,003	1,6	0,95	0,35/2,68	1,5	4,1	201,54	180,12	270,3
6	Компрессорная	1450	0,8	0,7/1,02	1160	1183,2	460	0,003	1,4	0,95	0,35/2,68	1,3	3,5	1161,3 1	1186,7 1	1660,4
7	Инструментальный цех	350	0,3	0,7/1,02	105	107,1	575	0,006	3,5	0,95	0,95/0,33	3,3	1,1	108,28	108,18	153,1
8	Котельная	120	0,5	0,8/0,75	60	45,0	90	0,003	0,3	0,95	0,35/2,68	0,3	0,7	60,26	45,69	75,6
9	Энергоцех	160	0,4	0,7/1,02	64	65,3	180	0,003	0,5	0,95	0,35/2,68	0,5	1,4	64,51	66,65	92,8
10	Административный корпус	450	0,4	0,8/0,75	180	135,0	1080	0,003	3,2	0,9	0,95/0,33	2,9	1,0	182,92	135,96	227,9
11	Клееварный цех	75	0,5	0,9/0,48	37,5	18,0	40	0,003	0,1	0,95	0,35/2,68	0,1	0,3	37,61	18,31	41,8
12	Газоочистительная станция	150	0,6	0,7/1,02	90	91,8	430	0,003	1,3	0,95	0,35/2,68	1,2	3,3	91,23	95,08	131,8
13	Очистные сооружения	170	0,5 5	0,75/0,88	93,5	82,3	150	0,003	0,5	0,95	0,35/2,68	0,4	1,1	93,93	83,43	125,6
14	Столярный цех	55	0,4	0,75/0,88	22	19,4	460	0,003	1,4	0,95	0,35/2,68	1,3	3,5	23,31	22,87	32,7
15	Электрокарная	450	0,5	0,8/0,75	225	168,8	430	0,003	1,3	0,95	0,35/2,68	1,2	3,3	226,23	172,03	284,2
16	Корпус нестандартного оборудования	270	0,4	0,8/0,75	108	81,0	260	0,003	0,8	0,95	0,35/2,68	0,7	2,0	108,74	82,99	136,8
	Итого по предприятию (нагрузка 0,38 кВ)	6060,636			3292,8	3038,29	9257		30,5			28,6	53,5	3321,4	3091,7	4546,5

2.3 Построение картограммы нагрузок и определение центра электрических нагрузок

Для упрощения процедуры определения мест расположения ГПП, РП, а также цеховых ТП, на генплане предприятия изображаем нагрузки цехов в виде картограммы электрических нагрузок. Картограмма представляет собой графическое изображение нагрузок цехов, в виде окружностей, площади которых соответствуют, в выбранном масштабе, расчетным нагрузкам.

На промышленных предприятиях, в том числе и на проектируемом заводе, предполагается полная, автоматическая компенсация реактивной мощности до нормативного коэффициента мощности энергосистемы на всех уровнях электроснабжения. Следовательно, при построении картограммы, реактивные нагрузки можно не учитывать.

Центры электрических нагрузок отдельных цехов с распределенной нагрузкой будем определять исходя из того, что, в пределах цеха электрическая нагрузка распределена равномерно по его площади. Тогда, центр электрических нагрузок отдельного цеха будет совпадать с центром масс плоской фигуры, изображающей цех на генплане.

Значения расчётных силовых и осветительных нагрузок цехов принимаем по таблице 6 и заносим их значения в таблицу 6. Так же в таблицу 6 заносим значения координат центров нагрузки цехов, определенных по генплану.

Для отображения на картограмме нагрузок цехов рассчитаем радиус окружностей для каждого из цехов r_i , мм как

$$r_i = \sqrt{\frac{P_{p.i} + P_{p.o.i}}{\pi \cdot m}}, \quad (3.1);$$

$$r_1 = \sqrt{\frac{227.24 + 10.03}{3.14 \cdot 7}} = 8.69 \text{ (мм)}$$

где m – масштаб для определения площади круга,
принимаем $m = 7 \text{ кВт/мм}^2$.

Отделим в окружностях сектора, относящиеся к осветительной нагрузке сектором с углом α_i , градусы, определяемым по формуле

$$\alpha_i = \frac{360^\circ \cdot P_{p.o.i}}{P_{p.i} + P_{p.o.i}}. \quad (3.2);$$

$$\alpha_1 = \frac{360^\circ \cdot 10.03}{227.24 + 10.03} = 15.218^\circ.$$

Из генплана определим координаты нагрузок цехов как координаты середины цеха. Полученные x_i и y_i занесем в таблицу.

Таблицаб – Картограмма электрических нагрузок

№ цеха по генплану	Наименование цеха	Rн, кВт	P p.o., кВт	r	a	x, см	y, см	P*X	P*Y	X0, см	Y0, см
1	Спиральный цех	325,64	3,7	20,66	10,02	3,5	8,4	4689,47	11254,74	9,6	5,34
2	Цокольный цех	450,00	3,7	26,99	5,87	8,2	8,5	18755,91	19442,11		
3	Сборочный цех	585,00	3,7	30,71	4,52	11,2	8,5	33176,10	25178,29		
4	Стекольный цех (первый участ	600,00	2,6	31,04	3,09	11,3	6,1	34193,71	18458,55		
5	Стекольный цех (первый участ	400,00	1,5	25,33	2,75	11,2	1,4	22572,37	2821,55		
6	Компрессорная	1450,00	1,3	60,81	0,41	11,6	5,8	134712,08	67356,04		
7	Инструментальный цех	350,00	3,3	18,57	10,90	11	0,5	11910,53	541,39		
8	Котельная	120,00	0,3	13,85	1,53	9,4	3,8	5664,11	2289,75		
9	Энергоцех	160,00	0,5	14,33	2,86	7	3,9	4515,91	2516,01		
10	Административный корпус	450,00	2,9	24,14	5,74	2,4	4	4389,98	7316,64		
11	Клееварный цех	75,00	0,1	10,94	1,09	9,4	2,5	3535,72	940,35		
12	Газоочистительная станция	150,00	1,2	17,04	4,84	7,5	6,5	6841,91	5929,66		
13	Очистные сооружения	170,00	0,4	17,30	1,64	5,2	6	4884,23	5635,65		
14	Столярный цех	55,00	1,3	8,62	20,25	13	3,8	3030,43	885,82		
15	Электрокарная	450,00	1,2	26,84	1,95	7,2	1,4	16288,24	3167,16		
16	Корпус нестандартного оборуд	270,00	0,7	18,61	2,45	10,2	3,4	11091,58	3697,19		

Координаты центра электрических нагрузок (ЦЭН) предприятия в целом x_0, y_0 , мм определим как

$$x_0 = \frac{\sum(P_{p.i} + P_{p.o.i}) \cdot x_i}{\sum(P_{p.i} + P_{p.o.i})}, \quad (3.3)$$

$$x_0 = \frac{320252,28}{3321,4} = 9,6 \text{ м};$$

$$y_0 = \frac{\sum(P_{p.i} + P_{p.o.i}) \cdot y_i}{\sum(P_{p.i} + P_{p.o.i})}, \quad (3.4)$$

$$y_0 = \frac{177430,88}{3321,4} = 5,34 \text{ м}.$$

Так как электрическая нагрузка не может быть постоянной, по этому строим возможную зону рассеяния ЦЭН с доверительной вероятностью 95%, которая представляет собой эллипс с полуосями R_x, R_y , см

$$R_x = \frac{\sqrt{3}}{h_x}; \quad (3.5)$$

$$R_y = \frac{\sqrt{3}}{h_y}, \quad (3.6)$$

где h_x, h_y – меры мощности случаемых величин, определяемые как

$$h_x = \frac{1}{\sigma_x \cdot \sqrt{2}}, \quad (3.7)$$

$$h_y = \frac{1}{\sigma_y \cdot \sqrt{2}}, \quad (3.8)$$

где σ_x, σ_y – дисперсии случайных координат.

Для спирального цеха:

$$\sigma_x^2 = \sum_{i=1}^n P_{xi} \cdot (x_i - x_{0a})^2 = 788,5;$$

$$\sigma_y^2 = \sum_{i=1}^n P_{yi} \cdot (y_i - y_{0a})^2 = 530,82.$$

Где P_{xi}, P_{yi} – эмпирическая вероятность появления x_i, y_i во.е.

$$P_{xi} = P_{yi} = \frac{P_i}{\sum_{i=1}^n P_i}, \quad (3.9)$$

$$R_x = \frac{\sqrt{3}}{h_x} = \frac{\sqrt{3}}{0,0252} = 68,8 \text{ м}; \quad R_y = \frac{\sqrt{3}}{h_y} = \frac{\sqrt{3}}{0,037} = 56,4 \text{ м};$$

$$h_x = \frac{1}{\sqrt{788,5}} = 0,0252 \text{ м}; \quad h_y = \frac{1}{\sqrt{530,82}} = 0,037 \text{ м};$$

Полученный результат изобразим на рисунке 3.

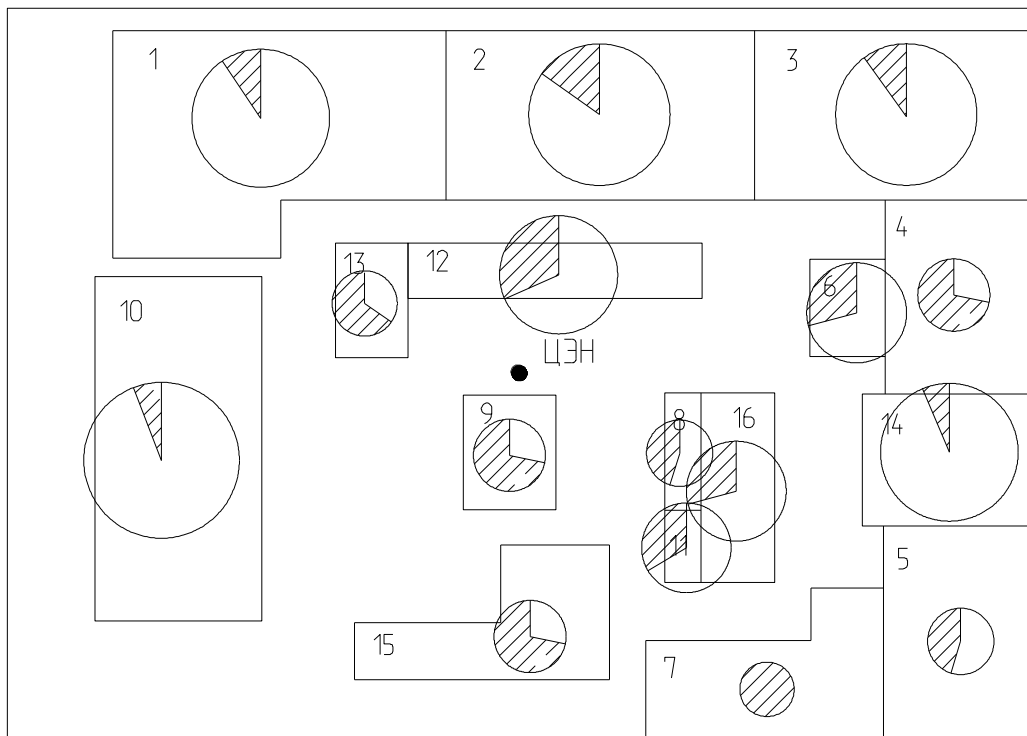


Рисунок 3 – Картограмма нагрузок и ЦЭН

Как видно из рисунка 3, ЦЭН приходится на территорию, занятую цехом №9. Поэтой причине сдвинем местоположение главной понижающей подстанции (ГПП) в сторону питающей линии.

2.4 Внутри заводское электроснабжение,

2.4.1 Выбор числа и мощности трансформаторов цеховых ТП напряжением 10/0,4 кВ

Определяющими факторами при выборе числа и мощности цеховых трансформаторов являются критерии надежности, затраты на питающую сеть 0,4 кВ, потери мощности в этой сети и в трансформаторах, затраты на компенсацию реактивной мощности и строительную часть ТП. Для точного учета перечисленных факторов необходимо выполнять технико-экономические расчеты предполагаемых схем электроснабжения завода.

Количество цеховых ТП непосредственно влияет на затраты на распределительные устройства напряжением 10 кВ и внутризаводские и цеховые электрические сети. Так, при уменьшении числа ТП (т. е. при увеличении их единичной номинальной мощности) уменьшается число ячеек РУ, суммарная длина линий и потери электроэнергии и напряжения в сетях 10 кВ, но возрастает стоимость сетей напряжением 0,4 кВ и потери в них. Увеличение числа ТП, наоборот, снижает затраты на цеховые сети, но увеличивает число ячеек РУ 10 кВ и затраты на сети напряжением 10 кВ. При некотором количестве трансформаторов с номинальной мощностью $S_{ном\ T}$ можно добиться минимума приведенных затрат при обеспечении заданной степени надежности электроснабжения. Такой вариант будет являться оптимальным, и его следует рассматривать как окончательный.

Номинальные мощности трансформаторов ($S_{ном\ T}$) определяются плотностью нагрузки цехов и выбираются, как правило, одинаковыми для всей группы цехов, исходя из рациональной их загрузки в нормальном режиме и с учетом резервирования в послеаварийном режиме.

Ориентировочно выбор номинальной мощности цеховых трансформаторов производится по удельной плотности нагрузки $\sigma, \frac{\text{кВА}}{\text{м}^2}$

$$\sigma = \frac{S_{расч}}{F_{ц}}, \quad (4.1.1)$$

где $S_{расч}$ – Полная расчетная мощность всех цехов на напряжении до 1000В;

$F_{ц}$ – площадь всех цехов предприятия.

$$\sigma = \frac{4546,52}{9252} = 0,491 \frac{\text{кВА}}{\text{м}^2}.$$

Исходя из полученного значения удельной плотности нагрузки согласно справочника [1,таблица 5.1] рекомендуемая номинальная мощность трансформаторов $S_{\text{ном Т}} = 2500$ кВА. Так как количество трансформаторов с данной мощностью не смогут обеспечить безопасность по электроснабжению, принимаем трансформаторы двух разные номиналов $S_{\text{ном Т}} = 630$ кВА и $S_{\text{ном Т}} = 1600$ кВА.

Минимальное число трансформаторов цеховых ТП

$$N_0 = \frac{\Sigma(P_p^H + P_{po})}{\beta_T S_{\text{нтр}}}, \quad (4.1.2)$$

где β_T – коэффициент загрузки трансформаторов в нормальном режиме(согласно [3, с. 38] принимаем $\beta_T = 0,8$);

$S_{\text{нтр}}$ – номинальная мощность одного трансформатора, кВА;

$\Sigma(P_p^H + P_{po})$ – суммарная активная расчетная низковольтная нагрузка цехов, кВт.

Получаем

$$N_{0\ 630} = \frac{\Sigma(P_p^H + P_{po})}{\beta_T S_{\text{нтр}}} = \frac{1561}{0,8 \cdot 630} = 3,1 \approx 4 \text{шт}$$

$$N_{0\ 1600} = \frac{\Sigma(P_p^H + P_{po})}{\beta_T S_{\text{нтр}}} = \frac{1760}{0,8 \cdot 1600} = 1,37 \approx 2 \text{шт}$$

Полученные расчетные величины округляем до ближайшего большего целого значения.

