МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ОмГТУ)

Кафедра «Электроснабжение промышленных предприятий»

Допускается к защите:
Заведующий кафедрой
д.т.н., профессор
_____
«____»_____201___г.

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

На тему Электроснабжение завода «Электроточприбор»

Студент Стефаненко В.В. _____ группа ЗЭ-123
Ф.И.О. (подпись)

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Шифр ВКР 13.03.02
Направление «Электроэнергетика и электротехника»

Консультанты:

(название раздела)	(Ф.И.О.)	(подпись, дата)	
(название раздела)	(Ф.И.О.)	(подпись, дата)	
(название раздела)	(Ф.И.О.)	(подпись, дата)	

Руководитель:
Грунин В.К.
(Ф.И.О.)
(подпись, дата)

Разработал:
Стефаненко В.В.
(Ф.И.О.)
(подпись, дата)

Омск 201__г.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ВКРБ 02068999-29-		
Проверил					Пояснительная записка ВКРБ Электроснабжение завода «Электроточприбор»	Стадия	Лист	Листов
Выполнил		Стефаненко В.В.				П		
Н. контр						ОмГТУ, гр. ЗЭ-123		
Утв.								

Исходные данные

Тема: Электроснабжение завода «Электроточприбор»

1. Генеральный план завода (рисунок 1).
2. Питание предприятий можно осуществлять от подстанции энергосистемы на классах напряжения 220, 110, 35 кВ.
3. Индуктивное сопротивления системы ($\mathbf{x}_C$) принимать 0,3; 0,6; 0,9 о.е. соответственно классам напряжения 220, 110, 35 кВ.
4. Расстояние от источника питания до завода 8 км.
5. Сведения об электрических нагрузках завода (таблица 1).

Таблица 1 – Ведомость электрических нагрузок завода

№ цеха на плане	Подразделение завода	Установленная мощность, кВт
1	Склад комплектующих изделий	195
2	Склад материалов	230
3	Гальванический цех	3245
4	Механический цех	1890
5	Насосная	1580
6	Цех пластмасс	4290
7	Цех резинотехнических изделий	2625
8	Сборочный цех цифровых щитовых приборов	2640
9	Сборочный цех аналоговых щитовых приборов	2235
10	Сборочный цех лабораторных приборов	3525
11	Опытный цех	985
12	Компрессорная	2320
13	Инструментальный цех	805
14	Административный корпус, маркетинг	630
15	Столовая	275
16	Ремонтно-механический цех	750
17	ЦЗЛ	195
18	Электроцех	763
19	Бытовой корпус	220
20	Медпункт	38
21	Склад готовой продукции	150
22	Магазин	28
	Освещение цехов и территории завода	***По площади***

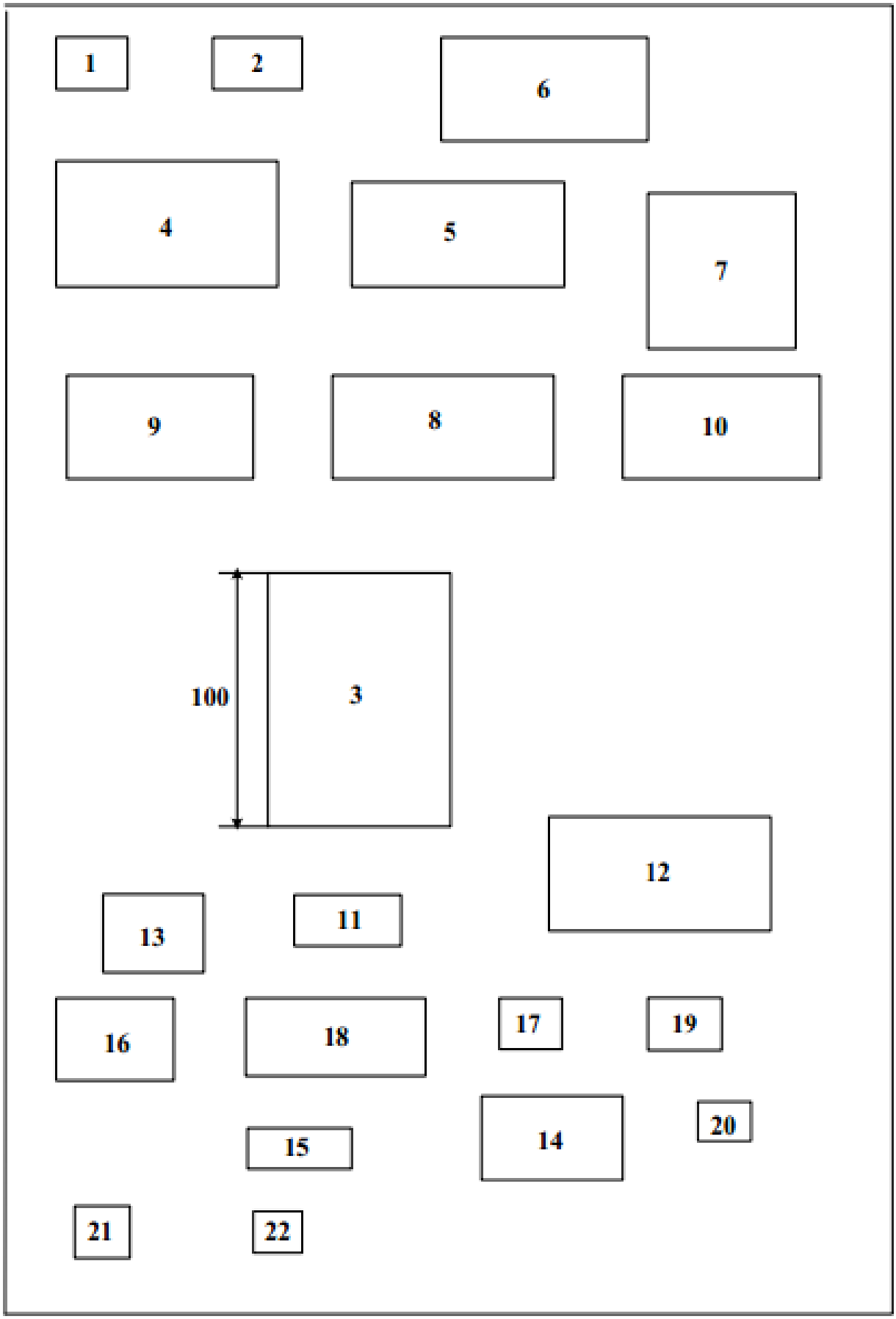

Рисунок 1 – Генеральный завода «Электроточприбор»

Аннотация

Выпускная квалификационная работа. ОмГТУ. Тема работы: «Электроснабжение завода «Электроточприбор».

Руководитель работы: Грунин В.К.

Направление подготовки: 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника». Выпуск 2017г.

Пояснительная записка с., 17 рис., 28 табл., 15 источников, 1 приложение.

Система электроснабжения. Пункт приема электрической энергии. Цеховая подстанция. Электрооборудование. Транспорт электрической энергии. Компенсация реактивной мощности. Ток короткого замыкания. Учет элетропотребления.

Объектом выполненной работы является система электроснабжения заданного объекта.

Цель проекта – разработка системы электроснабжения завода «Электроточприбор».

В результате анализа технологического процесса производства определены: технологические коэффициенты электрических нагрузок, категории электроприемников по бесперебойности электроснабжения и характеристика окружающей среды подразделений предприятия.

В процессе работы производились: расчет электрических нагрузок предприятия, построение картограммы электрических нагрузок, определение места размещения пункта приема электрической энергии, построение графиков электрических нагрузок, определение средств и способов транспорта электрической энергии, расчет токов короткого замыкания, выбор и проверка электрооборудования системы электроснабжения, расчет и выбор средств компенсации перетоков реактивной мощности.

Углубленная проработка темы «Учет электропотребления» по заданию консультанта.

Основные технико-эксплуатационные показатели:

экономичность, надежность и безопасность эксплуатации системы электроснабжения объекта.

Эффективность электроустановок определяется применением современных технологий и оборудования с учетом особенностей технико-технологических условий функционирования системы электроснабжения заданного объекта.