Определяем активную нагрузку на один трансформатор номиналом $S_{\text{ном Т}} = 630$ кВА

$$P_1 = \frac{\Sigma P_p^H + \Sigma P_{p.o}}{N} = \frac{1561}{4} = 395,5(\text{кВт}).$$

Определяем активную нагрузку на один трансформатор номиналом $S_{\text{НОМ Т}} = 1600$ кВА

$$P_1 = \frac{\sum P_p^H + \sum P_{p.o}}{N} = \frac{1760}{2} = 880,06(\text{кВт}).$$

Число трансформаторов, которое следует установить в том или ином цехе рассчитываются по формуле:

$$N_i = \frac{P_{pi} + P_{poi}}{P_1}, \quad (4.1.3)$$

$$N_1 = \frac{P_{p1} + P_{po1}}{P_1} = \frac{133,98}{395,5} = 0,34.$$

Полученный результат сведем в таблицу 7.

Таблица 7–Число трансформаторов в цехе

№ п/п	Наименование	Категория	Pr+Po кВт	Qp+QокВА р	SpкВА	ИП	Fцеха, м2	P1 630	Ni
1	Спиральный	II	133,98	124,62	182,98253	1x630	1309	395,57	0,33871 6
2	Цокольный	II	228,73	239,50	331,17529	1x630	1309	P1 1600	0,57823 4
3	Сборочный	II	296,22	258,63	393,23131	от ТП 6	1032	880,06	0,33658 4
4	Стекольный первый участок	III	302,60	270,97	406,1881	от ТП 6	912		0,34383 8
5	Стекольный второй участок	II	201,54	180,12	270,30133	от ТП 10	540		0,50949 3
6	Компрессорная	III	1161,31	1186,71	1660,4012	2x1600	460		1,31957 8
7	Инструментальный	II	108,28	108,18	153,05969	1x630	575		0,27372 7
8	Котельная	II	60,26	45,69	75,618689	от ТП 7	90		0,15232 9
9	Энергоцех	III	64,51	66,65	92,762034	от ТП 1	180		0,16309
10	Административный корпус	II	182,92	135,96	227,91227	1x630	1080		0,46241 4
11	Клееварный	II	37,61	18,31	41,831867	от ТП 2	40		0,09508 9
12	Газоочистительная станция	III	91,23	95,08	131,76921	от ТП 1	430		0,23061 9
13	Очистные сооружения	III	93,93	83,43	125,62732	от ТП 1	150		0,23745
14	Столярный	III	23,31	22,87	32,658824	от ТП 2	460		0,05893 1
15	Электрокарная	III	226,23	172,03	284,2073	от ТП 7	430		0,57190 1
16	Корпус нестандартногооборуд.	III	108,74	82,99	136,78911	от ТП 2	260		0,27489 9
Итого по заводу			3321,39	3091,75	4546,52		9257		

Как видно из таблицы 7, на заводе преимущественно преобладают цехи 2-й категории, поэтому принято решение разместить основную часть трансформаторов в цехах, имеющую II-категорию потребителей $\beta = 0,7 - 0,8$.

По полученной таблице расстановки трансформаторов расставим на генплане предприятия выбранное количество трансформаторов и изобразим необходимые для нормального электроснабжения сети.

Целесообразно приближать цеховые трансформаторы, к которым подключено несколько цехов, к цеху, имеющему наибольшую мощность. Так как нет информации о коммуникациях которые будут смонтированы на территории проектируемого завода по этому будем проводить линии передачи электроэнергии по наименьшей длине. Полученный вариант представим на рисунке 4.

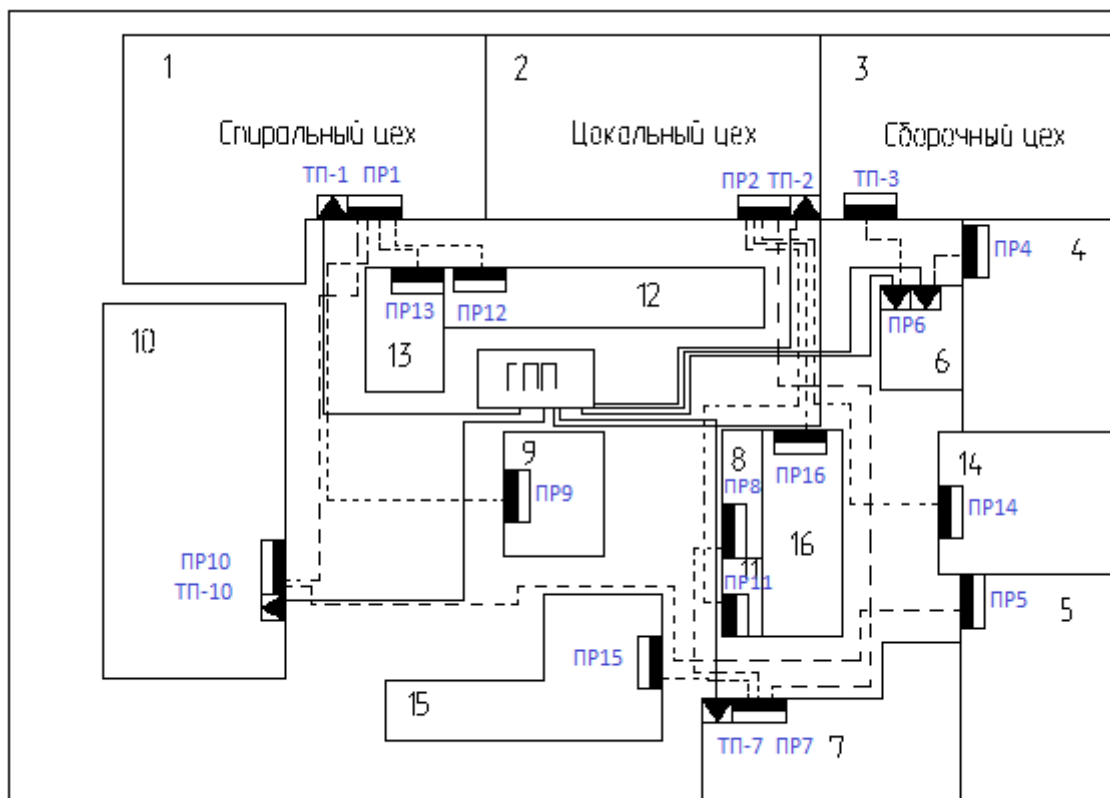


Рисунок 4 - Вариант расстановки трансформаторов

2.4.2 Расчет мощности компенсационных устройств в сети 0,4 кВ

Для снижения потерь в линиях и трансформаторах примем вариант компенсации реактивной мощности на напряжении 0,4 кВ непосредственно вблизи электроприемников. КБ присоединяем к сборным шинам НН КТП и РУ.

Реактивная мощность, которую возможно передавать через трансформаторы КТП в сеть напряжением до 1000 В при заданном коэффициенте загрузки, определяется соотношением

$$Q_{\max} = \sqrt{(n \cdot \beta \cdot S_{н.м})^2 - P_p^2}, \quad (4.2.1)$$

где n – число трансформаторов на ТП;

β – коэффициент загрузки трансформаторов в нормальном режиме;

$S_{н.м}$ – номинальная мощность трансформаторов, установленных на ТП;

P_p – расчетная активная нагрузка ТП на шинах 0,4 кВ.

Коэффициент загрузки трансформаторов по возможности принимаем близким к 0,6-0,7 так как при этом обеспечивается его максимальный КПД.

Для ТМ-630/10: ТП1

$$Q_{\max}^{630} = \sqrt{(1 \cdot 0,8 \cdot 630)^2 - (133,98 + 64,51 + 91,23 + 93,93)^2} = 326,84 \text{ кВар};$$

Для ТМ-1600/10: ТП6

$$Q_{\max}^{1600} = \sqrt{(2 \cdot 0,8 \cdot 1600)^2 - (296,22 + 302,60 + 1161,31)^2} = 493,811 \text{ кВар};$$

Выбираем мощность КУ близкую к расчетной реактивной мощности.

С условием, что: $Q_p - Q_{ку} \leq Q_{\max}$

Для ТМ-630/10: ТП1

$$Q_{БК,Н1} = Q_{расчН} - Q_{\max TP} = (124,62 + 66,65 + 95,08 + 83,43) - 326,84 = 42,94 \text{ кВар}$$

необходима компенсация.

Для ТМ-1600/10: ТП6

$$Q_{БК,Н1} = Q_{расчН} - Q_{\max TP} = (258,63 + 270,97 + 1186,71) - 1858,91 = -142 \text{ кВар}$$

компенсация не требуется.

Дополнительная суммарная мощность БК до 1000 В для данной группы трансформаторов:

Для ТМ-630/10: ТП1

$$Q_{БК,Н2}^{630} = Q_{Pн} - Q_{БК,Н1}^{630} - \gamma N_{тр} S_{номтр} = (124,62 + 45,69 + 18,31 + 95,08) - 42,94 - 0,57 \cdot 1 \cdot 630 = -118,3 \text{кВАр}$$

$Kp_1 = 15$ - для Сибири (общий для всех)

Kp_2 - зависит от длины линий и мощности трансформатора

$$Kp_2^{ТП1 630} = 7 (l > 0,5 \text{ м});$$

$$Kp_2^{ТП6 1600} = 7 (l > 0,5 \text{ м});$$

$$\gamma^{ТП1 630} = 0,57;$$

$$\gamma^{ТП6 1600} = 0,57.$$

Таблица 9 – Расстановка конденсаторных батарей в сети 0,4 кВ

№	Наименование потребителей	Po+Pp	Sp	Nтр-р	Qmax	Qp	Qбк	кр1,кр2	γ	Qбк,н2	Qбк,рез	Тип кУ	QкУ	Sф	Kз	Pp	cosφ
1	Спиральный цех	133,98	182,9825	1	326,8454	124,62	42,94	15/7	0,57	-118,342	42,94			532,85	0,85	383,65	0,72
2	Цокольный цех	228,73	331,1753	1	308,7007	239,50	54,96	15/7	0,57	-50,3993	54,96	УКМ 58-04-100-67У3	100	477,74	0,76	398,40	0,83
3	Сборочный цех	296,22	393,2313	0		258,63											
4	Стекольный цех (первый участок)	302,60	406,1881	от тп3		270,97											
5	Стекольный цех (первый участок)	201,54	270,3013	0		180,12											
6	Компрессорная	1161,31	1660,401	2	1858,909	1186,71	-142,60	15/7	0,57					2458,41	0,77	1760,13	0,72
7	Инструментальный цех	108,28	153,0597	1	313,3384	108,18	12,56	15/7	0,57	-45,7616	12,56			511,91	0,81	394,76	0,77
8	Котельная	60,26	75,61869	0		45,69											
9	Энергоцех	64,51	92,76203	0		66,65											
10	Административный корпус	182,92	227,9123	1	325,8993	135,96	-9,81	15/2	0,65					497,71	0,79	384,46	0,77
11	Клееварный цех	37,61	41,83187	0		18,31											
12	Газоочистительная станция	91,23	131,7692	0		95,08											
13	Очистные сооружения	93,93	125,6273	0		83,43											
14	Столярный цех	23,31	32,65882	0		22,87											
15	Электрокарная	226,23	284,2073	0		172,03											
16	Корпус нестандартного оборудования	108,74	136,7891	0		82,99											
	Итого по предприятию (нагрузка 0,38 кВ)	3321,39	4546,516	0		3091,75											

2.4.3 Определение мощности батарей конденсаторов в сетях выше 1 кВ.

Не скомпенсированная нагрузка сети до 1 кВ, питаемой через трансформаторы цехов:

$$Q_{тр.неск} = Q_{тр.мах} - Q_{БК,Н} + \Delta Q_{тр}; \quad (4.3.1)$$

где $\Delta Q_{тр}$ - суммарные реактивные потери в трансформаторе при его загрузке с учетом компенсации (таб. 5.4)

$$Q_{тр.неск1600ТП6} = 1716,31 - 0 + 145,477 = 1861 \text{ кВар};$$

$$Q_{тр.неск630ТП1} = 369,79 - 0 + 34,23 = 404,02 \text{ кВар};$$

Расчетная реактивная нагрузка в сетях 10 кВ промышленных предприятий:

$$Q_{вн.расч} = Q_{расч.вн} + Q_{тр.неск1600} + Q_{тр.неск630}; \quad (4.3.2)$$

$$Q_{вн.расч} = 0 + 404,02 + 161,72 + 1861,78 + 358,23 + 347,16 = 3132,92 \text{ кВар};$$

Суммарная расчетная реактивная мощность БК 10 кВ для всего предприятия определяется из условия баланса реактивной мощности:

$$Q_{БК.ВН} = Q_{вн.расч} - Q_c = 3132,92 - 818,95 = 2313,97; \quad (4.3.3)$$

где Q_c - реактивная мощность, передаваемая из сети энергосистемы в сеть предприятия:

$$Q_c = \alpha \cdot P_{p\Sigma} = 0,24 \cdot 3321,4 = 818,95; \quad (4.3.4)$$

где α - 0,24 для величины напряжения питающей линии 35 кВ.

Принимаем по (таб.5.9) к установке регулируемую конденсаторную установку типа УКЛ56-10,5-2250У3 с номинальной мощностью 2250кВар.

2.4.4 Расчет потерь мощности в трансформаторах

Потери мощности в трансформаторе разделяются на постоянные и переменные. К постоянным потерям относят потери холостого хода ΔP_{xx} и ΔQ_{xx} , а к переменным относят потери на нагрев обмоток и рассеяние магнитного потока $\Delta P_{кз}$ и $\Delta Q_{кз}$.

В общем виде потери полной мощности в трансформаторах $\Delta S_{тр}$, кВА можно записать как

$$\Delta S_{\text{тр}} = \sqrt{\Delta P_{\text{тр}}^2 + \Delta Q_{\text{тр}}^2}, \quad (4.4.1)$$

где $\Delta P_{\text{тр}}$ и $\Delta Q_{\text{тр}}$ – потери активной и реактивной мощности трансформатора соответственно.

Потери активной мощности при раздельно работающих n однотипных трансформаторах $\Delta P_{\text{тр}}$, кВт определяются как

$$\Delta P_{\text{тр}} = n \cdot \Delta P_{\text{хх}} + n \cdot \Delta P_{\text{кз}} \cdot \beta_{\text{тр}}^2, \quad (4.4.2)$$

где $\Delta P_{\text{хх}}$ – потери активной мощности на холостой ход, кВт, принимаем по справочным данным в зависимости от мощности для трансформатора ТМпо каталогу[4];

$\Delta P_{\text{кз}}$ – активные потери короткого замыкания, кВт принимаем по справочным данным в зависимости от мощности для трансформатора ТМпо каталогу[4].

Потери реактивной мощности при раздельно работающих n однотипных трансформаторах $\Delta Q_{\text{тр}}$, кВАр определяются как

$$\Delta Q_{\text{тр}} = n \cdot \Delta Q_{\text{хх}} + n \cdot \Delta Q_{\text{кз}} \cdot \beta_{\text{тр}}^2, \quad (4.4.3)$$

где $\Delta Q_{\text{хх}}$ – потери реактивной мощности на холостом ходу, кВАр

$$\Delta Q_{\text{хх}} = \frac{I_{\text{хх}} \cdot S_{\text{ном тр}}}{100}, \quad (4.4.4)$$

где $I_{\text{хх}}$ – ток холостого хода в % от номинального, принимаем по справочным данным в зависимости от мощности и марки трансформатора по каталогу [4];

$\Delta Q_{\text{кз}}$ – реактивные потери короткого замыкания, кВАр

$$\Delta Q_{\text{кз}} = \frac{U_{\text{кз}} \cdot S_{\text{ном тр}}}{100}, \quad (4.4.5)$$

где $U_{\text{кз}}$ – напряжение короткого замыкания в % от номинального, принимаем по справочным данным в зависимости от мощности и марки трансформатора по каталогу [4].

Расчет потерь для ТП-1, ТМЗ-630:

$$\Delta S_{\text{тр}} = \sqrt{\Delta P_{\text{тр}}^2 + \Delta Q_{\text{тр}}^2} = \sqrt{7,22^2 + 34,23^2} = 34,99, \text{ кВА};$$

$$\Delta P_{\text{тр}} = n \cdot \Delta P_{\text{xx}} + n \cdot \Delta P_{\text{кз}} \cdot \beta_{\text{тр н}}^2 = 1 \cdot 2 + 1 \cdot 7,3 \cdot 0,845^2 = 7,22 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_{\text{тр}} = n \cdot \Delta Q_{\text{xx}} + n \cdot \Delta Q_{\text{кз}} \cdot \beta_{\text{тр н}}^2 = 1 \cdot 9,45 + 34,65 \cdot 0,845^2 = 34,23 \text{ кВАр};$$

$$\Delta Q_{\text{xx}} = \frac{I_{\text{xx}} \cdot S_{\text{ном т}}}{100} = \frac{1,5\% \cdot 630}{100} = 9,45, \text{ кВАр};$$

$$\Delta Q_{\text{кз}} = \frac{U_{\text{кз}} \cdot S_{\text{ном т}}}{100} = \frac{5,5\% \cdot 630}{100} = 34,65 \text{ кВАр};$$

Для остальных ТП расчет ведется аналогично.

Сгруппируем цеха в зависимости от питающих трансформаторов и произведем расчет потерь. Полученные результаты сведем в таблицу 10.

Таблица 10 - Расчет потерь мощности трансформаторов

№	Наименование потребителей	Запитанные цеха	$S_{\text{ном тр, кВА}}$	$\beta_{\text{тр н}}$	$\Delta P_{\text{xx, кВт}}$	$\Delta P_{\text{кз, кВт}}$	$U_{\text{кз, \%}}$	$I_{\text{xx, \%}}$	$\Delta P_{\text{тр, кВт}}$	$\Delta Q_{\text{xx, кВАр}}$	$\Delta Q_{\text{кз, кВАр}}$	$\Delta Q_{\text{тр, кВАр}}$	$\Delta S_{\text{тр, кВА}}$
ТП1	Спиральный цех	13,12,9	1x630	0,84579 6	2	7,3	5,5	1,5	7,22220 1	9,45	34,65	34,2375 7	34,9910 2
ТП2	Цокольный цех	11,16,14	1x630	0,75832 2	2	7,3	5,5	1,5	6,19787 9	9,45	34,65	29,3755 5	30,0222 7
ТП6	Компрессорная	3,4	2x1600	0,76825 2	3,3	16,5	5,5	1,3	26,0769 7	20,8	88	145,477 2	147,795 9
ТП7	Инструментальный цех	8,15	1x630	0,81255	2	7,3	5,5	1,5	6,81973	9,45	34,65	32,3272 1	33,0387 2
ТП10	Административный корпус	5	1x630	0,79001 8	2	7,3	5,5	1,5	6,55613 6	9,45	34,65	31,0760 4	31,7600 9

2.5 Электроснабжение ГПП

2.5.1 Расчет ГПП

Электроснабжение электролампового осуществляется от подстанции энергосистемы по двум ВЛЭП напряжением 35 кВ. При наличии одного источника питания в целях резервирования принимается схема внешнего электроснабжения по двум радиальным линиям (ГПП с двумя трансформаторами связи).

Так как трансформаторы ГПП еще не выбраны, то потери мощности в них определяем следующим образом:

$$\Delta P_{тр.ГПП} = 0,02 \cdot S_{p\Sigma} = 0,02 \cdot 4546,5 = 90,9 \text{ кВт}, \quad (5.1.1)$$

$$\Delta Q_{тр.ГПП} = 0,1 \cdot S_{p\Sigma} = 0,1 \cdot 4546,5 = 454,65 \text{ кВар}, \quad (5.1.2)$$

где $\Delta P_{тр.ГПП}$ - потери активной энергии в трансформаторах ГПП, кВт;

$\Delta Q_{тр.ГПП}$ - потери реактивной энергии в трансформаторах ГПП, кВар;

Полная расчётная мощность предприятия со стороны высшего напряжения трансформаторов ГПП определяется:

$$P_{Р.ГПП}^{BH} = P_{Р.ГПП}^{HH} + \Delta P_T^{ГПП}, \quad (5.1.3)$$

$$P_{Р.ГПП}^{HH} = (\sum P_P^{HH} + \sum P_P^{BH}) \cdot K_{P.M} + \sum \Delta P_T + \sum \Delta P_L + P_{УЛ.ОСВ} \quad (5.1.4)$$

$$P_{Р.ГПП}^{HH} = (3321,38) \cdot 0,9 + 454,9 + 136,39 = 3580,5 \text{ кВт}$$

$$\sum \Delta P_L = 0,03 \cdot S_P^{HH}, \quad (5.1.5)$$

$$\sum \Delta P_L = 0,03 \cdot (4546,5) = 136,39 \text{ кВт}$$

$$Q_{Р.ГПП}^{HH} = (\sum Q_P^{HH} + \sum Q_P^{BH}) \cdot K_{P.M} + \sum \Delta Q_T + Q_{УЛ.ОСВ}, \quad (5.1.6)$$

$$Q_{Р.ГПП}^{HH} = 3091,7 \cdot 0,9 + 454,65 = 3237,2 \text{ кВар}$$

$$S_{Р.ГПП}^{HH} = \sqrt{(P_{Р.ГПП}^{HH})^2 + (Q_{Р.ГПП}^{HH})^2}, \quad (5.1.7)$$

$$S_{Р.ГПП}^{HH} = \sqrt{3580,5^2 + 3237,2^2} = 4826,9 \text{ кВА}$$

$$\Delta P_T^{ГПП} = 0,02 \cdot S_{Р.ГПП}^{HH}, \quad (5.1.8)$$

$$\Delta P_T^{ГПП} = 0,02 \cdot 4826,9 = 96,54 \text{ кВт}$$

$$P_{P,ГПП}^{BH} = 3580 + 96,5 = 3677,1 \text{ кВт}$$

$$S_{P,ГПП} = \sqrt{\left(P_{P,ГПП}^{BH} + \Delta P_{mp,ГПП}\right)^2 + \left(Q_{p\Sigma} + \Delta Q_{mp,ГПП} - Q_{ky}\right)^2}, \quad (5.1.9)$$

где Q_{ky} – мощность компенсирующих устройств по факту, кВАр.

Полную расчётную мощность предприятия со стороны высшего напряжения трансформаторов ГПП определяем как:

$$S_{P,ГПП} = \sqrt{(3677 + 96,5)^2 + (3097 + 454,65 - 2250)^2} = 3990 \text{ кВА}.$$

2.5.2 Выбор рационального напряжения внешнего электроснабжения предприятия

Выбор напряжения питающих и распределительных сетей зависит от мощности, потребляемой предприятием, его удаленности от источника питания, напряжения источника питания, количества и единичной мощности ЭП.

Экономически целесообразное напряжение питающей линии ГПП можно оценить по формуле Илларионова:

$$U = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{L} + \frac{2500}{P}}} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{8} + \frac{2500}{3.4}}} = 35,5 \text{ кВ}, \quad (5.2.1)$$

где L – расстояние от источника питания, км;

P – передаваемая мощность, равная расчетной нагрузке предприятия, МВт. Принимаем напряжение питающей линии ГПП $U=35$ кВ.

2.5.3 Выбор мощности трансформаторов ГПП

Мощность трансформаторов ГПП определяется активной нагрузкой и реактивной мощностью, передаваемой от энергосистемы.

Мощность трансформаторов на ГПП определяется по формуле:

$$S_{н.тр} = \frac{S_{p,ГПП}}{2 \cdot \beta_T}, \quad (5.3.1)$$

где $S_{p,ГПП}$ – полная расчетная мощность предприятия со стороны высшего напряжения трансформаторов ГПП; β_T – коэффициент загрузки трансформаторов ГПП; 2 – число трансформаторов на ГПП.

Рассчитаем мощность трансформаторов ГПП:

$$S_{н.тр} = \frac{3990}{2 \cdot 0,7} = 2850 \text{ кВА},$$

Принимаем трансформаторы ТМН-4000/35.

Проверим на обеспечение требуемой мощности предприятия с учетом возможной допустимой перегрузки трансформатора:

$$S_{p,ГПП} < 1,4 \cdot S_{н.тр}, \quad (5.3.2)$$

$$3990 \text{ кВА} < 1,4 \cdot 4000 = 5600 \text{ кВА},$$

Условие проверки выполняется.

Сведем каталожные данные выбранного трансформатора в таблицу 11.

Таблица 11- Каталожные данные трансформатора ТМН-4000/35

Мощность трансформатора, МВА	Потери, кВт		Ток холостого хода, $I_{хх}\%$	Напряжение к.з., $U_{кз}\%$	$R_{тр} \text{ Ом}$	$X_{тр} \text{ Ом}$	$\Delta Q_{хх}$, кВАр
	$\Delta P_{хх}$, кВт	$\Delta P_{кз}$, кВт					
4	6,7	33,5	1	7,5	2,6	23	40

2.5.4 Выбор сечения линии, питающей ГПП

По условиям задания питание трансформаторов ГПП осуществляется посредством двухцепной воздушной линии, проводами АС. Выбор сечения производим по экономической плотности тока при учете что для неизолированных алюминиевых проводников при числе часов максимума нагрузки в год $T_{max} = 3000 - 5000$ $j_H = 1,1$.

Расчетный ток на одну воздушную линию ГПП I_p , А:

$$I_p = \frac{S_{p,ГПП}}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_{НОМ}}, \quad (5.4.1)$$

$$I_p = \frac{3990}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 35} = 32,9 \text{ А},$$

$$F_{\text{эк}} = \frac{32,9}{1,1} = 29,9 \text{ принимаем ближайшее } 35 \text{ мм}^2.$$

По справочнику [1, Таблица П11.1] принимаем ближайшее сечение провода марки АС 35 с допустимым длительным током вне помещений $I_{\text{доп}} = 170 \text{ А}$.

Определим ток, протекающий по линии в послеаварийном режиме $I_{\text{р п.ав}}$, А

$$I_{\text{р п.ав}} = \frac{S_{\text{рГПП}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}}, \quad (5.4.2)$$

$$I_{\text{р п.ав}} = \frac{3990}{\sqrt{3} \cdot 35} = 65,8 \text{ А}.$$

Проверим выбранное сечение провода по допустимому нагреву в нормальном и послеаварийном режиме

$$I_p \leq I_{\text{доп}}, \quad (5.4.3)$$

$$32,9 \text{ А} \leq 170 \text{ А},$$

$$I_{\text{р п.ав}} \leq 1,3 I_{\text{доп}}, \quad (5.4.4)$$

$$65,8 \text{ А} \leq 221 \text{ А}.$$

Условия выполняются.

По условиям механической прочности на воздушных линиях напряжением более 1000В могут применяться сталеалюминевые провода сечением не менее 25 мм² – требование выполняется $F_{\text{прин}} = 35 \text{ мм}^2 > F_{\text{мин}} = 25 \text{ мм}^2$.

По допустимой потере напряжения линия проверяется следующим образом:

$$L_{\text{доп}} = L_{\Delta U 1\%} \cdot \Delta U_{\text{доп}\%} \cdot k_3 \geq L, \quad (5.4.5)$$

где $L_{\text{доп}}$ – допустимая длина линии, км;

$L_{\Delta U 1\%}$ - длина линии при полной загрузке на 1 % потери напряжения, км, для АС 35 по [1, таблица П. 5.1] $L_{\Delta U 1\%} = 1,34$ км;

$\Delta U_{\text{доп}\%}$ - допустимая величина потери напряжения, принимаем $\Delta U_{\text{доп}\%} = 5\%$;

k_3 – коэффициент загрузки линии, принимаем $k_3 = I_{\text{доп}}/I_p = 170/32,9 = 5,2$;

L – фактическая длина линии, принимаем $L = 8$ км.

$$L_{\text{доп}} = 1,34 \cdot 8 \cdot 5,2 = 55,74 \geq 8 \text{ км.}$$

В аварийном режиме:

$$L_{\text{доп}} = 1,34 \cdot 8 \cdot 221/65,8 = 36 \geq 8 \text{ км.}$$

По условиям коронирования линии напряжением до 110 кВ не подлежат проверке. Так как все условия выполняются принимаем двухцепную линию, выполненную проводом марки АС35/7 к установке.

2.5.5 Схема внутризаводской распределительной сети 10 кВ

Распределительная сеть 10 кВ по территории электролампового завода по производству безалкогольных напитков выполняется трехжильными кабелями с алюминиевыми жилами и изоляцией из сшитого полиэтилена с прокладкой в кабельных каналах.

Выбор сечений кабелей производим по экономической плотности тока. Выбранные сечения проверяем по допустимой нагрузке из условий нагрева в нормальном режиме и с учетом допустимой перегрузки в аварийном режиме. Полученное сечение округляем до ближайшего стандартного сечения.

Расчётным током линии для питания цеховых трансформаторов является их номинальный ток, независимо от фактической загрузки.

Сечения кабельных линий выбираются по экономической плотности тока. Экономически целесообразное сечение F , мм², определяется из выражения:

$$F_{\text{эк}} = \frac{I_p}{j_{\text{эк}}}, \quad (5.5.1)$$

где I_p – расчетный ток установки, А;

$j_{\text{эк}}$ – нормированное значение экономической плотности тока, А/мм², принимается по справочным данным. $j_{\text{эк}}=1.7$ А/мм², $T_m=3000-5000$ ч/год

Выбранное сечение проверяется по допустимой нагрузке из условий нагрева в нормальном режиме и с учётом допустимой перегрузки в послеаварийном режиме.

КЛ от ГПП до ТП-1

Расчетный ток линии:

$$I_p = \frac{n_{\text{тр}} \cdot S_{\text{ном т}} + n_{\text{тр}} \cdot \Delta S_{\text{тр}}}{n_{\text{лин}} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}}, \quad (5.5.2)$$

где $n_{\text{тр}}$ – число трансформаторов, питающихся по кабелю в нормальном режиме;

$n_{\text{лин}}$ – число питающих линий, в нормальном режиме соответствует $n_{\text{тр}}$.

$$I_p = \frac{1 \cdot 630 + 1 \cdot 34,99}{1 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 38,393(\text{А});$$

Экономическое сечение:

$$F_{\text{эк}} = \frac{38,393}{1.7} = 22,58 \text{ мм}^2$$

Ближайшее стандартное значение: $S = 25 \text{ мм}^2$, $I_{\text{доп}} = 75 \text{ А}$

Длительно допустимый ток кабеля $I_{\text{доп}}$, соответствующий выбранному сечению, должен обеспечить по тепловому нагреву прохождение тока I_p .

$$I_{\text{доп}} \cdot K_{\text{п1}} \cdot K_{\text{п2}} = I'_{\text{доп}} \geq I_p. \quad (5.5.3)$$

$$1 \cdot 1 \cdot 173 = 75 \geq 38,393$$

Сечение жил линий, которые могут работать в послеаварийных режимах с перегрузкой, не проверяем, т.к. линия одна

После расчета токов выше 1 кВ сечение жил проверяем на термическую стойкость при КЗ. Минимально допустимое сечение проводника по данному условию определяется:

$$F_{min} = \frac{\sqrt{B_k}}{C_T}, \text{ мм}^2 \quad (5.5.4)$$

где C_T – коэффициент, зависящий от допустимой температуры при КЗ и материала проводника. Принимаем для кабелей до 10 кВ алюминиевыми жилами $C_T = 90 \text{ А} \cdot \text{с}^{1/2} / \text{мм}^2$. B_k – тепловой импульс тока КЗ, $\text{А}^2 \cdot \text{с}$.

$$B_k = I_{по}^2 (\tau + T_a), \quad (5.5.5)$$

где $I_{по}$ – начальное действующее значение периодической составляющей тока КЗ; τ – расчетное время отключения выключателя.