Содержание

Исходные данные.....6
Аннотация.....8
Введение.....7
1 Описание и анализ технологического процесса производства.....6
2 Определение расчетных электрических нагрузок.....6
2.1 Расчет силовых и осветительных электрических нагрузок цехов.....6
2.2 Расчет мощности компенсирующих устройств узла нагрузки.....12
2.3 Расчетные нагрузки на шинах низшего напряжения пункта приема электроэнергии.....14
2.4 Расчетные нагрузки на шинах высшего напряжения пункта приема электроэнергии.....16
3 Построение картограммы нагрузок предприятия.....6
4 Расчет системы питания.....9
4.1 Выбор рационального напряжения системы питания.....9
4.2 Компенсация реактивной мощности системы распределения.....9
4.3 Построение графиков нагрузок.....9
4.4 Выбор силовых трансформаторов пункта приема электрической энергии.....6
4.5 Выбор схемы ввода высшего напряжения подстанции.....7
4.6 Выбор питающих линий электропередачи.....8
4.7 Выбор схемы распределительного устройства низшего напряжения пункта приема электрической энергии.....10
5 Расчет системы распределения.....6
5.1 Общие принципы формирования схемы системы распределения.....6
5.2 Выбор класса напряжения системы распределения.....6
5.3 Общие принципы формирования схемы системы распределения.....7
5.4 Выбор мощности и места размещения цеховых трансформаторных подстанций.....7
5.5 Потери мощности в трансформаторах цеховых подстанций.....10
5.6 Транспорт электрической энергии в системе распределения.....11
5.7 Выбор сечения и марки проводников системы распределения.....13
6 Расчет токов короткого замыкания.....15
7 Выбор и проверка элементов системы электроснабжения.....6
7.1 Выбор и проверка основного высоковольтного оборудования.....6
7.2 Выбор и проверка коммутационных аппаратов 0,4 кВ.....9
7.3 Выбор и проверка вспомогательного электрооборудования.....6
8 Проверка кабельных линий на термическую стойкость.....6
Заключение.....6

Введение

Выпускная квалификационная работа посвящена проектированию системы электроснабжения завода «Электроточприбор».

Проектирование систем электроснабжения промышленных предприятий осуществляется, как правило, проектными организациями. В результате обобщения многолетнего опыта проектирования возникли типовые проектные решения.

В настоящее время апробированы методы расчета и проектирование как питающих, так и распределительных сетей, выбора мощности силовых трансформаторов и трансформаторных подстанций и т.п.

Однако существуют проблемные вопросы проектирования систем электроснабжения, а именно:

– правильное определение ожидаемых электрических нагрузок;

– рациональное построение схем систем электроснабжения;

– оптимизация компенсации перетоков реактивной мощности в системах электроснабжения;

– применение современных модульных устройств релейной защиты и автоматики.

В связи с проблемными вопросами проектирования систем электроснабжения и с учетом современных технологий разрабатываются и вводятся в действие новые нормативные документы. Поэтому данную тему выпускной работы можно считать актуальной.

Работа над ВКР развивает: способность осуществлять поиск, обработку и анализ информации из различных источников и баз данных; умение работать с нормативно-технической документацией; способность выбирать структуру систем электроснабжения объектов и приводить обоснование проектных решений, способность оформлять отчетную документацию.

Все разделы выполнены с соблюдением требований основных действующих нормативных документов [1, 2].

1 Описание и анализ технологического процесса производства

Завод «Электроточприбор» относится к предприятиям точного машинотсроения.

Продукция этой отрасли является основными элементами систем автоматизации управления технологическими процессами, информационных систем и т.д. Заводы отрасли специализируются на монтаже и наладке средств автоматизации, разработке программного обеспечения, конструировании и производстве часов, медицинских приборов, измерительной аппаратуры, оргтехники.

Гальванический цех. Обеспечивает следующие виды гальванопокрытий: оцинкование, олово-висмут-покрытие, никелирование, химическое никелирование, хромирование, серебрение, травление и пассивирование меди и медных сплавов, травление и осветление алюминия, анодирование алюминия, химическое оксидирование стали, химическое фосфатирование стали, химическое оксидирование алюминия.

Применяется различное оборудование: от отдельных ванн (для небольших партий изделий), до автоматизированных линий. Основной нагрузкой являются выпрямительные устройства с различным диапазоном выходного напряжения (24-220 В постоянного тока) и мощностью до 2,5 МВ·А. Коэффициент мощности выпрямителей обычно выше 0,85 при КПД равным 0,75-0,98. Необходимо учитывать и электропотребление системами вентиляции цеха. Так же в цехе используются электроподъёмные механизмы.

Категория приемников по электроснабжению – 1.

Условия среды – химически активная.

Категория размещения электрооборудования – 3 (4).

Степени защиты электрооборудования – IP40-IP50 (избирательно).

Насосная. Вода на заводе потребляется для производственных, противопожарных и хозяйственных нужд.

Основные электроприёмники цеха – двигатели насосов.
Мощность двигателей 250-800 кВт. Напряжение питания 0,4 кВ.

Категория приемников по электроснабжению – 1.

Условия среды –влажная.

Категория размещения электрооборудования – 2 (3).

Степень защиты электрооборудования – IP04.

Цех пластмасс. На машиностроительных предприятиях в подобных цехах обычно используют полуфабрикаты химического производства, из них формируют требуемые для данного типа производства изделия из пластмасс.

Основным оборудованием цеха является инжекторно-литьевая машина, предназначенная для производства изделий из пластмасс методом литья под давлением. Неотъемлемой частью литья изделий из пластмасс является вторичная переработка пластмасс. Основное оборудование работает на напряжении 0,4 кВ. В цехе обязательно устанавливается система вентиляции.

Категория приемников по электроснабжению – 2.

Условия среды – технологическая загазованность.

Категория размещения электрооборудования – 4.

Степени защиты электрооборудования – IP20-IP40 (избирательно).

Цех резинотехнических изделий. В данном цехе производят различную резинотехническую продукцию необходимую для основного производства. Номенклатура изделий может быть достаточно широка: уплотняющие кольца, прокладки, изоляция, приводные ремни, рукоятки, герметизирующие уплотнения, защитные корпуса. Цех имеет разнообразное оборудование: инжекционно-литьевые машины, формовочные машины, экструдеры для производства профилей из резины, преформеры, шестеренчатые насосы, литьевые пресс-формы, автоматически-манипулирующее оборудование, машины для снятия облоя.

Так же в цехе используются подъёмные механизмы и вентиляционные системы.

Категория приемников по электроснабжению – 2 (3).

Условия среды – локальное воздействие повышенных температур.

Категория размещения электрооборудования – 4.

Степени защиты электрооборудования – IP20-IP40 (избирательно).

Опытный цех занимается подготовкой модели к запуску в производство. При уточнении модели в опытном цехе изготовляют несколько образцов изделий различных размеров.

Категория приёмников по электроснабжению – 3.

Условия среды – нормальная.

Категория размещения электрооборудования – 4.

Степень защиты электрооборудования – IP00.

Компрессорная. Воздух подаётся под давлением 8 атмосфер от одной или нескольких центральных компрессорных. Компрессорные размещаются в близи технологических цехов, используемых сжатый воздух с таким расчетом, чтобы падение давления в магистралях составляло не более 2 атмосфер.

Основные электроприёмники – электродвигатели компрессоров. Мощность двигателей до 6 МВт. Напряжение питания 0,4 кВ.

Категория приемников по электроснабжению – 1.

Условия среды – нормальная.

Категория размещения электрооборудования – 3.

Вид защиты электрооборудования – IP00.

Сборочные цеха. В проектируемом завода таких цехов несколько. В сборочных цехах обычно присутствуют станки для механической обработки узлов изделия. Сборка изделий может осуществляться вручную, либо конвейерным способом. Конвейер, в свою очередь, может иметь различную степень автоматизации от ручного до полностью автоматизированного. Электроснабжение оборудования автоматических сборочных линий осуществляется напряжением 0,4 кВ различной мощности от нескольких ватт до сотен киловатт. В цехе может быть один или несколько сборочных участков или конвейеров. Для сборки электронных компонентов и точной оптики организуют специальные сборочные участки. На таких участках очень важную роль играет вентиляционное оборудование и оборудование очистки воздуха, зачастую оно является основным потребителем электроэнергии на данных участках.

Категория приемников по электроснабжению – 2 (3).

Условия среды – технологическая пыль.

Категория размещения электрооборудованию – 3 (4).

Степени защиты электрооборудования – IP30-IP64 (избирательно).

Инструментальный цех. Этот цех присутствует почти на каждом предприятии машиностроения, поскольку для металлообрабатывающих станков необходим металлорежущий инструмент и специальная оснастка. Основными электроприемниками этих цехов являются различные металлообрабатывающие станки (токарные, сверлильные, фрезерные, автоматы-роботы и т.д.). Мощность отдельных станков 1,5-10 кВт. Напряжение питания станков трехфазное 220/380 В. Режим работы продолжительный или повторно-кратковременный.

Категория приемников по электроснабжению – 3.

Условия среды – технологическая пыль.

Категория размещения электрооборудования – 4.

Степени защиты электрооборудования – IP20-IP40 (избирательно).

Ремонтно-механический цех является ремонтной базой любого промышленного предприятия и необходим для текущего ремонта технологического оборудования. Структура РМЦ зависит от мощности и специфики производства предприятия. Основные подразделения цеха: заготовительное, кузнечнопрессовое, сварочное, механическое, термическое и ряд других.

Основными электроприемниками цеха являются электродвигатели приводов станков и механизмов, термические печи, электросварочное оборудование, подъёмно-погрузочные механизмы, системы вентиляции. Мощность электроприёмников может достигать сотен киловатт. Напряжение питания переменное 220/380 В. Режим работы продолжительный или повторно-кратковременный.

Категория приемников по электроснабжению – 3.

Условия среды – нормальная.

Категория размещения электрооборудования – 4.

Степени защиты электрооборудования – IP20-IP40 (избирательно).

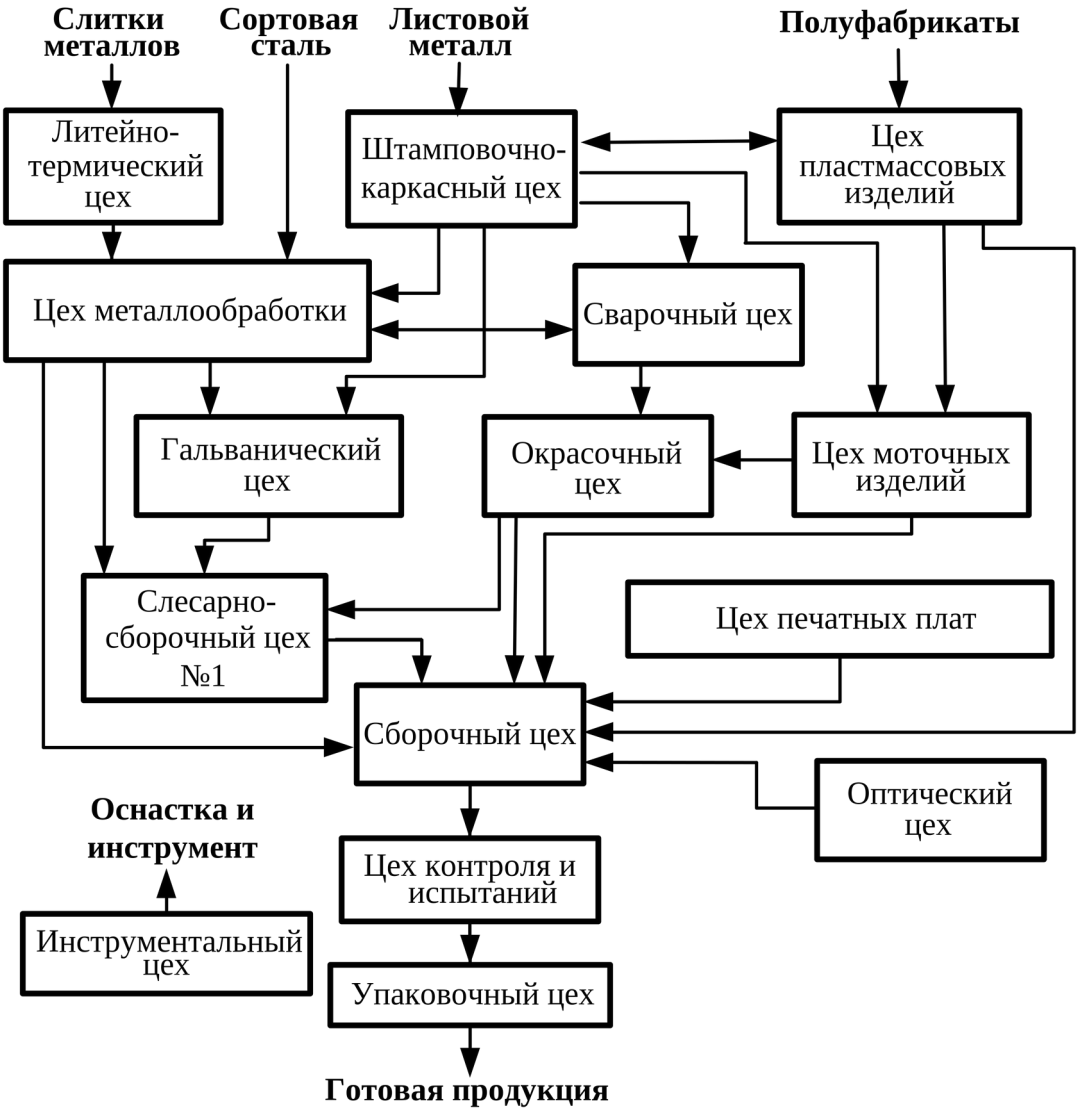



Рисунок 2 – Схема технологического процесса предприятия приборостроения

Результаты анализа технологического процесса завода приведены в таблице 2.

Для выбора системы внешнего и внутреннего электроснабжения завода необходимо определить для каждого цеха в отдельности требуемую степень надежности (категорию надежности) электроснабжения электроприемников (ЭП), характер окружающей среды по пожаро-взрывоопасности и по поражению человека электрическим током.

Согласно [1] ЭП в отношении обеспечения надежности электроснабжения подразделяются на три категории.

Электроприемники I категории – ЭП, перерыв электроснабжения которых может повлечь за собой опасность для жизни людей, значительный ущерб народному хозяйству, повреждение дорогостоящего оборудования, массовый брак продукции, расстройство сложного технологического процесса.

Электроприемники II категории – ЭП, перерыв электроснабжения которых приводит к массовым недоотпускам продукции, массовым простоям рабочих, механизмов и промышленного транспорта.

Электроприемники III категории – все остальные ЭП, неподходящие под определение I и II категорий.

Согласно [1] ЭП в отношении обеспечения надежности электроснабжения подразделяются на три категории.

Таблица 2 – Результаты анализа технологического процесса завода.

№ на плане	Подразделение завода	Категория ЭП	Характеристика окружающей среды
1.	Склад комплектующих изделий	III	нормальная
2.	Склад материалов	III	нормальная
3.	Гальванический цех	I	химически активная
4.	Механический цех	II	нормальная
5.	Насосная	I	влажная
6.	Цех пластмасс	II	технологическая загазованность
7.	Цех резинотехнических изделий	II	локальное воздействие повышенных температур
8.	Сборочный цех цифровых щитовых приборов	II	технологическая пыль
9.	Сборочный цех аналоговых щитовых приборов	II	технологическая пыль
10.	Сборочный цех лабораторных приборов	II	технологическая пыль
11.	Опытный цех	III	нормальная
12.	Компрессорная	I	нормальная
13.	Инструментальный цех	III	технологическая пыль
14.	Административный корпус, маркетинг	III	нормальная
15.	Столовая	III	жаркая

16.	Ремонтно-механический цех	III	нормальная
17.	ЦЗЛ	III	нормальная
18.	Электроцех	III	нормальная
19.	Бытовой корпус	III	нормальная
20.	Медпункт	III	нормальная
21.	Склад готовой продукции	III	нормальная
22.	Магазин	III	нормальная

2 Определение расчетных электрических нагрузок

Расчет электрических нагрузок цехов является главным этапом при проектировании промышленной электрической сети.

При выполнении ВКР расчетные нагрузки определяются по номинальной мощности и коэффициенту спроса с учетом осветительной нагрузки, коэффициента одновременности максимумов и потерь в элементах системы электроснабжения.

Расчетные электрические нагрузки СЭС определяются для всех узлов питания потребителей электроэнергии. При этом отдельно рассматриваются сети напряжением до и выше 1 кВ.

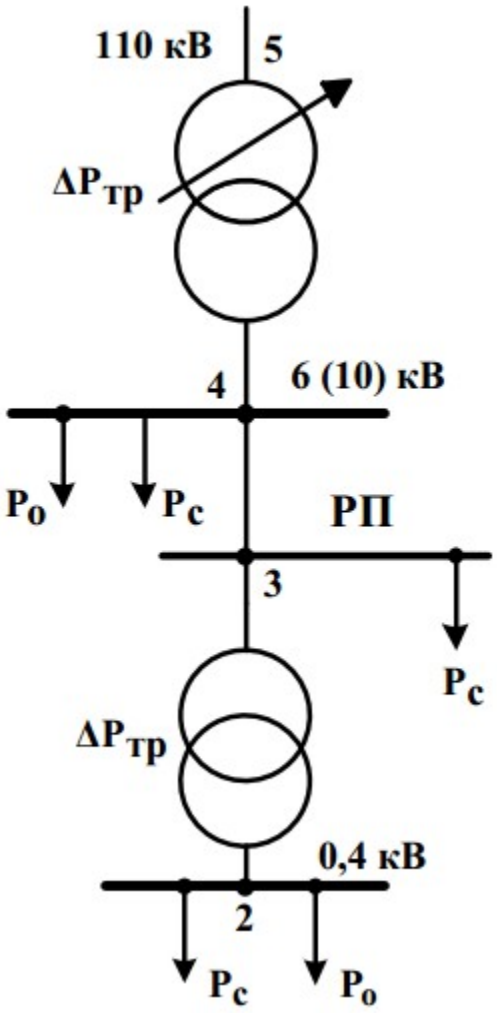

Рисунок 3 – Фрагмент схемы электроснабжения

2.1 Расчет силовых и осветительных электрических нагрузок цехов

Для определения расчетных нагрузок нашего предприятия воспользуемся методом коэффициента спроса.