Для маломасляного выключателя $\tau = t_{р.з.мин} + t_{с.в.откл} = 0,1 \text{ с}$.

где $t_{р.з.мин}$ – минимальное время срабатывания первой ступени защиты, принимаемо равным $0,01 \text{ с}$ для первой ступени защиты.

$t_{с.в.откл} = 0,025 \text{ с}$ – для вакуумного выключателя на 10 кВ ВВ/ТЕL;

T_a – постоянная затухания апериодической составляющей тока КЗ, с определяется как:

$$T_a = \frac{x_{\Sigma}}{\omega \cdot r_{\Sigma}}, \text{ с} \quad (5.5.6)$$

где x_{Σ} , r_{Σ} – результирующие индуктивное и активное сопротивления схемы относительно точки КЗ; ω – угловая частота; $\omega = 2\pi \cdot f = 314 \text{ рад/с}$.

Проверка сечения на термическую стойкость при КЗ производится в начале линии. Поэтому для расчета принимаем точку К1.

$$T_a = \frac{x_{\Sigma 1*}}{\omega \cdot r_{\Sigma 1*}} = \frac{0,068}{314 \cdot 0,174} = 0,0012 \text{ с};$$

Определяем тепловой импульс тока

$$B_k = I_{к,к1}^2 (\tau + T_a) = (4,326 \cdot 10^3)^2 \cdot (0,1 + 0,0012) = 9,12 \cdot 10^6 \text{ А}^2 \cdot \text{с},$$

Минимальное сечение жилы кабеля:

$$F_{min} = \frac{\sqrt{9,12 \cdot 10^6}}{90} = 33,56 \text{ мм}^2$$

Принятое сечение линии проходит по нагреву токами КЗ.

Проверяем сечение линии по потерям напряжения по формуле:

$$\Delta U_{кл} = \frac{P \cdot r_0 \cdot l + Q \cdot x_0 \cdot l}{10 \cdot U_n^2}; \quad (5.5.7)$$

где l – длина линии.

Участок ГПП-ТП1

$$\Delta U_{кл} = \frac{383,65 \cdot 1,25 \cdot 0,07 + 369 \cdot 0,06 \cdot 0,07}{10 \cdot 10^2} = 0,035\%$$

Для остальных кабельных линий расчет производится аналогично. Результаты сводим в таблицу 12.

Таблица 12 – Выбор кабельных линий распределительной сети 10 кВ

№	Участок линии	$n_{тр}$	Марка кабеля	I_p	$I_{ра}$	$F_{эк}$	$\Delta U_{кл}$
КЛ-1	ГПП-ТП1	1	АПВП(3х50)	38,39327		22,58428	0,035123
КЛ-2	ГПП-ТП2	1	АПВП(3х50)	38,1064		22,41553	0,038986
КЛ-6	ГПП-ТП6	2	АПВП(3х50)	44,90606	89,81213	26,41533	0,12574
КЛ-7	ГПП-ТП7	1	АПВП(3х50)	38,28056		22,51798	0,03591
КЛ-10	ГПП-ТП10	1	АПВП(3х50)	38,20674		22,47455	0,034967

2.5.6 Расчет токов короткого замыкания в сети выше 1 кВ

Короткие замыкания в электрических системах возникают при нарушении изоляции токоведущих элементов электрических устройств, в результате ее естественного старения (износа), своевременно не выявленного путем профилактических испытаний или каких-либо повреждений в эксплуатации.

Возможны повреждения изоляции при перенапряжениях, например, при прямых ударах молнии в провода воздушных линий или распределительные устройства.

Вычисление токов короткого замыкания необходимо для:

1. выбора электрооборудования;
2. выбора средств ограничения токов короткого замыкания;
3. проектирования релейной защиты.

Расчет токов КЗ ведем в относительных единицах. Для этого все расчетные данные приводят к базисному напряжению и базисной мощности.

Для расчета токов КЗ составляется расчетная схема – упрощенная однолинейная схема электроустановки, в которой учитываются все источники питания, трансформаторы, воздушные и кабельные линии.

По расчетной схеме составляется схема замещения, в которой указываются сопротивления всех элементов и намечаются точки для расчета токов КЗ.

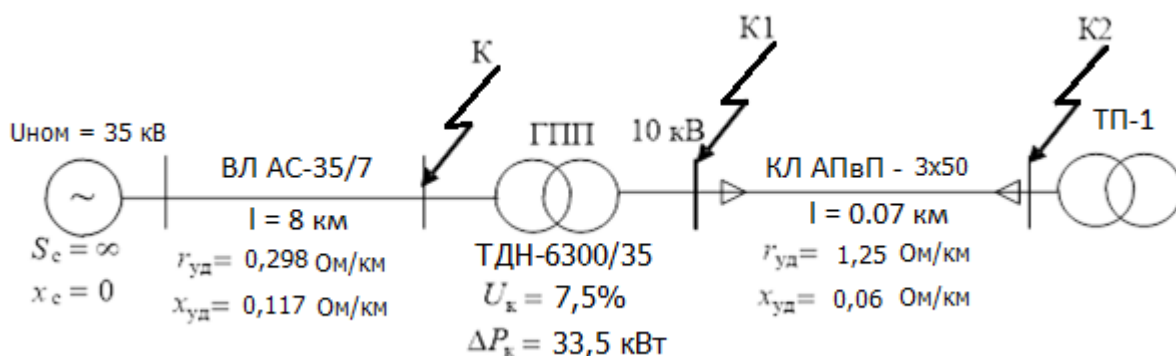


Рисунок 5– Расчетная схема

Принимаем базисную мощность $S_б = 100$ МВА и среднее напряжение ступени с точками КЗ $U_б = U_{ср} = 37$ кВ; $U_{б1} = U_{ср1} = 10,5$ кВ; Определяем базисные токи:

$$I_б = \frac{S_б}{\sqrt{3} \cdot U_б} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 37} = 1,56 \text{ кА.} \quad (5.6.1)$$

$$I_{б1} = \frac{S_б}{\sqrt{3} \cdot U_{б1}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 5,499 \text{ кА.}$$

Составляем схему замещения

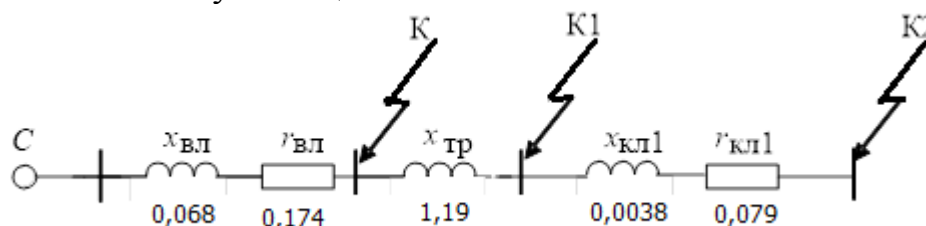


Рисунок 6 – Схема замещения

Определяем сопротивления элементов схемы замещения в базисных единицах.

Воздушная линия:

$$x_{вл*} = x_{уд} \cdot l \cdot \frac{S_6}{U_6^2} = 0,117 \cdot 8 \cdot \frac{100}{37^2} = 0,068 \text{ о. е.}; \quad (5.6.2)$$

$$r_{вл*} = r_{уд} \cdot l \cdot \frac{S_6}{U_6^2} = 0,298 \cdot 8 \cdot \frac{100}{37^2} = 0,174 \text{ о. е.}; \quad (5.6.3)$$

Трансформатор ГПП:

$$x_{трГПП*} = \frac{U_k}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{н.тр}} = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{100}{25} = 0,42 \text{ о. е.}; \quad (5.6.4)$$

Кабельные линии:

$$x_{кл*} = x_{уд} \cdot l \cdot \frac{S_6}{U_6^2} = 0,06 \cdot 0,07 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,0038 \text{ о. е.}; \quad (5.6.5)$$

$$r_{кл*} = r_{уд} \cdot l \cdot \frac{S_6}{U_6^2} = 1,25 \cdot 0,07 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,0794 \text{ о. е.}; \quad (5.6.6)$$

Суммарное сопротивление до точки К:

$$x_{\Sigma*} = x_{вл*} = 0,068 \text{ о. е.} \quad (5.6.7)$$

$$r_{\Sigma*} = r_{вл*} = 0,174 \text{ о. е.} \quad (5.6.8)$$

Суммарное сопротивление до точки К1:

$$x_{\Sigma 1*} = x_{вл*} + x_{трГПП*} = 0,068 + 1,19 = 1,258 \text{ о. е.} \quad (5.6.9)$$

$$r_{\Sigma 1*} = r_{вл*} = 0,174 \text{ о. е.} \quad (5.6.10)$$

Суммарное сопротивление до точки К2:

$$x_{\Sigma 2*} = x_{вл*} + x_{трГПП*} + x_{кл*} = 0,068 + 1,19 + 0,0038 = 1,2618 \text{ о. е.} \quad (5.6.11)$$

$$r_{\Sigma 2*} = r_{вл*} + r_{кл*} = 0,174 + 0,0794 = 0,2534 \text{ о. е.} \quad (5.6.12)$$

Ток КЗ в рассматриваемых точках составит:

$$I_{к,к} = \frac{I_6}{Z_{\Sigma*}} = \frac{I_6}{\sqrt{x_{\Sigma*}^2 + r_{\Sigma*}^2}} = \frac{1,56}{\sqrt{0,068^2 + 0,174^2}} = 8,34 \text{ кА} \quad (5.6.13)$$

$$I_{к,к1} = \frac{I_6}{Z_{\Sigma 1*}} = \frac{I_6}{\sqrt{x_{\Sigma 1*}^2 + r_{\Sigma 1*}^2}} = \frac{5,499}{\sqrt{1,258^2 + 0,174^2}} = 4,33 \text{ кА}; \quad (5.6.14)$$

$$I_{к,к2} = \frac{I_6}{Z_{\Sigma 2*}} = \frac{I_6}{\sqrt{x_{\Sigma 2*}^2 + r_{\Sigma 2*}^2}} = \frac{5,499}{\sqrt{1,2618^2 + 0,2534^2}} = 4,27 \text{ кА}; \quad (5.6.15)$$

Определяем ударный ток в точках К1 и К2. Находим ударный коэффициент по кривой, в зависимости от соотношения $\frac{x_{\Sigma}}{r_{\Sigma}}$.

Для точки К

$$\frac{x_{\Sigma*}}{r_{\Sigma*}} = \frac{0,068}{0,174} = 0,391; \quad k_y = 0,3; \quad (5.6.16)$$

Для точки К1

$$\frac{x_{\Sigma 1^*}}{r_{\Sigma 1^*}} = \frac{1,258}{0,174} = 7,229; \quad k_{y1} = 1,4; \quad (5.6.17)$$

Для точки К2

$$\frac{x_{\Sigma 2^*}}{r_{\Sigma 2^*}} = \frac{1,2618}{0,2534} = 4,979; \quad k_{y1} = 1,2; \quad (5.6.18)$$

Ударный ток составит:

$$i_y = k_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{к,К} = 0,3 \cdot \sqrt{2} \cdot 8,34 = 3,53 \text{ кА}; \quad (5.6.19)$$

$$i_{y1} = k_{y1} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{к,К1} = 1,4 \cdot \sqrt{2} \cdot 4,33 = 14,314 \text{ кА}; \quad (5.6.20)$$

$$i_{y2} = k_{y2} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{к,К2} = 1,2 \cdot \sqrt{2} \cdot 4,27 = 7,2 \text{ кА}; \quad (5.6.21)$$

По токам короткого замыкания К1 проверяем высоковольтные линии, идущие до ТП цехов.

Сведем расчет токов короткого замыкания в таблицу 13.

Таблица 13 - Расчет токов короткого замыкания в точке К2

№	X(вл/кл)	R(вл/кл)	ZсуммК2	I _{к.К2}	x/r	K _{уд к2}	I _{уд к2}
ГПП	0,068565863	0,174142	0,187154				
КЛ-1	0,003809524	0,079365	1,288045	4,26893	4,98153	1,2	7,244615
КЛ-2	0,004081633	0,085034	1,289439	4,264314	4,873619	1,2	7,236781
КЛ-6	0,004081633	0,060816	1,284791	4,279744	5,375954	1,25	7,565589
КЛ-7	0,003809524	0,079365	1,288045	4,26893	4,98153	1,2	7,244615
КЛ-10	0,003809524	0,079365	1,288045	4,26893	4,98153	1,2	7,244615

2.5.7 Выбор сечений линий питающей сети цеха

Выбор сечений проводников питающей сети цеха будем производить из условий допустимой нагрузки и допустимой потери напряжения.

Выбор сечения проводника по условию допустимого нагрева при длительном протекании расчетного тока нагрузки I_m определяется из условия:

$$I_{дон} \geq \frac{I_p}{k_{прокл}}; \quad (5.7.1)$$

Кроме того, сечение проводника должно быть согласовано с аппаратом защиты этого проводника по условию

$$I_{дон} \geq \frac{k_3 \cdot I_3}{k_{прокл}}; \quad (5.7.2)$$

где $k_{\text{прокл}}$ - поправочный коэффициент на условия прокладки проводов и кабелей;

k_3 - коэффициент защиты или кратность защиты;

I_3 - номинальный ток или ток уставки срабатывания защитного аппарата, А.

Проверка выбранного сечения проводника допустимой потери напряжения выполняется из условия

$$\Delta U_{p\%} = \frac{P \cdot r_0 \cdot l + Q \cdot x_0 \cdot l}{10 \cdot U_H^2}; \quad (5.7.3)$$

Пример расчетов для линии ТП10 – ЦЕХ1:

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{I_p}{k_{\text{прокл}}} = \frac{606,52}{1} = 606,52 \text{ A},$$

где $k_{\text{прокл}} = 1$ при способе прокладки кабеля – в каналах.

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{k_3 \cdot I_3}{k_{\text{прокл}}} = \frac{1 \cdot 630}{1} = 630 \text{ A},$$

где $I_3 = I_{\text{ном.расц}} = 630 \text{ A}$, $k_3 = 1$ [7, табл. 8.7].

По табл. 2.10 [11] выбираем сечение кабеля, удовлетворяющее обоим условиям. Принимаем кабель марки АПвП- 2 (3х150): $I_{\text{доп}} = 330 \cdot 2 = 660 \text{ A}$.

Проверяем выбранное сечение по условиям допустимой потери напряжения:

$$\Delta U_{p\%} = \frac{P \cdot r_0 \cdot l + Q \cdot x_0 \cdot l}{10 \cdot U_H^2} = \frac{(325,64 \cdot 0,22 / 2 \cdot 0,07 + 161,56 \cdot 0,06 / 2 \cdot 0,07)}{10 \cdot 0,4^2} =$$

$$= 1,52\%$$

Результаты представлены в таблице 14.