При расчете нагрузки цехов изначально берется номинальная мощность цеха и справочный и коэффициент спроса, затем учитывается осветительная нагрузка, коэффициент разновремённости максимумов предприятия в целом, а также потери в элементах систем электроснабжения.

Электрические нагрузки систем электроснабжения определяются с целью выбора числа и мощности силовых трансформаторов, мощности и места

подключения компенсирующих устройств, выбора и проверки токоведущих элементов по условию допустимого нагрева, расчета потерь мощности, электроэнергии и напряжения и выбора релейной защиты.

Реальная (расчетная) нагрузка цехов определяется по справочным данным [4, 5], коэффициенту спроса и коэффициенту мощности.

$$P_C = K_C P_{ном}; \quad (1)$$

$$Q_C = P_C tg\phi_н; \quad (2)$$

Нагрузка территории завода и искусственного освещения каждого цеха определяется по удельной плотности освещения и по площади производственных помещений цеха.

$$P_{Н.О.} = F\rho_{УД}, \quad (3)$$

где $P_{Н.О.}$ – номинальная мощность осветительной нагрузки данного цеха, кВт;
F – площадь территории цеха, м^2;
$p_{уд}$ – удельная мощность осветительной нагрузки, Вт/м^2.

Примечание: рекомендуемые значения удельных мощностей осветительной нагрузки, Вт/м^2 [5, 6].

Территория завода площадью менее 200000 м^2 (ДРЛ) – 0,9 Вт/м^2.

Для люминесцентных ламп и ДРЛ:

Вспомогательные цеха – 4,63 Вт/м^2; механические и сборочные цеха – 3,68 Вт/м^2; компрессорные, насосные – 3,08 Вт/м^2; заводоуправления, столовые, лаборатории – 5,0 Вт/м^2; медпункт – 5,35 Вт/м^2.

Расчетная мощность осветительной нагрузки цехов определяются по формулам:

$$P_O = F\rho_{УД} K_{С.О.} K_{ПП}; \quad (4)$$

$$Q_O = P_{Р.О.} tg\phi_o. \quad (5)$$

При применении газоразрядных источников света рекомендуется принимать $K_{ПП}$ = 1,2, $tg\varphi_{Н.О}$ = 0,48 при *cos*φ = 0,9.

Таким образом, расчетные значения нагрузок цеха определяются следующим способом:

$$P_{р.ц.} = P_C + P_O; \quad (6)$$

$$Q_{р.ц.} = Q_C + Q_O, \quad (7)$$

где $P_{Р.Ц.}$, $Q_{Р.Ц.}$ – расчётные значения активной и реактивной мощности цеха.

Полная мощность:

$$S_{Р.Ц.} = \sqrt{P^2_{Р.Ц.} + Q^2_{Р.Ц.}} \quad (8)$$

Расчетный ток узла нагрузки:

$$I_{Р.Ц.} = \frac{S_{Р.Ц.}}{\sqrt{3}U_н}, \quad (9)$$

где $I_{р.ц.}$ – расчетное значение тока узла нагрузки цеха, А;
$U_н$ – номинально напряжение в узле нагрузки, кВ.

Нагрузки на стороне высшего напряжения цеховой подстанции

Расчетные значения нагрузок на стороне высшего напряжения трансформаторов цеховых подстанций (рисунок 3, точка 3) определяем по

расчетным нагрузкам на шинах низшего напряжения данной подстанции (рисунок 3, точка 2) с учетом потерь в питающих трансформаторах [5].

Так как тип и мощность силового трансформатора пока еще не выбраны, то можно принимать:

$$\Delta P_T = 0,02 S_{р.ц.}; \quad (10)$$

$$\Delta Q_T = 0,1 S_{р.ц.}; \quad (11)$$

Таким образом, расчетные нагрузки на стороне высшего напряжения цеховых ТП определяются по следующим выражениям:

– расчетные активная и реактивная мощности:

$$P_{Р.Ц.В} = P_{Р.Ц.} + \Delta P_T; \quad (12)$$

$$Q_{Р.Ц.В} = Q_{Р.Ц.} + \Delta Q_T; \quad (13)$$

где $P_{Р.Ц.В}$ – расчетное значение активной мощности, потребляемой цехом на стороне высшего напряжения, кВт;

ΔP_T – потери активной мощности в цеховом трансформаторе, кВт;

$Q_{Р.Ц.В}$ – расчетное значение реактивной мощности, потребляемой цехом на стороне высшего напряжения, кВ·Ар;

ΔQ_T – потери реактивной мощности в цеховом трансформаторе, кВ·Ар;

– расчетная полная мощность:

$$S_{Р.В.Ц.} = \sqrt{P^2_{Р.В.Ц.} + Q^2_{Р.В.Ц.}} \quad (14)$$

где $S_{Р.В.Ц}$ – расчетное значение полной мощности, потребляемой цехом на стороне высшего напряжения, кВ·А.

– расчетный ток:

$$I_{Р.Ц.В.} = \frac{S_{Р.Ц.В}}{\sqrt{3} U_н}. \quad (15)$$

Расчётные электрические нагрузки цеха необходимы для выбора мощности трансформаторов цеховых ТП, линий, сечения шин и коммутационно-защитной аппаратуры РУ низшего напряжения ТП.

Высоковольтные нагрузки цеха

Расчетные нагрузки высоковольтных электроприемников цеха:

– расчетные активная и реактивная мощности:

$$P_{Р.Ц.С} = K_C P_H; \quad (16)$$

$$Q_{Р.Ц.С} = P_{Р.Ц.В} tg\phi_H, \quad (17)$$

где $P_{р.в.с}$ и $Q_{р.в.с}$ – расчетные значения активной и реактивной мощностей высоковольтной цеховой нагрузки, кВт и квар; K_C – коэффициент спроса высоковольтной нагрузки, о.е.; $tg\phi_H$ – коэффициент реактивной мощности, о.е.;

– расчетная полная мощность

$$S_{Р.В.С} = \sqrt{P^2_{Р.В.С.} + Q^2_{Р.В.С}}; \quad (18)$$

– расчетный ток

$$I_{Р.Ц.С.} = \frac{S_{Р.Ц.С}}{\sqrt{3} U_н}. \quad (19)$$

Суммарные расчетные мощности цеха [5, 6, 7]:

$$P_{P.\sum}=(P_{P.Ц.В}+P_{P.В.С})K_{o.a}; \quad (20)$$

$$Q_{P.\sum}=(Q_{P.Ц.В}+Q_{P.В.С})K_{o.q}; \quad (21)$$

$$S_{P.\sum}=\sqrt{P^2_{P.РП.}+Q^2_{P.РП}}; \quad (22)$$

$$I_{P.\sum}=\frac{S_{P.РП}}{\sqrt{3}U_н}. \quad (23)$$

Рассмотрим определение расчетного максимума на примере цеха № 5 (насосная).

Таблица 3 – Исходные данные для насосной на шинах ТП напряжением 0,4 кВ

$P_н, [кВт]$	K_C	$\cos\phi$	$F, [м^2]$	$\rho_{УД}, \left[\frac{Вт}{м^2}\right]$	$\cos\phi_O$	$K_{C.O}$
1580,0	1,0	0,8	1588,0	3,08	0,9	1,0

Нагрузка напряжением 6(10) кВ на заводе отсутствует.