Таблица 14 - Выбор аппаратов для распределительных пунктов сети 0,4 кВ

№	Участок линии	Нлин	Рр	Ір	Ір.а	Количество кабелей в линии	ідоп	1,3*ідоп	F сечение	длина линии l, Км
КЛ-9	ТП1-ЦЕХ9	1	64,51	98,13356			125		АПвП(3x25)	0,07
КЛ-12	ТП1-ЦЕХ12	1	91,23	138,7671			180		АПвП(3x50)	0,02
КЛ-13	ТП1-ЦЕХ13	1	93,93	142,8772			145		АПвП(3x35)	0,01
КЛ-2	ТП1-ЦЕХ2	1	228,73	347,9322			380		АПвП(3x185)	0,055
КЛ-11	ТП2-ЦЕХ11	1	37,61	57,21631			75		АПвП(3x10)	0,08
КЛ-14	ТП2-ЦЕХ14	1	23,31	35,45939			42		АПвП(3x4)	0,08
КЛ-16	ТП2-ЦЕХ16	1	108,74	165,4107			180		АПвП(3x50)	0,03
КЛ-3	ТП6-ЦЕХ3	2	296,22	225,293	450,5859	2	180	468	АПвП 2 (3x50)	0,01
КЛ-4	ТП6-ЦЕХ4	1	302,60	460,2969		2	260		АПвП 2 (3x95)	0,01
КЛ-8	ТП7-ЦЕХ8	1	60,26	91,65881			125		АПвП(3x25)	0,03
КЛ-15	ТП7-ЦЕХ15	1	226,23	344,1215			380		АПвП(3x185)	0,02
КЛ-10	ТП7-ЦЕХ10	1	182,92	278,2416			300		АПвП(3x120)	0,08
КЛ-11(2)	ТП7-ЦЕХ11	1	37,61	57,21631			75		АПвП(3x10)	0,01
КЛ-5	ТП10-ЦЕХ5	1	201,54	306,5698			335		АПвП(3x150)	0,11
КЛ8(2)	ТП10-ЦЕХ8	1	60,26	91,65881			125		АПвП(3x25)	0,07
КЛ-1	ТП10-ЦЕХ1	1	398,73	606,5182		2	335		АПвП 2 (3x150)	0,06

2.5.8 Проверка линий и выбор защитных аппаратов, высоковольтных трансформаторов тока и напряжения

Выбранные сети напряжением выше 1 кВ необходимо проверить на термическую стойкость к токам короткого замыкания. Для выбранного сечения кабеля 10 кВ необходимо определить минимальное сечение $F_{\text{мин}}$, мм²

$$F_{\text{мин}} = \frac{\sqrt{B_{\text{к}}}}{C_{\text{т}}}, \quad (5.8.1)$$

где $C_{\text{т}}$ – коэффициент для материала токопроводящей жилы, Ас^{1/2},

принимается по [1, таблица 6.2] для кабеля 10 кВ с алюминиевыми жилами

$$C_{\text{т}} = 90 \text{ Ас}^{1/2};$$

$B_{\text{к}}$ – тепловой импульс тока КЗ,

$$B_{\text{к}} = I_{\text{по}}^2 \cdot (\tau + T_{\text{а}}), \quad (5.8.2)$$

где $I_{\text{по}}$ – начальное значение периодической составляющей тока КЗ, А

принимается значение, равное величине трехфазного КЗ в начале линии;

τ – расчетное время отключения выключателя, с,

$\tau = t_{\text{р.з}} + t_{\text{с.в.откл}}$, для вакуумного выключателя на первой ступени от нагрузки $\tau = 0,01 \text{ с} + 0,0025 \text{ с} = 0,0035 \text{ с}$.

$T_{\text{а}}$ – постоянная затухания аperiodической составляющей тока КЗ, с,

для соотношения $x/r = 6,62$ для точки К2 по [1, рисунок 7.1] $T_{\text{а}} = 0,021 \text{ с}$.

$$B_{\text{кК2}} = 4980^2 \cdot (0,0035 + 0,021) = 2,12 \cdot 10^6 \text{ А}^2 \cdot \text{с},$$

$$F_{\text{мин}} = \frac{\sqrt{2,12 \cdot 10^6}}{65} = 22,4 \text{ мм}^2.$$

Так как минимальное выбранное сечения кабеля $F_{\text{мин кл 10}} = 25 \text{ мм}^2 \geq F_{\text{мин}} = 22,4 \text{ мм}^2$ все кабели проходят проверку на термическое действие тока короткого замыкания и принимаются к прокладке.

Выбор высоковольтных выключателей

Выбор осуществляется по нескольким критериям:

- По напряжению электроустановки

$$U_{\text{н.в}} \geq U_{\text{ном}}, \quad (5.8.3)$$

где $U_{\text{н.в}}$ – номинальное напряжение выключателя.

- По длительному току

$$I_{\text{раб.мах}} \leq I_{\text{н.в}}, \quad (5.8.4)$$

где $I_{\text{н.в}}$ – номинальный ток выключателя; А

$I_{\text{раб.мах}}$ – рабочий максимальный ток, А

Принимаем для установки выключателя после трансформатора и секционного выключателя как значение тока в послеаварийном режиме при отключении одного трансформатора ГПП $I_{\text{раб.мах}} = I_{\text{р п.ав 10}}$

$$I_{\text{р п.ав 10}} = \frac{2 \cdot S_{\text{трГПП}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}}, \quad (5.8.5)$$

$$I_{\text{р п.ав 10}} = \frac{2 \cdot 4000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 461,88 \text{ А.}$$

- По действующему значению тока

$$I_{\text{по}} \leq I_{\text{пр.с}}, \quad (5.8.6)$$

где $I_{\text{по}}$ – периодическая составляющая тока короткого замыкания в начале линии, кА;

$I_{\text{пр.с}}$ – действующее значение предельного сквозного тока для выключателя (номинальный ток отключения), кА.

- По амплитудному значению тока

$$i_{\text{уд}} \leq i_{\text{пр.с}}, \quad (5.8.7)$$

где $i_{\text{пр.с}}$ – амплитудное значение предельного сквозного тока, кА.

- По отключающей способности

$$I_{\text{по}} \leq I_{\text{откл.ном}}, \quad (5.8.8)$$

где $I_{\text{откл.ном}}$ – номинальный ток отключения выключателя, кА

- На термическую стойкость выключатель проверяют по условию

$$B_{\text{к}} \leq I_{\text{т}}^2 t_{\text{т}}, \quad (5.8.9)$$

где $I_{\text{т}}$ – ток термической стойкости выключателя, кА;

$t_{\text{т}}$ – время термической стойкости выключателя, с.

Сведем выбор высоковольтных выключателей в таблицу 15. Выбор выключателей осуществлялся по [9].

Выключатели на 35 кВ выбираем по тем же условиям:

Выбираем вакуумный выключатель по каталогу [10] ВВ/TEL-35-9,5/400

УХЛ1 со следующими параметрами:

$$U_{н.в} = 35\text{кВ} \geq U_{ном} = 35\text{ кВ},$$

$$I_{\text{раб.мах}} = \frac{2 \cdot 4000}{\sqrt{3} \cdot 35} = 131,96\text{ А} \leq I_{н.в} = 400\text{А},$$

$$I_{\text{по К1}} = 7,22\text{ кА} \leq I_{\text{пр.с}} = 9,5\text{ кА},$$

$$i_{\text{уд К1}} = 14,32\text{ кА} \leq i_{\text{пр.с}} = 26,5\text{ кА},$$

$$I_{\text{по К1}} = 7,22\text{ кА} \leq I_{\text{откл.ном}} = 9,5\text{ кА},$$

$$B_{\text{к К1}} = 4980 \cdot (0,06 + 0,002)\text{А}^2 \cdot \text{с} \leq I_{\text{Т}}^2 t_{\text{Т}} = 9500^2 \cdot 3\text{ А}^2 \cdot \text{с}.$$

Таблица 15 - Выбор выключателей 10 кВ

Место установки	Наименование выключателя	$I_{\text{раб.мах}}, \text{А}$	$i_{\text{уд}}, \text{кА}$	$B_{\text{к}} \cdot 10^6, \text{А}^2 \cdot \text{с}$	$I_{\text{н.в}}, \text{А}$	$i_{\text{пр.с}}, \text{кА}$	$I_{\text{откл.ном}}, \text{кА}$	$I_{\text{т}}^2 t_{\text{т}} \cdot 10^6, \text{А}^2 \cdot \text{с}$
На ТП1	ВВ/TEL-10-9,5/400 У2	38,393	7,24	2,16	400,00	26,5	9,5	9500
На ТП2	ВВ/TEL-10-9,5/400 У2	38,106	7,23	2,10	400,00	26,5	9,5	9500
На ТП6	ВВ/TEL-10-12,5/630 У2	44,906	7,56	2,12	630,00	32	12,5	12500
На ТП7	ВВ/TEL-10-9,5/400 У2	38,280	7,24	2,12	400,00	26,5	9,5	9500
На ТП10	ВВ/TEL-10-9,5/400 У2	38,207	7,24	2,11	400,00	26,5	9,5	9500

Таблица 16– Расстановка трансформаторов тока

Отвод	$I_{\text{раб.мах}}, \text{А}$	$i_{\text{уд}}, \text{кА}$	$B_{\text{к}} \cdot 10^6, \text{А}^2 \cdot \text{с}$	Марка	$I_{1\text{ном}}, \text{А}$	Класс точности	$S_{2\text{доп}}, \text{ВА}$	$Z_{2\text{ном}}, \text{Ом}$	$i_{\text{пр.с}}, \text{кА}$	$I_{\text{т}}^2 t_{\text{т}} \cdot 10^6, \text{А}^2 \cdot \text{с}$	Установленный прибор	$S_2, \text{ВА}$
На ТП1	38,393	7,24	2,16	ТПВ	50	10Р	0,5	0,4	26,5	9500	Амперметр ТПЛ 0,66	0,5
На ТП2	38,106	7,23	2,10		50	10Р	0,5	0,4	26,5	9500		0,5
На ТП6	44,906	7,56	2,12		100	10Р	0,5	0,4	32	12500		0,5
На ТП7	38,280	7,24	2,12		50	10Р	0,5	0,4	26,5	9500		0,5
На ТП10	38,207	7,24	2,11		50	10Р	0,5	0,4	26,5	9500		0,5

Выбор трансформаторов тока осуществляем по условиям:

По длительному току:

$$I_{\text{раб.мах}} \leq I_{1\text{ном}}, \quad (5.8.10)$$

где $I_{\text{раб.мах}}$ – максимально возможный рабочий ток протекающий через первичную обмотку трансформатора тока, А,
принимаяем $I_{\text{раб.мах}} = I_{\text{п.ав кл10}}$;

$I_{1\text{ном}}$ – номинальный ток первичной обмотки трансформатора тока, А.

По конструкции и классу точности: для приборов по которым ведется учет электроэнергии (на вводе от линии 35кВ) класс точности должен быть не ниже 0,5, для релейной защиты не ниже 10%.

Что бы погрешность трансформатора тока не превысила допустимую для данного класса точности, вторичная нагрузка $Z_{2\text{р}}$ не должна превышать номинальную нагрузку трансформатора тока $Z_{2\text{ном}}$.

Необходимо сравнить выбранный трансформатор тока по допустимой нагрузке на вторичную обмотку по условию

$$S_{2\text{доп}} \geq S_2, \quad (5.8.11)$$

где $S_{2\text{доп}}$ – допустимая нагрузка в классе точности, ВА,

S_2 – фактическая нагрузка, ВА

По термической и динамической стойкости трансформаторы тока проверяются аналогично высоковольтным выключателям. Произведем выбор трансформаторов тока с учетом использования комплектных распределительных устройств серии КРУ/TEL модуль 1(выключатель ВВ/TEL, разъединитель с заземляющими ножами, трансформаторы тока проходного типа, датчик напряжения ёмкостного типа) [11, глава 6.2.4]

Рассчитаем сопротивление нагрузки на вторичную обмотку трансформатора тока $Z_{2\text{р}}$:

Общее сопротивление приборов $r_{\text{приб}}$, Ом, рассчитывается по формуле

$$r_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{I_{2\text{ном}}^2}, \quad (5.4.12)$$

В сети 10 кВ

$$r_{\text{амп}} = \frac{0,5}{5^2} = 0,02 \text{ Ом},$$

В сети 35 кВ

$$r_{\text{счетч}} = \frac{0,1}{5^2} = 0,004 \text{ Ом}.$$

Определим допустимое сопротивление проводов $r_{\text{пров}}$, Ом

$$r_{\text{пров}} = Z_{\text{ном2}} - r_{\text{приб}} - r_{\text{к}}, \quad (5.8.13)$$

где $r_{\text{к}} = 0,05$ Ом – сопротивление контактов при числе приборов 3 и менее;

В сети 10 кВ

$$r_{\text{пров амп}} = 0,4 - 0,02 - 0,05 = 0,33 \text{ Ом};$$

В сети 35 кВ

$$r_{\text{пров счетч}} = 0,4 - 0,004 - 0,05 = 0,346 \text{ Ом.}$$

Рассчитаем сопротивление медного провода ($\rho = 0,028 \text{ Ом/мм}^2$) минимальным сечением $2,5 \text{ мм}^2$ и длиной 12 м , $r_{\text{пр}}$, Ом

$$r_{\text{пр}} = \frac{\rho \cdot l_{\text{расч}}}{F} = \frac{0,028 \cdot 12}{2,5} = 0,13 \text{ Ом. (5.8.14)}$$

Так как полученное сопротивление провода меньше требуемых сопротивлений проводов $r_{\text{пров амп}}$, $r_{\text{пров счетч}}$ обеспечивается корректная работа трансформатора тока.

Трансформатор напряжения выбираем по напряжению и классу точности, проверяем по допустимой нагрузке на вторичную обмотку по условию (5.4.11)

Предварительно выбираем трансформаторы напряжения ЗНОМ-35-65У1 класса точности 0,5 с номинальной мощностью $S_{2\text{доп}} = 50 \text{ ВА}$ в комплекте с предохранителем типа ПКН 001-35 У1. [17]. Фактическая нагрузка $S_2 = S_{2\text{счетчика}} = 9 \text{ ВА} \leq S_{2\text{доп}} = 50 \text{ ВА}$.

Так же на каждую секцию 10 кВ выбираем трансформатор напряжения У12G (типа «фазаземля» со встроенными предохранительными устройствами), устанавливаемые в шкафы КРУ/TEL класса точности 1 с номинальной мощностью $S_{2\text{доп}} = 200 \text{ ВА}$. Фактическая нагрузка $S_2 = S_{2\text{вольтметров}} = 3 \cdot 1 = 3 \text{ ВА} \leq S_{2\text{доп}} = 200 \text{ ВА}$. [11]

2.6 Электроснабжение спирального цеха

Согласно исходных данных рассматриваемый цех содержит нормальную среду. В виду распределения по намеченной схеме электроснабжения электроприемники запитаны от шкафов, которые в свою очередь питаются от шинпровода. Целью расчетов является выбор защитной аппаратуры, выбор питающих и распределительных сетей и их проверка.

Выбор силовых распределительных пунктов (РП)

Распределительные пункты выбирают по номинальному току ввода, по количеству отходящих линий, типу защитного аппарата и номинальному току аппарата для присоединения.

По номинальному току ввода $I_{\text{н РП}}$, А:

$$I_{\text{н РП}} \geq I_{\text{р}}. \quad (6.1)$$

По количеству отходящих линий $n_{\text{лин РП}}$, шт:

$$n_{\text{лин РП}} \geq n_{\text{лин РП факт}}, \quad (6.2)$$

где $n_{\text{лин РП факт}}$ – фактическое число отходящих от РП линий.

Примечание: в целях перспективы развития электроснабжения цеха целесообразно брать шкафы с запасом по числу отходящих линий в разумных пределах (1-2 линии).

По номинальному току аппарата для присоединения $I_{\text{н апп}}$, А:

$$I_{\text{напп}} \geq I_{\text{ном макс ЭП}}, \quad (6.3)$$

где $I_{\text{ном макс ЭП}}$ – максимальный номинальный ток подключенного к РП электроприемника, А, принимаем $I_{\text{ном макс ЭП}} = 101,41$ А.

Для упрощения расчета сведем все данные в таблицу 17.