Расчет нагрузок 0,4 кВ (формулы (1) – (9)):

$$P_C=K_C P_H=1{,}0\cdot 1580{,}0=1580{,}0\,кВт;$$

$$Q_C=tg\phi P_C=1580\cdot 0{,}75=1185{,}0\,квар.$$

– расчетные мощности освтительной нагрузки:

$$P_O=K_{CO}K_{ПП}p_{уд}F=1588{,}0\cdot 1{,}0\cdot 1{,}2\cdot 3{,}08=5{,}9\,кВт;$$

$$Q_O=tg\phi_{НО}P_{O.}=5{,}9\cdot 0{,}48=2{,}8\,квар.$$

Суммарные нагрузки на 0,4 кВ (точка 2, рисунок 3):

$$P_{Р.Ц.}=P_C+P_O=1580+5{,}9=1585{,}9\,кВт;$$

$$Q_{Р.Ц.}=Q_C+Q_O=1185+2{,}8=1187{,}8\,квар;$$

$$S_{Р.Ц.}=\sqrt{P^2_{Р.Ц.}+Q^2_{Р.Ц.}}=\sqrt{1585{,}9^2+1187{,}8^2}=1981{,}4\,кВ\cdot А.$$

– расчетный ток

$$I_{Р.Ц.}=\frac{S_{Р.Ц.}}{\sqrt{3}U_н}=\frac{1981{,}4}{\sqrt{3}\cdot 400}=2{,}86\,кА.$$

Расчет нагрузок на стороне 6 кВ ТП (формулы (10) – (15)):

Потери в силовом трансформаторе:

$$\Delta P_T\approx 0{,}02\cdot S_{Р.Ц.}=0{,}02\cdot 1981{,}4=39{,}6\,кВт;$$

$$\Delta Q_T\approx 0{,}1\cdot S_{Р.Ц.}=0{,}1\cdot 1981{,}4=198{,}1\,квар.$$

Расчетные цеховые низковольтные нагрузки на стороне 6 кВ ТП:

– расчетные мощности

$$P_{Р.Ц.В}=P_{Р.Ц}+\Delta P_T=1585{,}9+39{,}6=1625{,}5\,кВт;$$

$$Q_{Р.Ц.В.}=Q_{Р.Ц}+\Delta Q_T=1187{,}8+198{,}1=1385{,}9\ квар;$$

$$S_{Р.Ц.В}=\sqrt{P^2_{Р.Ц.В}+Q^2_{Р.Ц.В}}=\sqrt{1625{,}5^2+1385{,}9^2}=2136{,}1\,кВ\cdot А.$$

– расчетный ток

$$I_{Р.Ц.}=\frac{S_{Р.Ц.}}{\sqrt{3}U_н}=\frac{2136{,}1}{\sqrt{3}\cdot 6000}=205{,}6\,А.$$

Результаты расчета остальных цехов представлены в таблицах 4, 5 и 6.

Таблица 4 – Расчет электрических нагрузок цехов предприятия

Наименование цеха	$P_н$, кВт	cosφ	K_C	P_c, кВт	Q_c, квар	S_c, кВ·А	I_c, А
Склад комплектующих изделий	195	0,3	0,9	58,5	28,3	65,0	93,8
Склад материалов	230	0,3	0,9	69,0	33,4	76,7	110,7
Гальванический цех	3245	0,6	0,8	1947,0	1460,3	2433,8	3512,8
Механический цех	1890	0,6	0,9	1134,0	702,8	1334,1	1925,6
Насосная	1580	1,0	0,8	1580,0	1185,0	1975,0	2850,7
Цех пластмасс	4290	0,7	0,8	3003,0	2252,3	3753,8	5418,1
Цех резинотехнических изделий	2625	0,7	0,7	1837,5	1874,6	2625,0	3788,9
Сборочный цех цифровых щитовых приборов	2640	0,7	0,8	1848,0	1386,0	2310,0	3334,2
Сборочный цех аналоговых щитовых приборов	2235	0,7	0,8	1564,5	1173,4	1955,6	2822,7
Сборочный цех лабораторных приборов	3525	0,7	0,8	2467,5	1850,6	3084,4	4451,9
Опытный цех	985	0,2	0,8	197,0	147,8	246,3	355,4
Компрессорная	2320	1,0	0,8	2320,0	1740,0	2900,0	4185,8
Инструментальный цех	805	0,4	0,8	322,0	241,5	402,5	581,0
Административный корпус, маркетинг	630	0,3	0,8	189,0	141,8	236,3	341,0
Столовая	275	0,3	0,8	82,5	61,9	103,1	148,8
Ремонтно-механический цех	750	0,6	0,8	450,0	337,5	562,5	811,9
ЦЗЛ	195	0,4	0,8	78,0	58,5	97,5	140,7
Электроцех	763	0,4	0,8	305,2	228,9	381,5	550,6
Бытовой корпус	220	0,3	0,7	66,0	67,3	94,3	136,1
Медпункт	38	0,3	0,7	11,4	11,6	16,3	23,5
Склад готовой продукции	150	0,4	0,9	60,0	29,1	66,7	96,2
Магазин	28	0,3	0,7	8,4	8,6	12,0	17,3
Итого по 0,4 кВ	**29614**	-	-	**19598,**	**15021,**	**24692,8**	-

Таблица 5 – Расчет осветительной нагрузки подразделений завода

Наименование цеха	F, $м^2$	Руд Вт/ $м^2$	$К_{ПП}$	Кco	P_0, кВт	Q_0, квар	$S_{р.ц.}$ кВ·А	$I_{р.ц.}$ А
Склад комплектующих изделий	264	2,10	1,2	0,60	0,4	0,2	65,4	94,5
Склад материалов	352	2,10	1,2	0,60	0,5	0,3	77,3	111,5
Гальванический цех	3270	3,11	1,2	1,00	12,2	5,9	2447,1	3532,0
Механический цех	1973	3,65	1,2	1,00	8,6	4,2	1343,7	1939,4
Насосная	1588	3,08	1,2	1,00	5,9	2,8	1981,4	2859,9
Цех пластмасс	1547	4,11	1,2	1,00	7,6	3,7	3762,1	5430,1
Цех резинотехнических изделий	1602	4,11	1,2	1,00	7,9	3,8	2633,3	3800,8
Сборочный цех цифровых щитовых приборов	1591	3,68	1,2	1,00	7,0	3,4	2317,7	3345,3
Сборочный цех аналоговых щитовых приборов	1336	3,68	1,2	1,00	5,9	2,9	1962,1	2832,0
Сборочный цех лабораторных приборов	1417	3,68	1,2	1,00	6,3	3,0	3091,2	4461,8
Опытный цех	359	3,68	1,2	1,00	1,6	0,8	248,0	357,9
Компрессорная	1760	3,08	1,2	1,00	6,5	3,2	2907,1	4196,0
Инструментальный цех	535	4,11	1,2	1,00	2,6	1,3	405,4	585,1
Административный корпус, маркетинг	825	5,00	1,2	0,80	4,0	1,9	240,6	347,2
Столовая	322	5,00	1,2	0,80	1,5	0,7	104,8	151,3
Ремонтно-механический цех	703	5,00	1,2	1,00	4,2	2,0	567,1	818,5
ЦЗЛ	230	5,00	1,2	0,80	1,1	0,5	98,7	142,5
Электроцех	1004	3,50	1,2	1,0	4,2	2,0	386,1	557,3

				0				
Бытовой корпус	280	5,00	1,2	1,0 0	1,7	0,8	96,0	138,6
Медпункт	146	5,35	1,2	1,0 0	0,9	0,5	17,3	24,9
Склад готовой продукции	198	2,10	1,2	0,6 0	0,3	0,1	67,0	96,7
Магазин	150	5,00	1,2	1,0 0	0,9	0,4	12,9	18,7

Таблица 6 – Расчет электрических нагрузок подразделений завода с учетом потерь

Наименование цеха	$\Delta P_т$, кВт	$\Delta Q_т$, квар	$P_{р.ц.}$, кВт	$Q_{р.ц.}$, квар	$S_{ц.}$, кВ·А	$I_{ц.}$, А
Склад комплектующих изделий	1,3	6,5	60,2	35,1	69,7	6,7
Склад материалов	1,5	7,7	71,1	41,4	82,3	7,9
Гальванический цех	48,9	244,7	2008,1	1710,9	2638,1	253,9
Механический цех	26,9	134,4	1169,5	841,3	1440,7	138,6
Насосная	39,6	198,1	1625,5	1386,0	2136,2	205,6
Цех пластмасс	75,2	376,2	3085,9	2632,2	4056,0	390,3
Цех резинотехнических изделий	52,7	263,3	1898,1	2141,8	2861,8	275,4
Сборочный цех цифровых щитовых приборов	46,4	231,8	1901,4	1621,2	2498,7	240,4
Сборочный цех аналоговых щитовых приборов	39,2	196,2	1609,6	1372,4	2115,3	203,5
Сборочный цех лабораторных приборов	61,8	309,1	2535,6	2162,8	3332,7	320,7
Опытный цех	5,0	24,8	203,5	173,3	267,3	25,7
Компрессорная	58,1	290,7	2384,6	2033,9	3134,2	301,6
Инструментальный цех	8,1	40,5	332,7	283,3	437,0	42,1
Административный корпус, маркетинг	4,8	24,1	197,8	167,7	259,3	25,0
Столовая	2,1	10,5	86,1	73,1	113,0	10,9
Ремонтно-механический цех	11,3	56,7	465,6	396,3	611,4	58,8
ЦЗЛ	2,0	9,9	81,1	68,9	106,4	10,2
Электроцех	7,7	38,6	317,1	269,6	416,2	40,1
Бытовой корпус	1,9	9,6	69,6	77,8	104,4	10,0
Медпункт	0,3	1,7	12,7	13,8	18,8	1,8

Склад готовой продукции	1,3	6,7	61,6	35,9	71,3	6,9
Магазин	0,3	1,3	9,6	10,3	14,1	1,4
Итого по 0,4 кВ	-	-	**20187,1**	**17548,8**	**26784,7**	-

2.2 Расчет мощности компенсирующих устройств узла нагрузки

Согласно [7] мощность компенсирующих устройств в узле нагрузки определяется

$$Q_{ку\,i} = P_{pi} K, \qquad (24)$$

где $P_{P\ i}$ – расчетная мощность i-го узла нагрузки, кВт; К – коэффициент пропорциональности, который зависит от текущего значения коэффициента активной мощности (расчетного) и требуемого (достижимого) для компенсации перетоков реактивной мощности питающих сеть узла нагрузки.

Расчетную мощность компенсирующих устройств округляют до ближайшей (по стандартной шкале) мощности. При выборе типа компенсирующих устройств рекомендуется применять комплектные установки (ККУ).

Примечание: устанавливать компенсирующие устройства мощностью менее 150 квар обычно экономически не целесообразно.

Рассмотрим расчет компенсирующих устройств на примере цеха № 5 (насосная):

$$P_{р.ц} = 1625,5\,кВт, Q_{р.ц} = 1386,0\,квар;$$

тогда значение коэффициента активной мощности (расчетного) $\cos\varphi_{расч}=0,80$.

Принимаем достижимое значение $\cos\varphi_{расч} = 0,96$.

Тогда коэффициент пропорциональности (К) [7] равен 0,46.

Расчетная мощность компенсирующих устройств

$$Q_{р.ку} = P_{р.ц} K = 1625,5 \cdot 0,46 = 747,7\,квар$$

По полученному значению выбираем ККУ стандартной мощности 2×300 квар (АКУ 0,4-300-25УЗ).

После выбора мощности компенсирующих устройств всех узлов нагрузки 0,4 кВ необходимо скорректировать расчетные значения реактивной мощности всех ТП с учетом установленных БСК.

Итоговая мощность цеха № 5 с учетом установленных БСК:

– потребляемая реактивная мощность с шин 0,4 кВ трансформаторной подстанции цеха № 5

$$Q_{р.БСК} = Q_р - Q_{БСК\,ст} = 1386 - 600 = 786,0\,квар; \qquad (25)$$

– потребляемая полная мощность с шин 0,4 кВ трансформаторной подстанции цеха № 5

$$S_{р.БСК} = \sqrt{P_р^2 + Q_{р\,БСК}^2} = \sqrt{1625,5^2 + 786^2} = 1805,6\,квар; \qquad (26)$$

Результаты расчетов мощности компенсирующих устройств остальных цехов завода сведены в таблицу 7.

Таблица 7 – Результаты расчетов компенсации реактивной мощности

Наименование	$Q_{Р.Ц.}$,	cosφ	К	$Q_{Р.КУ.}$,	$Q_{БСК.СТ}$	$Q_{р.БСК}$,	$S_{р.БСК}$,

цеха	квар			квар	, квар	квар	квар
Склад комплектующих изделий	35,1	0,88	0,25	15,1	0	35,1	69,7
Склад материалов	41,4	0,88	0,25	17,8	0	41,4	82,3
Гальванический цех	1710,9	0,8	0,46	923,7	900	810,9	2165,7
Механический цех	841,3	0,81	0,43	502,9	500	341,3	1218,3
Насосная	1386,0	0,8	0,46	747,7	600	786,0	1805,6
Цех пластмасс	2632,2	0,8	0,46	1419,5	1200	1432,2	3402,0
Цех резинотехнических изделий	2141,8	0,66	0,85	1613,4	1200	941,8	2118,9
Сборочный цех цифровых щитовых приборов	1621,2	0,8	0,46	874,6	800	821,2	2071,1
Сборочный цех аналоговых щитовых приборов	1372,4	0,8	0,46	740,4	600	772,4	1785,4
Сборочный цех лабораторных приборов	2162,8	0,8	0,46	1166,4	1000	1162,8	2789,5
Опытный цех	173,3	0,8	0,46	93,6	0	173,3	267,3
Компрессорная	2033,9	0,8	0,46	1096,9	1000	1033,9	2599,1
Инструментальный цех	283,3	0,8	0,46	153,1	150	133,3	358,5
Административный корпус, маркетинг	167,7	0,8	0,46	91,0	0	167,7	259,3
Столовая	73,1	0,8	0,46	39,6	0	73,1	113,0
Ремонтно-механический цех	396,3	0,8	0,46	214,2	200	196,3	505,2
ЦЗЛ	68,9	0,8	0,46	37,3	0	68,9	106,4
Электроцех	269,6	0,8	0,46	145,9	0	269,6	416,2
Бытовой корпус	77,8	0,66	0,85	59,2	0	77,8	104,4
Медпункт	13,8	0,68	0,79	10,0	0	13,8	18,8
Склад готовой продукции	35,9	0,88	0,25	15,4	0	35,9	71,3
Магазин	10,3	0,68	0,79	7,6	0	10,3	14,1

2.3 Расчетные нагрузки на шинах низшего напряжения пункта приема электроэнергии

Расчетные значения нагрузок на шинах НН ПГВ (рисунок 3, точка 4) определяются по расчетным значениям мощностей всех отходящих от секции шин линий и силовой нагрузки напряжением выше 1 кВ, подключенной к данной секции шин, с учетом коэффициента одновременности максимумов силовой нагрузки в данном узле питания и потерь мощности в распределительных сетях. Также необходимо учитывать расчетную мощность осветительной нагрузки территории предприятия и потери активной мощности в компенсирующих устройствах (при их наличии), подключенных к данному узлу нагрузки.

Расчетные значения нагрузок на данном уровне определяются по формулам:

– расчетные значения активной и реактивной мощностей:

$$P_{Р.НН.ППЭ} = K_{о.а} K_{ПОТ} \sum P_{р.З} + P_{р.о.т}, \quad (27)$$

$$Q_{Р.НН.ППЭ} = P_{Р.ППЭ} tg\phi_{С.В.}, \quad (28)$$

где $P_{Р.НН.ППЭ}$ и $Q_{Р.НН.ППЭ}$ – расчетное значение активной и реактивной мощностей потребителей, включенных от шин НН ПГВ, кВт и квар; $\sum P_{Р.З}$ – сумма активных расчетных мощностей всех потребителей, включенных от шин НН ПГВ (рисунок 3, точка 3), кВт; $K_{о.а}$ – коэффициент одновременности максимумов силовой нагрузки в рассматриваемом узле потребления; $K_{ПОТ}$ – коэффициент потерь мощности в распределительных сетях; $P_{Р.О.Т}$ – расчетное значение активной мощности осветительной нагрузки территории предприятия, кВт.

Расчетное значение активной мощности осветительной нагрузки территории предприятия:

$$P_{О.ТЕР} = F_{ТЕР} K_{С.О.ТЕР} K_{ПП} p_{уд}. \quad (29)$$

Расчетное значение полной мощности $S_{Р.НН.ППЭ}$, потребляемой от шин НН ПГВ, кВ·А:

$$S_{Р.НН.ППЭ} = \sqrt{P^2_{Р.ППЭ} + Q^2_{Р.ППЭ}}. \quad (30)$$

Расчетные значения тока

$$I_{Р.НН.ППЭ} = \frac{S_{Р.ППЭ}}{\sqrt{3} U_Н}, \quad (31)$$

где $I_{Р.НН.ППЭ}$ – расчетный ток линий, питающих шины НН ПГВ, А; $U_Н$ – номинальное напряжение на шинах РУ НН ПГВ, кВ.

При определении расчетных нагрузок на шинах НН распределительного устройства ПГВ значение коэффициента одновременности максимумов силовой нагрузки определяются по [5].

Расчетные нагрузки на шинах НН распределительного устройства ПГВ определяются с учетом потерь в сетях системы распределения, коэффициента одновременности максимумов нагрузок в данном узле и мощности осветительной нагрузки территории предприятия ($P_{О.ТЕР}$).

Определим мощность осветительной нагрузки территории предприятия.

Площадь территории ($F_{ТЕР}$) для освещения

$$F_{ТЕР} = F_{общ} - \sum F_{Ц} = 82720 - 21415 = 61305,0\,м^2,$$

где $F_{общ}$ – площадь по периметру предприятия, м^2; $\sum F_{Ц}$ – сумма площадей цехов предприятия, м^2.