Таблица 17- Выбор распределительных пунктов

Узел питания	I_p , А	$n_{\text{лин РП факт}}$	Тип шкафа	$n_{\text{лин РП}}$
ПР1	6,22	10	ШР8503 1203-2	1
ПР2	114,9	9	ШР8503 1202-2	1
ПР3	3,07	8	ШР8503 1203-2	1
ПР4	76,41	7	ШР8503 1202-2	1
ПР5	24,04	8	ШР8503 1005-1	1
ПР6	37,24	8	ШР8503 1005-1	1
ПР7	14,86	9	ШР8503 1203-2	1
ПР8	19,24	7	ШР8503 1203-2	1
ПР9	146,27	2	ШР8501001	1
ПР10	164,06	3	ШР8501001	1

2.6.1 Выбор сечений проводников и защитной аппаратуры напряжением до 1 кВ

В цеховых сетях могут возникать следующие ненормальные по току режимы работы:

- увеличение тока вследствие перегрузки;
- увеличение тока в момент пуска или самозапуска двигателей;
- увеличение тока вследствие КЗ.

Короткие замыкания могут привести к пожару или даже взрыву, если не принять мер к быстрому отключению поврежденного участка линии, ЭП и т.п. Защита от токов КЗ является обязательной для всех элементов сети, время её действия должно быть минимальным для уменьшения термического и динамического эффектов от тока КЗ и необходимо, чтобы обеспечивалась селективность её действия.

Сечения силовых линий выбираются по допустимому нагреву длительно протекающим максимальным током нагрузки, по потере напряжения и по условию соответствия выбранному аппарату защиты.

Защита производится автоматическими выключателями

Условия выбора автоматического выключателя:

$$I_{н.расч.} \geq I_{длит}; \quad 125 \geq 99,688$$

$$I_{кз} \geq 1,5 \cdot I_{пуск}; \quad 125 \cdot 1,6 = 2000 \geq 1,5 \cdot 99,688 \cdot 5 = 747,661$$

Пример расчета для преобразователя частоты :

$$I_{н.} = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi \cdot \eta}; \quad (6.1.1)$$

$$I_{н.} = \frac{33,2}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,55 \cdot 0,92} = 99,688 \text{ A}$$

Принимаем к установке автоматический выключатель ВА51Г-31.

Выбор кабельной линии:

$$I_{доп.} \geq \frac{I_{н.}}{k_{np1} \cdot k_{np2}}; \quad 150 \geq \frac{99,688}{1} = 28,73$$

$$I_{доп.} \geq \frac{I_3 \cdot k_3}{k_{np1} \cdot k_{np2}}; \quad 150 \geq \frac{125}{1} = 125$$

Принимается к окончательной прокладке кабель АВВГ (4×25) с $I_{доп.} = 150$

Для группы электроприемников (при числе электроприемников более 5) пиковый ток определим как

$$I_{пик} = I_{пуск}^{\max} + (I_{р.гр} - K_{и} \cdot I_{н}), \quad (6.1.2)$$

где $I_{пуск}^{\max}$ – максимальный пусковой ток из группы электроприемников,

$I_{р.гр}$ – расчетный ток группы электроприемников,

$K_{и}$ – коэффициент использования электроприемника с максимальным пусковым током,

$I_{н}$ – номинальный ток электроприемника с максимальным пусковым током.

Пиковый ток для группы электроприемников до 5 шт.

$$I_{\text{пик}} = I_{\text{пуск}}^{\text{max}} + \sum I_{\text{н}}, \quad (6.1.3)$$

где $I_{\text{пуск}}^{\text{max}}$ – максимальный пусковой ток электроприемника в ПР,

$I_{\text{н}}$ – номинальный ток этого электроприемника,

Выбор вводного автоматического выключателя для ТП выбирается по номинальной мощности трансформатора

Номинальный ток трансформатора, находится по формуле

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

Далее расчёты аналогичны. Результаты сводим в таблицу 18.

Таблица 18 -Выбор автоматических выключателей и сечений линий спирального цеха

№ п/п	Наименование узлов	Нагрузка установленная				iн	iпуск	1,5iпуск	Тип авт. выключателя	k	iнорм расц	iкз	Iном/к прокл,А	k _э *Iз/к прокл	Марка и сечение	Iдоп
		n	Pн, кВт	PнΣ, кВт	cosφ											
1-5	Автомат сварки электродов	5	0,54	2,70	0,5	1,784	5,351	8,026	ВА13-25	7	3	21	1,783576	21	АВВГ(4х4)	50
13,14	Станок радиально-сверильный 2М112	2	0,55	1,10	0,5	1,817	9,083	13,625	ВА13-26	7	3	21	1,816606	3	АВВГ(4х4)	50
28,29	Станок перемотки 2-FT-7	2	1,10	2,20	0,5	3,633	18,166	27,249	ВА13-27	7	5	35	3,633211	5	АВВГ(4х4)	50
32	Станок радиально-сверильный	1	1,00	1,00	0,5	3,303	16,515	24,772	ВА13-28	7	5	35	3,302919	5	АВВГ(4х4)	50
22,23	Установка алюминированная проволоки	2	6,20	12,40	0,7	14,627	14,627	21,941	ВА13-29	7	112	784	14,62721	112	АВВГ(4х4)	50
25,26	Намоточное устройство	2	1,60	3,20	0,7	3,775	18,874	28,311	ВА13-30	7	5	35	3,774765	5	АВВГ(4х4)	50
52	Станок спирализации Б282-05	1	2,20	2,20	0,5	7,266	36,332	54,498	ВА13-31	7	15	105	7,266422	15	АВВГ(4х4)	50
19	Механическая мешалка	1	0,27	0,27	0,65	0,686	3,430	5,145	ВА13-32	7	3	21	0,685991	3	АВВГ(4х4)	50
27	Шаровая мельница	1	0,55	0,55	0,8	1,135	5,677	8,515	ВА13-33	7	3	21	1,135378	3	АВВГ(4х4)	50
24	Печь высокотемпературная ПВ=10%	1	3,51	3,51	0,95	6,102	6,102	9,153	ВА13-34	7	16	112	6,101931	16	АВВГ(4х4)	50
21	Печь сушильная	1	2,50	2,50	0,95	4,346	4,346	6,519	ВА13-35	7	5	35	4,345946	5	АВВГ(4х4)	50
16	Настольный токарный станок	1	0,25	0,25	0,5	0,826	4,129	6,193	ВА13-36	7	3	21	0,82573	3	АВВГ(4х4)	50
18	Точильно-шлифовальный станок	1	0,18	0,18	0,5	0,595	2,973	4,459	ВА13-37	7	3	21	0,594525	3	АВВГ(4х4)	50
46-48	Станок спирализации FO-25	3	0,65	1,95	0,5	2,147	10,734	16,102	ВА13-38	7	3	21	2,146897	3	АВВГ(4х4)	50
49-51	Станок спирализации МО-144	3	0,55	1,65	0,5	1,817	9,083	13,625	ВА13-39	7	3	21	1,816606	3	АВВГ(4х4)	50
17	Станок токарно-винторезный	1	3,20	3,20	0,5	10,569	52,847	79,270	ВА13-40	7	16	112	10,56934	16	АВВГ(4х4)	50
11	Установка алюминированная никелевой проволоки	1	2,50	2,50	0,7	5,898	5,898	8,847	ВА13-41	7	16	112	5,89807	16	АВВГ(4х4)	50
6-8	Печь муфельная стационарная	3	12,00	36,00	0,95	20,861	20,861	31,291	ВА13-42	7	25	175	20,86054	25	АВВГ(4х4)	50
9,10	Печь отжига никелерованной стальной проволоки	2	8,00	16,00	0,95	13,907	13,907	20,861	ВА13-43	7	16	112	13,90703	16	АВВГ(4х4)	50
36-39	Станок резки спирали ОБ-17	4	1,30	5,20	0,5	4,294	21,469	32,203	ВА13-44	7	5	35	4,293795	5	АВВГ(4х4)	50
44,45	Станок ручной резки спирали	2	0,32	0,64	0,5	1,057	5,285	7,927	ВА13-45	7	3	21	1,056934	3	АВВГ(4х4)	50
12	Печь препарирования	1	6,00	6,00	0,95	10,430	10,430	15,645	ВА13-46	7	16	112	10,43027	16	АВВГ(4х4)	50
20	Печь муфельная СНОЛ	1	2,50	2,50	0,95	4,346	4,346	6,519	ВА13-47	7	5	35	4,345946	5	АВВГ(4х4)	50
64-67	Полуавтомат резки спирали с препарированием	5	4,50	22,50	0,5	14,863	74,316	111,474	ВА13-48	7	16	112	14,86314	16	АВВГ(4х4)	50
59-61	Станок спирализации скоростной ТПО 170078	3	2,70	8,10	0,5	8,918	44,589	66,884	ВА13-49	7	16	112	8,917882	16	АВВГ(4х4)	50
33	Точильно-шлифовальный станок	1	1,50	1,50	0,5	4,954	24,772	37,158	ВА13-50	7	16	112	4,954379	16	АВВГ(4х4)	50
34	Станок координатно-расточный 2УЧ30	1	3,20	3,20	0,65	8,130	40,651	60,977	ВА13-51	7	16	112	8,130263	16	АВВГ(4х4)	50
35	Станок токарный УТ 16В	1	3,30	3,30	0,5	10,900	21,799	32,699	ВА13-52	7	16	112	10,89963	16	АВВГ(4х4)	50
40-43	Станок резки спирали ОБ-17	4	1,30	5,20	0,5	4,294	8,588	12,881	ВА13-53	7	5	35	4,293795	5	АВВГ(4х4)	50
53	Станок спирализации Б282-05	1	2,20	2,20	0,5	7,266	14,533	21,799	ВА13-54	7	16	112	7,266422	16	АВВГ(4х4)	50
69	Однозонная печь с перемоткой	1	2,50	2,50	0,95	4,346	4,346	6,519	ВА13-55	7	5	35	4,345946	5	АВВГ(4х4)	50
54,55	Станок спирализации Б282-05	2	2,20	4,40	0,5	7,266	36,332	54,498	ВА13-56	7	16	112	7,266422	16	АВВГ(4х4)	50
56-58	Станок спирализации СГТК-7	3	3,20	9,60	0,5	10,569	52,847	79,270	ВА13-57	7	16	112	10,56934	16	АВВГ(4х4)	50
62-63	Станок спирализации МО-128	2	6,10	12,20	0,5	20,148	100,739	151,109	ВА13-58	7	25	175	20,14781	25	АВВГ(4х4)	50
15	Дисциплиатор	1	55,00	55,00	0,7	129,758	648,788	973,182	ВА51-33	16	160	2560	129,7575	160	АВВГ(4х25)	150
71	Вентелятор	1	40,00	40,00	0,85	77,716	388,579	582,868	ВА51г-31	6	80	504	77,71574	80	АВВГ(4х10)	85
30,31	Преобразователь частоты	2	33,20	66,40	0,55	99,688	498,441	747,661	ВА51-33	6	125	750	99,68811	125	АВВГ(4х25)	150
70	Вентелятор	1	40,00	40,00	0,85	77,716	388,579	582,868	ВА51г-31	16	80	1280	77,71574	80	АВВГ(4х10)	85

Таблица 19 - Выбор аппаратов защиты и линий для ШР сети 0,4 кВ

№ шкафа	ip	I.пик	марка	ин. Расц	к	ікз	1,25*іпик	марка кабеля	ідоп
ШР 1	6,22	23,59	ВА13-25	16	7	112	29,48	АВВГ(3х4)	37
ШР 2	114,39	148,04	ВА 51-33	125	10	1250	185,05	АВВГ(3х35)	125
ШР 3	3,07	13,51	ВА13-25	5	3	15	16,89	АВВГ(3х4)	37
ШР 4	76,41	126,57	ВА51г-33	100	16	1600	158,21	АВВГ(3х16)	80
ШР 5	24,04	43,79	ВА13-25	25	7	175	54,74	АВВГ(3х4)	37
ШР 6	37,24	107,18	ВА13-29	63	3	189	133,98	АВВГ(3х6)	45
ШР 7	14,86	54,32	ВА13-25	16	7	112	67,90	АВВГ(3х4)	37
ШР 8	19,24	117,16	ВА13-25	25	7	175	146,45	АВВГ(3х4)	37
ШР 9	146,27	726,50	ВА51-33	160	10	1600	908,13	АВВГ(3х50)	155
ШР 10	164,06	576,16	ВА57-35	200	4	800	720,20	АВВГ(3х70)	200

2.6.2 Расчет токов короткого замыкания в сети до 1000В

Для расчета токов КЗ составляется расчетная схема – упрощенная однолинейная схема электроустановки, в которой учитываются все источники питания, трансформаторы, воздушные и кабельные линии.

По расчетной схеме составляется схема замещения, в которой указываются сопротивления всех элементов и намечаются точки для расчета токов КЗ.

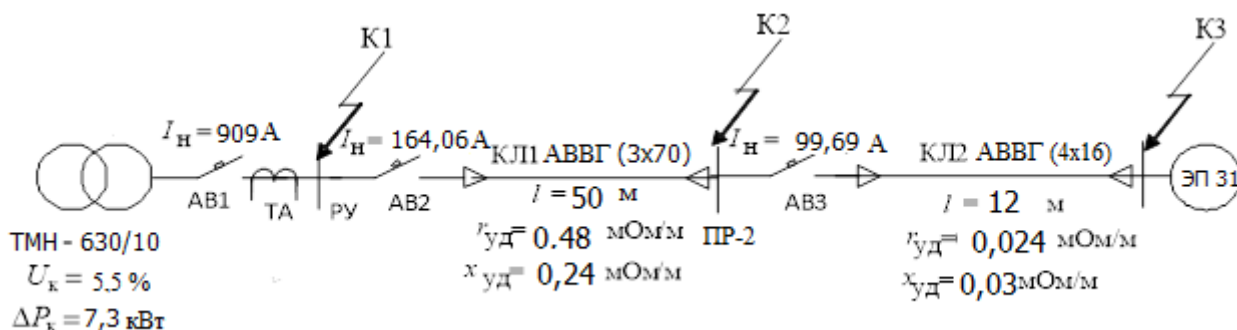


Рисунок 7 – Расчетная схема распределительной сети

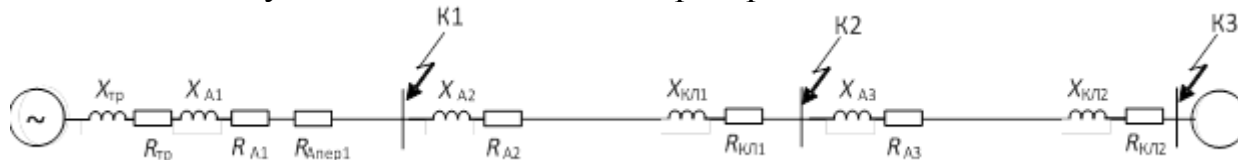


Рисунок 8– Схема замещения цеховой сети

1. Сопротивления автоматического выключателя АВ1:
 $R_{A1} = 0,25 \text{ мОм}; \quad X_{A1} = 0,01 \text{ мОм};$
2. Сопротивления автоматического выключателя АВ2:
 $R_{A2} = 1,1 \text{ мОм}; \quad X_{A2} = 0,2 \text{ мОм};$
3. Сопротивления автоматического выключателя АВ3:

$$R_{A3} = 2,15 \text{ мОм}; \quad X_{A3} = 2,1 \text{ мОм};$$

Для нахождения сопротивлений для АВ воспользовались методом линейной интерполяции.