Активная мощность осветительной нагрузки территории ($P_{О.ТЕР}$) рассчитывается по удельной мощности ($p_{уд}$) с учетом коэффициента спроса ($K_{С.О.}$) и коэффициента потерь в пуско-регулирующей аппаратуре ($K_{ПП}$):

$$P_{О.ТЕР} = F_{ТЕР}\,\rho_{УД}\,K_{С.О.}\,K_{ПП} = 61305,0 \cdot 0,9 \cdot 10^{-3} \cdot 0,9 \cdot 1,2 = 59,6\,кВт.$$

Реактивная мощность осветительной нагрузки территории

$$Q_{О.ТЕР} = P_{О.ТЕР} \cdot tg\,\phi_{О.ТЕР} = 59,6 \cdot 0,484 = 28,8\,квар.$$

Так как распределительные сети выполняются, как правило, кабельными линиями, принимаем коэффициент потерь ($K_{ПОТ}$) равным 1,05 (т.е. 5%), а коэффициент одновременности максимумов нагрузок ($K_О$) равным 0,9.

Таким образом, расчетные мощности на шинах НН распределительного устройства ПГВ

$$P_{Р.НН.ППЭ} = \left(\Sigma P_{Р.Ц.0,4} + \Sigma P_{Р.Ц..6}\right) \cdot K_о \cdot K_{ПОТ} + P_{О.ТЕР} = \left(20187,1 + 0\right) \cdot 0,9 \cdot 1,05 + 59,6 = 19136,4\,кВт;$$

$$Q_{Р.НН.ППЭ} = \left(\Sigma Q_{Р.Ц.0,4} + \Sigma Q_{Р.Ц..6}\right) \cdot K_о \cdot K_{ПОТ} + Q_{О.ТЕР} = \left(9398,8 + 0\right) \cdot 0,9 \cdot 1,05 + 28,8 = 8910,7\,квар;$$

$$S_{Р.НН.ППЭ} = \sqrt{P^2_{Р.НН.ППЭ} + Q^2_{Р.НН.ППЭ}} = \sqrt{19136,4^2 + 8910,7^2} = 21109,3\ кВ \cdot А.$$

2.4 Расчетные нагрузки на шинах высшего напряжения пункта приема электроэнергии

Расчетные значения нагрузок на стороне ВН ПГВ определяют по расчетным значениям нагрузок на шинах РУ НН ПГВ с учетом потерь в силовых трансформаторах ПГВ.

Расчетные значения активной и реактивной мощностей

$$P_{Р.ВН.ППЭ} = P_{Р.НН.ППЭ} + \Delta P_Т, Q_{Р.ВН.ППЭ} = Q_{Р.НН.ППЭ} + \Delta Q_Т, \qquad (32)$$

где $P_{Р.ВН.ППЭ}$ и $Q_{Р.ВН.ППЭ}$ – расчетное значение активной и реактивной мощностей на стороне ВН ПГВ, кВт и квар; $\Delta P_Т$ и $\Delta Q_Т$ – потери активной и реактивной мощностей в силовом трансформаторе ПГВ, кВт и квар.

Потери активной и реактивной мощностей в трансформаторе приближенно можно определить по аналогии с потерями в трансформаторах ТП.

Расчетное значение полной мощности

$$S_{Р.ВН.ППЭ} = \sqrt{P^2_{Р.ВН.ППЭ} + Q^2_{Р.ВН.ППЭ}}. \qquad (33)$$

где $S_{Р.ВН.ППЭ}$ – расчетное значение полной мощности на стороне ВН ПГВ, кВ·А;

расчетные значения тока

$$I_{Р.ВН.ППЭ} = \frac{S_{Р.ВН.ППЭ}}{\sqrt{3}\,U_Н}, \qquad (34)$$

где $I_{Р.ВН.ППЭ}$ – расчетное значение тока линий, питающих ПГВ предприятия от источника питания, А; $U_Н$ – номинальное напряжение питания, кВ.

Расчетные значения нагрузок на стороне ВН ПГВ являются нагрузками по предприятию в целом.

Определим нагрузки на стороне ВН ПГВ (предварительно, т.к. трансформаторы не выбраны).

$$\Delta P_Т = 0,02 \cdot S_{Р.НН.ППЭ} = 0,02 \cdot 21109,3 = 422,19,\,кВт;$$

$$\Delta Q_T = 0{,}1 \cdot S_{Р.НН.ППЭ} = 0{,}1 \cdot 21109{,}3 = 2110{,}9\ кВт;$$

$$P_З = P_{Р.НН.ППЭ} + \Delta P_T = 19136{,}4 + 422{,}19 = 19558{,}6\ кВт;$$

$$Q_З = Q_{Р.НН.ППЭ} + \Delta Q_T = 8910{,}7 + 2110{,}9 = 11021{,}6\ квар;$$

$$S_З = \sqrt{P_З^2 + Q_З^2} = \sqrt{19558{,}6^2 + 11021{,}6^2} = 22450{,}3\ кВ \cdot А.$$

3 Построение картограммы нагрузок предприятия

Расчет ЦЭН производится для определения мест расположения цеховых трансформаторных подстанций и пункта приема электрической энергии на генеральном плане завода, а также для построения картограммы нагрузок.

$$P_{Р.Ц}=\pi r_i^2 m, \qquad (35)$$

где r_i – радиус круга; m – масштаб; π = 3,14, откуда выразим r_i:

$$r_i=\sqrt{\frac{P_{Pi}}{\pi m}}. \qquad (36)$$

Осветительная нагрузка приемников электроэнергии (цехов, промышленного предприятия в целом и т.п.) показывается на картограмме в виде сегментов круга. Угол сектора определяется по формуле

$$\alpha_i=\frac{P_{освi}\cdot 360}{\pi r^2 m}, \qquad (37)$$

где $P_{освi}$ – активная мощность осветительной нагрузки i-го цеха, кВт.

На генеральном плане завода произвольным образом выбираем оси координат. Координаты центра электрических нагрузок завода определяются по следующим формулам:

$$x_0=\frac{\sum\left(P_{Pi}\cdot x_i\right)}{\sum P_{Р.Ц.i}}\,мм; \qquad (38)$$

$$y_0=\frac{\sum\left(P_{Pi}\cdot y_i\right)}{\sum P_{Р.Р.Ц.i}}\,мм, \qquad (39)$$

где $x_i, y_i -$ координаты ЦЭН для *i*-го цеха; $P_{Pi} -$ расчетная нагрузка *i*-го цеха.

Определяем параметры окружности для цеха № 5 (насосной):

$$r=\sqrt{\frac{P_P}{\pi\cdot m}}=\sqrt{\frac{1585,9}{3,14\cdot 2,5}}=15,9\,мм.$$

где $P_P=P_{Р.С.}+P_{Р.О.} -$ расчетная активная мощность с учетом осветительной нагрузки, $m=2,0\left[\frac{кВт}{мм^2}\right] -$ масштаб.

Угол сектора определяется по формуле:

$$\alpha=\frac{5,9\cdot 360}{3,14\cdot 15,9^2\cdot 2,0}=1,3°.$$

Координаты центра электрических нагрузок

$$x_0=\frac{\sum\left(P_{Pi}\cdot x_i\right)}{\sum P_{Р.Ц.i}}=86,0\,мм;$$

$$y_0=\frac{\sum\left(P_{Pi}\cdot y_i\right)}{\sum P_{Р.Р.Ц.i}}=152\,мм.$$

Таким образом, центр электрических нагрузок завода находится в точке с координатами (86,0 мм; 152,0 мм).

Результаты расчетов электрических нагрузок всех цехов сведены в таблицах 8.

По полученным данным строим картограмму нагрузок (рисунок 4).

Пункт приема электрической энергии можно расположить только в (92,0 мм; 139,0 мм), что вызвано плотной застройкой территории завода.