4. Сопротивления первичной обмотки трансформатора тока ТА

$$R_{ТТ} = 0,07 \text{ мОм}; X_{ТТ} = 0,05 \text{ мОм};$$

5. Сопротивления кабельных линий

$$R_{КЛ1} = r_0 \cdot l_1 = 24 \text{ мОм} \quad X_{КЛ1} = x_0 \cdot l_1 = 12 \text{ мОм}$$

$$R_{КЛ2} = r_0 \cdot l_2 = 24,9 \text{ мОм} \quad X_{КЛ2} = x_0 \cdot l_2 = 3,48 \text{ мОм}$$

Определяем сопротивление цехового трансформатора

$$r_T = \frac{\Delta P_K \cdot U_{НОМ}^2}{S_{НОМ.Т}^2} = \frac{5,5 \cdot 400^2}{630^2} = 2,9 \text{ мОм}; \quad (6.2.1)$$

$$x_T = \frac{U_p \cdot U_{НОМ}^2}{100 \cdot S_{НОМ.Т}} = \frac{5,325 \cdot 400^2}{100 \cdot 630} = 13,9 \text{ мОм}; \quad (6.2.2)$$

$$U_p = \sqrt{U_{K3}^2 - U_a^2} = \sqrt{5,5^2 - 1,375^2} = 5,325 \text{ %}; \quad (6.2.3)$$

$$U_a = \frac{\Delta P_K \cdot 100}{S_{НОМ.Т}} = \frac{5,5 \cdot 100}{630} = 1,375 \text{ %}. \quad (6.2.4)$$

Упростим схему замещения, определив эквивалентные сопротивления на участках схемы между точками КЗ

$$R_1 = R_{тр} + R_{A1} + R_{ТТ} = 3,2 \text{ мОм}.$$

$$X_1 = X_{тр} + X_{ТТ} + X_{A1} = 14,1 \text{ мОм}$$

$$R_2 = R_{КЛ1} + R_1 = 24 \text{ мОм}$$

$$X_2 = X_{КЛ1} + X_1 = 12,2 \text{ мОм}$$

$$R_3 = R_{A3} + R_{КЛ2} = 27 \text{ мОм}$$

$$X_3 = X_{A3} + X_{КЛ2} = 5,5 \text{ мОм}$$

Упрощенная схема замещения представлена на рис. 9

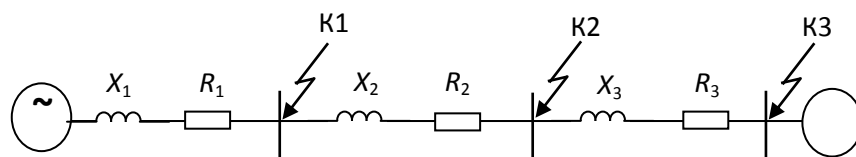


Рисунок 9 – Упрощенная схема замещения цеховой сети

Ток КЗ в точке К1 равен:

$$I_{K1} = \frac{1,05 \cdot U_{сети}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma 1}} = \frac{1,05 \cdot 380}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_1^2 + X_1^2}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 14,49} = 15,9 \text{ кА}; \quad (6.2.5)$$

Ударный ток в точке К1:

$$i_{y1} = k_{y1} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{K1} = 1,45 \cdot \sqrt{2} \cdot 15,9 = 32,6 \text{ кА}. \quad (6.2.6)$$

Значение k_y определяем по кривой, для $\frac{x_{\Sigma 1}}{r_{\Sigma 1}} = \frac{14}{3,2} = 4,32$;

$$k_{y1} = 1,45.$$

Аналогично рассчитываем ток КЗ в других точках цеховой сети, кабельных линии и трансформаторов тока автоматических выключателей. Результаты расчетов сведены в таблицу.

Таблица 20 – Результаты расчета токов КЗ

Точка	X_{Σ} , мОм	R_{Σ} , мОм	I_k , кА	x_{Σ} / r_{Σ}	k_y	i_y , кА
К1	14,1	3,2	15,9	4,32	1,45	32,6
К2	26,3	54,8	6,05	0,95	0,95	8,1
К3	5,5	27,1	3,6	0,58	0,3	1,5

В электрических сетях ниже 1000 В кабели не подлежат проверке на термическую устойчивость.

2.6.3 Расчет сети по потере напряжения

Согласно ПУЭ для силовых сетей отклонение напряжения от номинального должно составлять не более $\pm 5\% U_n$. Для осветительных сетей промышленных предприятий и общественных зданий допускается отклонение напряжения от +5 до -2,5 % U_n , для сетей жилых зданий и наружного освещения $\pm 5\% U_n$.

Расчет цеховой сети по условиям допустимой потери напряжения и построение эпюры отклонения напряжения выполняется для цепочки линии от шин ГПП до зажимов одного наиболее удаленного от цеховой ТП или наиболее мощного ЭП для режимов максимальных и минимальных нагрузок.

Для расчета выберем цепь ГПП-ТП1-ПР10-ЭП31 ($P_n=33,2$ Вт).

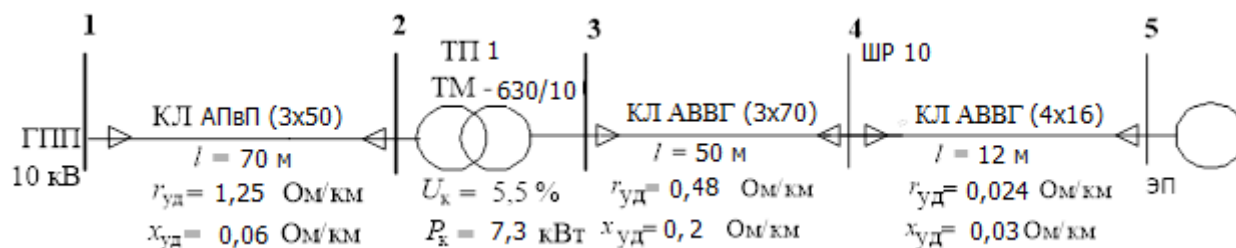


Рисунок 8– Радиальная схема для расчета отклонения напряжения
Решение:

Участок 1-2

Потери напряжения на данном участке определи по выражению:

$$\Delta U_i = \frac{P \cdot R + Q \cdot X}{10 \cdot U^2}, \% (6.3.1)$$

где R , X – активное и индуктивное сопротивления соответствующих участков сети, l – соответствующие длины участков сети, P , Q – активная и реактивная мощность на соответствующих участках.

Для этого рассчитаем активное и реактивное сопротивления кабельной линии:

$$R_{12} = r_{01} \cdot l_1 = 0,079 \cdot 0,07 = 0,005 \text{ Ом}$$

$$X_{12} = x_{01} \cdot l_1 = 0,003 \cdot 0,07 = 0,00026 \text{ Ом.}$$

Определим потери напряжения на данном участке:

$$\begin{aligned} \Delta U_{12} &= \frac{(P_{12} + \Delta P_{\text{ТП12}}) \cdot R_{12} + (Q_{12} + \Delta Q_{\text{ТП12}}) \cdot X_{12}}{10 \cdot U^2} = \\ &= \frac{(383,65 + 7,22) \cdot 0,005 + (369,79 + 4,23) \cdot 0,00026}{10 \cdot 10,5^2} = 0,002 \% \end{aligned}$$

Определим потери напряжения в вольтах:

$$\Delta U_{12} = 0,002 \cdot \frac{10500}{100} = 0,2 \text{ В.}$$

Тогда напряжение в конце данного участка составляет:

$$U_2 = U_1 - \Delta U_{12} = 10500 - 0,2 = 10499,8 \text{ В.}$$

Участок 2-3

Потери напряжения на участке определяются потерей напряжения на цеховом трансформаторе и определяется по выражению:

$$\Delta U_T = \beta_T \cdot (U_a \cos \varphi_2 + U_p \sin \varphi_2) + \frac{\beta_T^2}{200} \cdot (U_a \sin \varphi_2 - U_p \cos \varphi_2)^2, (6.3.2)$$

где U_a , U_p – активная и реактивная составляющие напряжения КЗ, $U_{к\%}$, $\cos \varphi_2$ и $\sin \varphi_2$ – коэффициенты мощности по нагрузке трансформатора (с учетом установки компенсирующих устройств).

Активная составляющая напряжения короткого замыкания цехового трансформатора определяется:

$$U_a \% = \frac{\Delta P_k \cdot 100}{S_{\text{НОМ.Т}}} = \frac{7,3 \cdot 100}{630} = 1,15 \% (6.3.3)$$

$$U_p \% = \sqrt{U_{кз}^2 - U_a^2} = \sqrt{5,5^2 - 1,15^2} = 5,37 \% (6.3.4)$$

Коэффициенты мощности для вторичной нагрузки цехового трансформатора определяем по выражению:

$$\begin{aligned} \cos \varphi_2 &= \frac{P_{12}}{\sqrt{(P_{12} + \Delta P_{\text{ТП12}})^2 + (Q_{12} + \Delta Q_{\text{ТП12}})^2}} = \frac{383,65}{\sqrt{(383,65 + 7,22)^2 + (369,79 + 34,23)^2}} \\ &= 0,64; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sin \varphi_2 &= \frac{Q_{12}}{\sqrt{(P_{12} + \Delta P_{\text{ТП12}})^2 + (Q_{12} + \Delta Q_{\text{ТП12}})^2}} = \frac{369,79}{\sqrt{(383,65 + 7,22)^2 + (369,79 + 34,23)^2}} \\ &= 0,62; \end{aligned}$$

β_T – отношение фактической нагрузки одного трансформатора к его номинальной мощности в рассматриваемом режиме работы;

$$\beta_T = \frac{\sqrt{(P_{12})^2 + (Q_{12})^2}}{S_{н.тр}} = \frac{\sqrt{(383,65)^2 + (369,79)^2}}{630} = 0,84.$$

Определяем потери напряжения на цеховом трансформаторе:

$$\begin{aligned} \Delta U_T &= \beta_T \cdot (U_a \cos \varphi_2 + U_p \sin \varphi_2) + \frac{\beta_T^2}{200} \cdot (U_a \sin \varphi_2 - U_p \cos \varphi_2)^2 = \\ &= 0,84 \cdot (1,15 \cdot 0,64 + 7,37 \cdot 0,62) + \frac{0,84^2}{200} \cdot (1,15 \cdot 0,62 - 7,37 \cdot 0,64)^2 = \\ &= 3,5 \%, \end{aligned}$$

С учетом потерь в обмотке ВН напряжение ВН будет равно:

$$U_{ВН} = U_2 - \Delta U_T \cdot \frac{U_H}{100} = 10499,8 - 3,5 \cdot \frac{10500}{100} = 10132 \text{ В}$$

Напряжение на низкой стороне с учетом потерь будет составлять

$$U_3 = 630 \cdot \frac{10132}{10500} = 607,92 \text{ В}$$

Участок 3-4

Рассчитаем активное и реактивное сопротивления кабеля АВВГ (4x50)

$$R_{34} = r_{34} \cdot l_1 = 0,48 \cdot 0,05 = 0,041 \text{ Ом}$$

$$X_{34} = x_{34} \cdot l_1 = 0,24 \cdot 0,05 = 0,012 \text{ Ом.}$$

Определяем потери напряжения на данном участке:

$$\Delta U_{34} = \frac{P_{34} \cdot R_{34} + Q_{34} \cdot X_{34}}{10 \cdot U_3^2} = \frac{106,4 \cdot 0,041 + 18,1 \cdot 0,012}{10 \cdot 0,60792^2} = 0,74 \%$$

Потери напряжения на данном участке в вольтах составляет

$$\Delta U_{34} = 0,749 \cdot \frac{607,9}{100} = 4,5 \text{ В}$$

Напряжение в конце данного участка составит:

$$U_4 = U_3 - \Delta U_{34} = 607,9 - 4,5 = 603,36 \text{ В.}$$

Аналогично рассчитываем участок 4-5

Потери напряжения на данном участке: $\Delta U_{45} = 0,06 \%$;

Напряжение в конце данного участка: $U_5 = 0,4 \text{ В.}$

Расчет минимального режима:

Для определения потоков мощностей минимального режима необходимо воспользоваться характерным суточным графиком электрических. В нашем случае примем $P_{min} = 0,15 \cdot P_{max}$, а минимальная реактивная мощность $Q_{min} = 0,43 \cdot Q_{max}$. После этого расчет повторяется

по принципу расчета максимального режима, но при уменьшенной передаваемой мощности.

Участок 1-2

Активное и реактивное сопротивления кабельной линии остается прежним:

$$R_{12} = r_{01} \cdot l_1 = 0,079 \cdot 0,07 = 0,005 \text{ Ом}$$

$$X_{12} = x_{01} \cdot l_1 = 0,003 \cdot 0,07 = 0,00026 \text{ Ом.}$$

Определим потери напряжения на данном участке:

$$\Delta U_{12} = \frac{(P_{12} + \Delta P_{\text{ТП12}}) \cdot R_{12} + (Q_{12} + \Delta Q_{\text{ТП12}}) \cdot X_{12}}{10 \cdot U^2} =$$

$$= \frac{(383,65 \cdot 0,15 + 7,22) \cdot 0,005 + (369,79 \cdot 0,43 + 4,23) \cdot 0,00026}{10 \cdot 10,5^2} = 0,0003 \%$$

Определим потери напряжения в вольтах:

$$\Delta U_{12} = 0,0003 \cdot \frac{10500}{100} = 0,03 \text{ В.}$$

Тогда напряжение в конце данного участка составляет:

$$U_2 = U_1 - \Delta U_{12} = 10500 - 0,03 = 10499,97 \text{ В.}$$

По аналогии рассчитываем другие участки. Результаты расчета сводим в таблицу 21.

На рисунке 9 представлена эпюра отклонения напряжения.

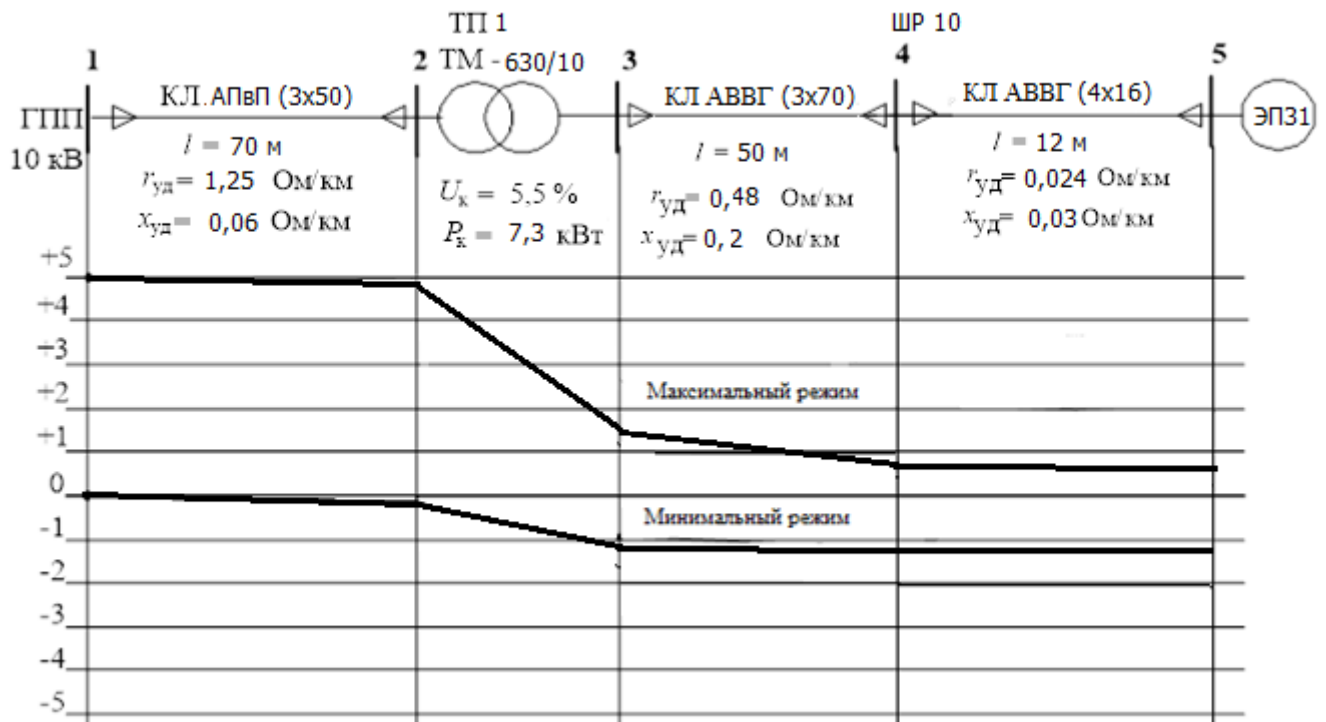


Рисунок 9 – Эпюра отклонений напряжения

Таблица 21– Результаты расчета сети по потере напряжения

Обозначение участка	1 – 2	2 – 3	3 – 4	4 – 5
Марка кабеля сечение, мм ² ; длина, км	АПвП (3x55) 0,07	ТМ– 630/10	АВВГ(3x70) 0,012	АВВГ(4x16) 0,015
Сопротивление активное, Ом/км реактивное, Ом/км	0,079 0,003	$S_{ном}=630\text{кВА}$ $U_k=5,5\%$ $\Delta P_k = 7,3\text{ кВт}$	0,48 0,24	2,08 0,06
Нагрузки $P+jQ$ максимальный минимальный режимы	383,65 +j369,79 57,54+j159	383,65+7,22 + j369,79+34,23 57,54+7,22+j159 +34,23	106,4 +j18,10 15,96+j7,7	33,2+j66,40 4,98+j28,55
Потери % напряжения максимальный минимальный режим	0,2 0,0003	3,5 1,03	4,5 0,033	0,4 0,0025

Как видно из эпюры напряжение суммарное отклонение напряжения в нормальных режимах не превышает 5%, а в послеаварийном режиме не превышает 10%, что подтверждает правильность выбора сетей.

2.6.4 Построение карты селективности

Карта селективности действия аппаратов защиты строится в логарифмической системе координат и служит для проверки правильности выбора аппаратов защиты. На карту селективности наносятся:

- 1) Номинальный и пусковой токи электроприемника;
- 2) Расчетный и пиковый ток силового распределительного шкафа;
- 3) Расчетный и пиковый ток подстанции;
- 4) Защитные характеристики защитный аппаратов (автоматических выключателей)

5) Значения токов КЗ в сети 0,4 кВ

б) Перед построением карты селективности строят цепочку защит, начиная с вводного автомата на ТП до какого-либо ЭП, чаще всего до наиболее удаленного и мощного. На цепочке указываются все необходимые

данные о токах на каждом участке в нормальном режиме и при КЗ, данные аппаратов защиты в этой цепочке и уставки их срабатывания.

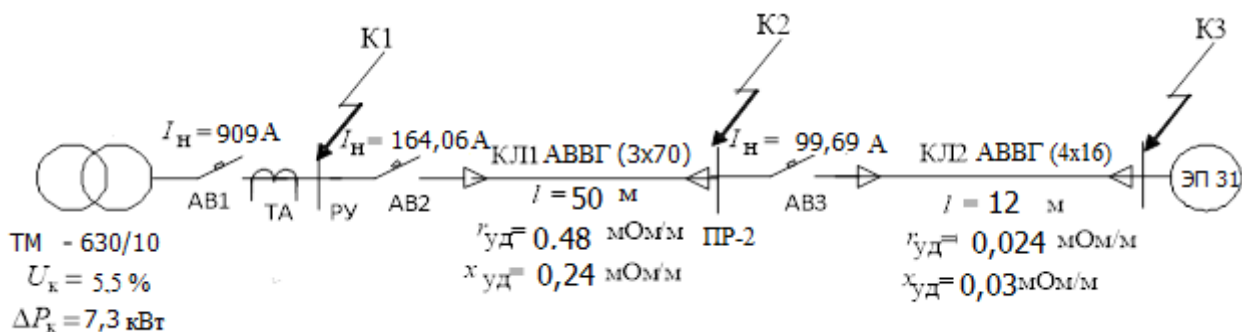


Рисунок 10 – Схема для построения селективности

Таблица 22– Данные для построения карты селективности действия аппаратов защиты

	ТП-1	ПР-10	ЭП-31
Длительный ток, А	909	163	99
Критический ток, А	1462	576	498
Значение тока КЗ в соотв. точках, кА	15,387	6,05	3,637

Таблица 23– Данные для построения карты селективности действия аппаратов защиты

Наименование аппарата защиты	Номинальный ток расцепителя, А	Номинальный ток срабатывания уставки в зоне КЗ, А
ВА 74-43 (ТП)	1250	2500
ВА 57-35 (ПР)	200	800
ВА 51-33 (ЭП)	125	750

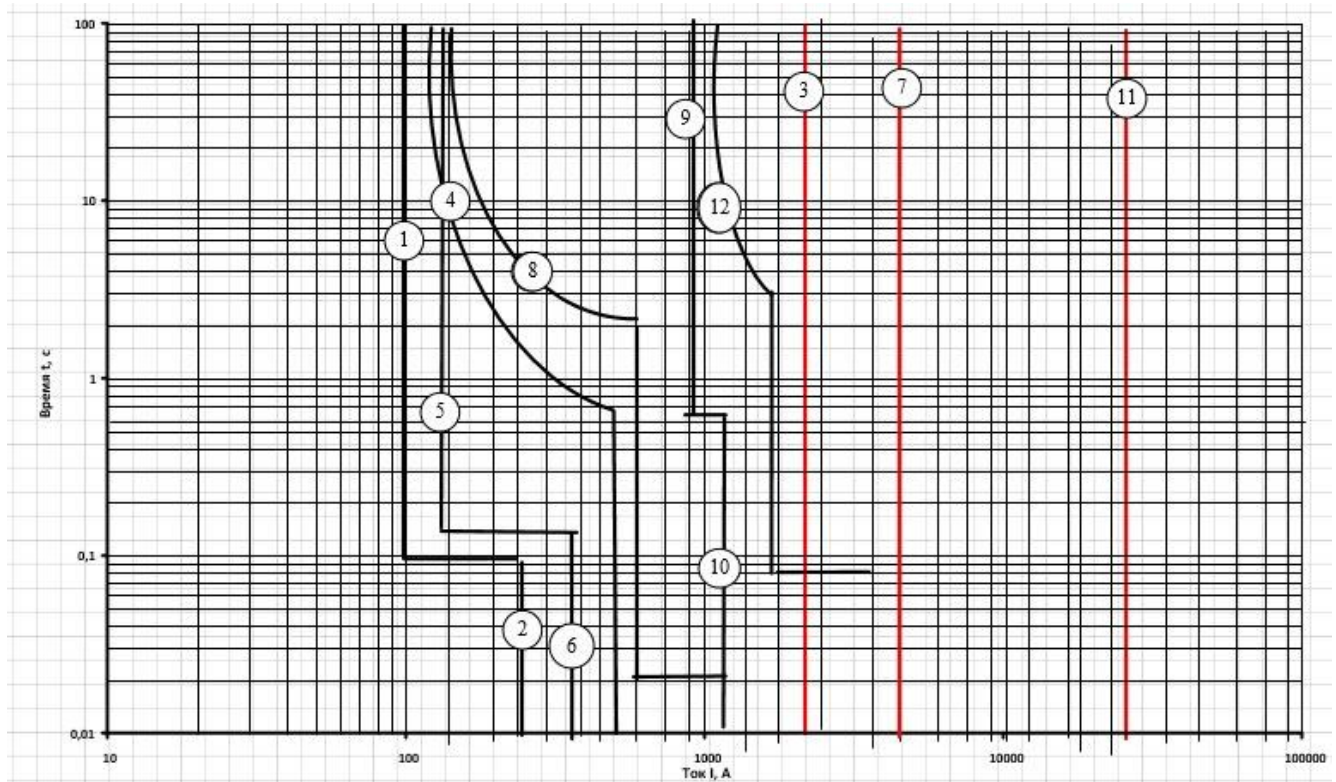


Рисунок 11 –Карта селективности действия защиты в установках до 1000 В

Обозначения на карте селективности:

- 1 – номинальный ток ЭП;
- 2 – пусковой ток ЭП;
- 3 – значение тока КЗ в точке К2;
- 4 – защитная характеристика автоматического выключателя ВА51-33;
- 5 – расчетный ток ПР-2;
- 6 – пиковый ток ПР-2;
- 7 – значение тока КЗ в точке К1;
- 8 – защитная характеристика автоматического выключателя ВА57-35;
- 9 – расчетный ток ТП-3;
- 10 – пиковый ток ТП-3;
- 11 – значение тока КЗ в точке К;
- 12 – защитная характеристика автоматического выключателя ВА74-43.

Заключение

В ходе данной ВКР была рассчитана сеть электроснабжения электролампового завода с детальной проработкой сети спирального цеха.

В результате расчетов были определены:

1. Полная расчетная нагрузка электроприемников спирального цеха методом упорядоченных диаграмм;

2. Полная суммарная нагрузка завода в целом:

По результатам расчета нагрузки по цехам завода построена картограмма нагрузок, определен центр электрических нагрузок. Установка ГПП произведена рядом с центром электрических нагрузок со смещением в сторону питающей линии.

Затем были рассчитаны элементы схемы электроснабжения. По рассчитанной схеме электроснабжения была построена однолинейная схема.

Электроснабжение завода осуществляется от подстанции энергосистемы, которая находится на расстоянии 8 км от предприятия. Питание предприятия по двухцепной воздушной линии напряжением 35 кВ. Воздушная линия выполнена проводом марки АС-35. На ГПП, с целью обеспечения надежности электроснабжения потребителей второй категории, устанавливаются два трансформатора ТМН4000.

Произведен выбор автоматических выключателей на цепочке «ТП – самый мощный ЭП цеха». Выбраны кабели, питающие распределительные шкафы (0,4 кВ) и провода ответвлений к электроприемникам типа АВВГ.

Произведены расчеты токов короткого замыкания в сети выше 1000 В, и до 1000 В. Выбраны высоковольтные выключатели, трансформаторы тока и напряжения. Затем, исходя из полученных данных, были проверены сети и выбранное оборудование на стойкость к токам короткого замыкания.

По результатам расчетов были построены эпюры отклонений напряжения для максимального и минимального режимов. Анализ эпюр показал, что во всех режимах отклонение напряжения не превышает максимально допустимого $\pm 5\%$. Также построена карта селективности, из которой видно, что все аппараты защиты работают селективно.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» проведен анализ технического проекта, при этом детально рассмотрены следующие темы: SWOT-анализ работы и эксплуатации системы электроснабжения завода по производству электродвигателей и планово-временные и материальные показатели процесса проектирования (разработан план-график выполнения технического проекта и определена ресурсоэффективность проекта).

В разделе «Социальная ответственность» представлены оценка условий труда, анализ вредных и опасных факторов, рассмотрены меры защиты от опасных факторов, пожарная безопасность и охрана окружающей среды. В результате, спроектирована безопасная и надежная система электроснабжения электролампового завода.

Список литературы

1. Сумарокова Л.П. Электроснабжение промышленных предприятий: Учебное пособие/ Томский политехнический университет.-Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2012.-288с.
2. Кабышев А.В., Обухов С.Г. Расчет и проектирование систем электроснабжения: Справочные материалы по электрооборудованию: Учебное пособие/ Томский политехнический университет.-Томск, 2005.-168с.
3. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). - М.: Издательство ДЕАН, 2001.
4. Сивков ФФ, Герасимов Д.Ю., Сайгаш А.С Основы электроснабжения: учебное пособие / А.А. Сивков, Д.Ю. Герасимов, А.С. Сайгаш; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 180 с.
5. Справочник по проектированию электрических сетей. Под редакцией Д.Л.Файбисовича. – М.: Издательство НЦ ЭНАС, 2005-320с.
6. Кабель АПвП-10 [Электронный ресурс] режим доступа: <http://clive-group.ru/catalog/kabel-provod/kabel-silovoy-s-izolyatsiey-iz-spe-10-kv/kabel-avp-10-kv-trekhzhilnyy/>
7. Радкевич В.Н. Проектирование систем электроснабжения: Учеб.пособие.— Мн.: НПООО «ПИОН», 2001. — 292 с.
8. Вакуумные выключатели серии ВВ/TEL [Электронный ресурс] режим доступа: <http://velto.ru/tavrida.htm>
9. Вакуумный выключатель ВВ/TEL-35 кВ [Электронный ресурс] режим доступа: http://energoservice-ua.com/vakuumnyj_vykljuchatel_bbtel35.html
10. Ополева Г.Н. Схемы и подстанции электроснабжения: Справочник: учеб. пособие. –М.: ИД «ФОРУМ»: ИНФРА-М, 2009.-480 с.
11. Активно-реактивный трехфазный счетчик электрической энергии СЕ-302 [Электронный ресурс] режим доступа: <http://www.energoener.com/ce302.html>
12. Характеристики трансформаторов напряжения 0,4-35 кВ[Электронный ресурс] режим доступа: <http://forca.ru/spravka/tt-i-tn/harakteristiki-transformatorov-napryazheniya-0-4-35-kv.html>
13. Рекомендации по проектированию силового электрооборудования напряжением до 1000В переменного тока промышленных предприятий, 1989 [Электронный ресурс] режим доступа: eleco.r/lib1/docs/recomendations/recom3.html

14. Низковольтные автоматические выключатели: Учебное пособие/ А.В.Кабышев, Е.В. Тарасов; Учебное пособие/ Томский политехнический университет.-Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2011.-346с.

15. Автоматические выключатели серии Электрон прайс лист компании «Контактор» [Электронный ресурс] режим доступа: <http://setc.ru/goods/27.html>

16. Технические характеристики комплектных магистральных шинопроводов напряжением до 660 В [Электронный ресурс] режим доступа: <http://forca.ru/info/spravka/tehnicieskie-harakteristiki-komplektnyh-magistralnyh-shinoprovodov-napryazheniem-do-660-v.html>

17. Шинные трансформаторы тока ТШЛ-0,66, ТШЛ-0,66-I [Электронный ресурс] режим доступа: http://cztt.ru/TSHL_066.html

18. Видяев И.Г., Серикова Г.Н., Гаврикова Н.А. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.-Томск: ТПУ, 2014. – 37 с. 103

19. Томпсон А.А., Стрикленд Дж.А. Стратегический менеджмент: концепции и ситуации для анализа, 12-е издание: Пер. с англ. – М.: ильямс, 2006 – 928 с.

20. Виханский О.С. Стратегическое управление. – М.: Гардарики, 2009.– 164 с

21. Бородин Ю.В., Извеков В.Н., Ларионова Е.В., Плахов А.М.

Методические указания по разработке раздела «Социальная ответственность».-Томск: ТПУ, 2014. – 9 с.

22. Извеков В.Н, Гусельников М.Э., Крепша Н.В., Панин В.Ф.Методические указания по разработке раздела «Производственная экологическая безопасность».- Томск: ТПУ, 2006. – 42 с.

23. ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общитребования и классификация.

24. Федеральный закон РФ от 22.07.2008г. №123 ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»

25. Р2.2.2006-05. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда.

26. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

27. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых общественных зданий. – М.:Госкомсанэпиднадзор, 2003.

28. СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. М.: инздравРоссии, 1997.

29. СНиП 2.04.05-91. Отопление, вентиляция и кондиционирование.

30. СНиП 11-2-80. Противопожарные нормы проектирования зданий и сооружений. 104

31. СНиП II-90-81. Производственные здания промышленных предприятий.