Таблица 8 – Картограмма электрических нагрузок

Наименование цеха	$P_{Р.С.}$, [кВт]	$P_{Р.О.}$, [кВт]	x, [мм]	y, [мм]	$P_{Р}$, [кВт]	r_i, [мм]	α, [град]
Электроприемники напряжением 0,4 кВ							
Склад комплектующих изделий	58,5	0,4	15,7	225,0	58,9	3,1	2,4
Склад материалов	69,0	0,5	45,4	225,0	69,5	3,3	2,8
Гальванический цех	1947,0	12,2	64,0	110,0	1959,2	17,7	2,2
Механический цех	1134,0	8,6	29,0	195,8	1142,6	13,5	2,7
Насосная	1580,0	5,9	81,5	193,4	1585,9	15,9	1,3
Цех пластмасс	3003,0	7,6	97,0	221,0	3010,6	21,9	0,9
Цех резинотехнических изделий	1837,5	7,9	128,0	187,0	1845,4	17,1	1,5
Сборочный цех цифровых щитовых приборов	1848,0	7,0	79,0	159,0	1855,0	17,2	1,4
Сборочный цех аналоговых щитовых приборов	1564,5	5,9	27,7	159,0	1570,4	15,8	1,4
Сборочный цех лабораторных приборов	2467,5	6,3	128,8	159,0	2473,8	19,8	0,9
Опытный цех	197,0	1,6	61,0	71,0	198,6	5,6	2,9
Компрессорная	2320,0	6,5	118,0	79,1	2326,5	19,2	1,0
Инструментальный цех	322,0	2,6	26,5	68,0	324,6	7,2	2,9
Административный корпус, маркетинг	189,0	4,0	98,0	31,4	193,0	5,5	7,4
Столовая	82,5	1,5	52,6	29,4	84,0	3,7	6,6
Ремонтно-механический цех	450,0	4,2	19,7	49,2	454,2	8,5	3,3
ЦЗЛ	78,0	1,1	94,6	52,0	79,1	3,5	5,0
Электроцех	305,2	4,2	59,0	49,6	309,4	7,0	4,9
Бытовой корпус	66,0	1,7	122,0	52,0	67,7	3,3	8,9
Медпункт	11,4	0,9	129,0	34,4	12,3	1,4	27,4
Склад готовой	60,0	0,3	17,4	14,6	60,3	3,1	1,8

продукции							
Магазин	8,4	0,9	49,0	14,6	9,3	1,2	34,8

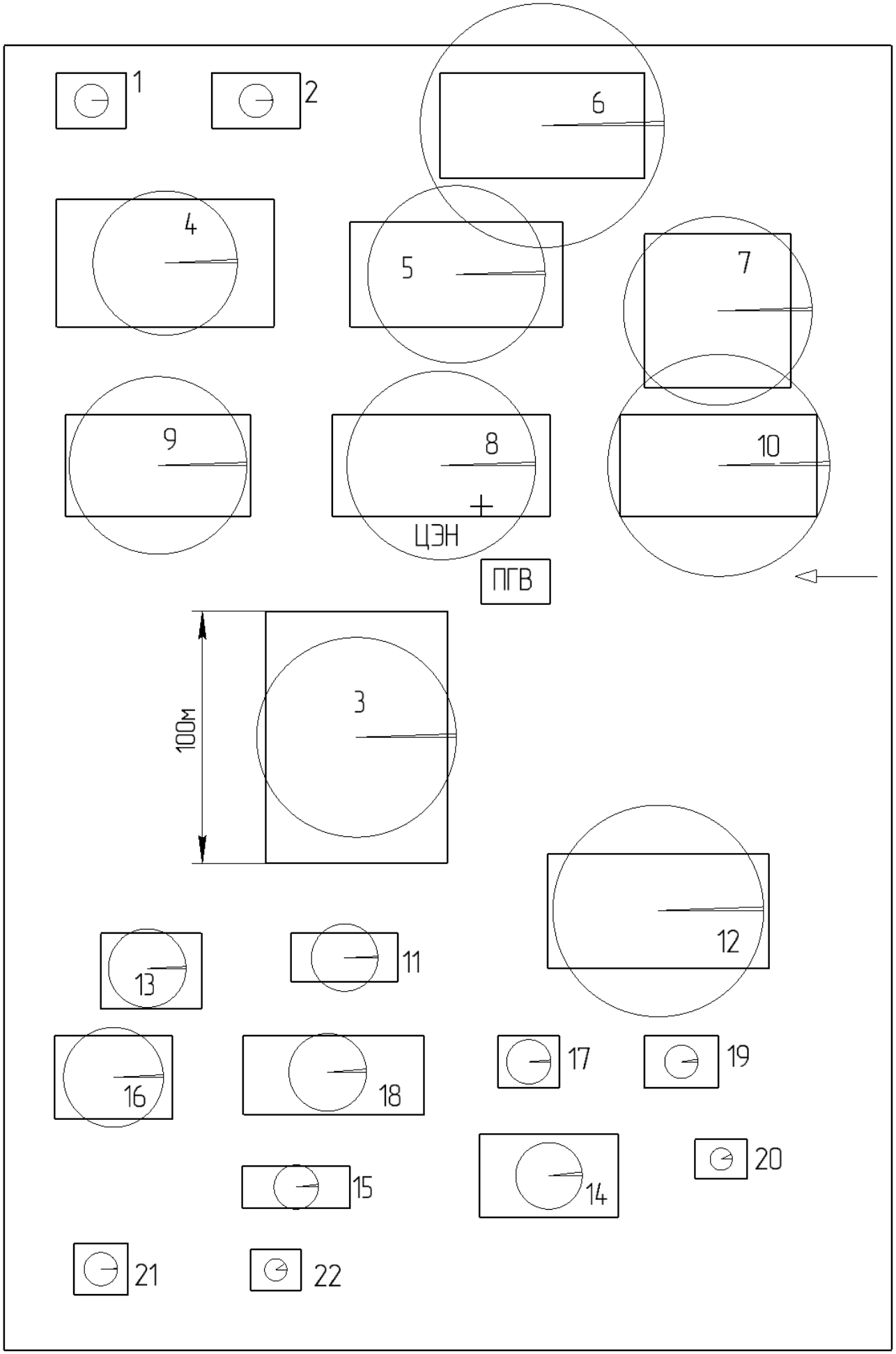

Рисунок 4 – Картограмма электрических нагрузок завода «Электроточприбор»

					ВКР 02068999-29-08-ОмГТУ.НИ.2016.ПЗ	лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

4 Расчет системы питания

4.1 Выбор рационального напряжения системы питания

Одним из основных вопросов проектирования предприятия является выбор рациональных напряжений для схемы, поскольку последними определяются параметры линий электропередачи и выбираемого электрооборудования подстанций и сетей, а следовательно, размеры капиталовложений, расход цветного металла, потери электроэнергии и эксплуатационные расходы. Рациональное построение системы электроснабжения во многом зависит от правильного выбора напряжения системы и распределения.

Под рациональным напряжением $U_{рац}$ понимается такое значение стандартного напряжения, при котором сооружение и эксплуатация СЭС имеют минимальное значение приведенных затрат. В проектной практике обычно используют следующие выражения для определения приближенного значения рационального напряжения $U_{рац}$:

$$U_{рац} = 16\sqrt[4]{P_p L} = 16\sqrt[4]{19136,4 \cdot 8,0} = 56,28\,кВ$$

Так как в бакалаврской работе ТЭР не предусмотрен, то принимаем за рациональное напряжение ближайшее большее напряжение, т.е. 110 кВ.

4.2 Компенсация реактивной мощности системы распределения

Реактивную мощность, которую может потреблять предприятие от энергосистемы, можно определить через нормативное значение коэффициента реактивной мощности $tg\varphi_Э$ [8]:

$$tg\varphi_Э = 0,5.$$

Тогда экономическая величина перетока реактивной мощности в часы максимальных нагрузок системы, передаваемой в сеть потребителя:

$$Q_Э = P_З \cdot tg\,\phi_Э = 19136,4 \cdot 0,5 = 9568,2\,квар.$$

Величина реактивной мощности, разрешенная энергосистемой, превышает расчетную реактивную мощность, потребляемую предприятием, следовательно, выбранных компенсирующих устройств достаточно для выполнения требований нормативных документов по компенсации реактивной мощности.

4.3 Построение графиков нагрузок

Графики электрических нагрузок необходимы для выбора мощности трансформатора ГПП, определения потерь электрической энергии, потребления электроэнергии предприятием, годового числа часов использования максимальной нагрузки. Так как предприятие находится в стадии проектирования, за основу берутся по три типовых суточных графика нагрузок, характерных для предприятий рассматриваемой отрасли производства: зимний, летний и выходных и праздничных дней, отдельно для активной и для реактивной мощности.

На основании суточных графиков строится годовой график активной мощности по продолжительности. При построении графика принята продолжительность зимнего периода - 151 сутки, летнего – 110 суток,

выходных и праздничных дней (из расчета пятидневной рабочей недели) – 104 суток.

Расчетные значения мощностей для построения графиков нагрузок представлены в таблицах 9, 10.

Таблица 9 – Суточный график нагрузок предприятия с учетом компенсации (зима)

№ на плане	% $P_{Р.З.}$	P, МВт	Q, Мвар	S, кВА
1	35	6697,7	3118,7	7388,3
2	35	6697,7	3118,7	7388,3
3	33	6315,0	2940,5	6966,1
4	35	6697,7	3118,7	7388,3
5	35	6697,7	3118,7	7388,3
6	32	6123,6	2851,4	6755,0
7	27	5166,8	2405,9	5699,5
8	50	9568,2	4455,4	10554,6
9	92	17605,5	8197,8	19420,6
10	100	19136,4	8910,7	21109,3
11	100	19136,4	8910,7	21109,3
12	93	17796,9	8287,0	19631,6
13	88	16840,0	7841,4	18576,2
14	97	18562,3	8643,4	20476,0
15	93	17796,9	8287,0	19631,6
16	90	17222,8	8019,6	18998,4
17	85	16265,9	7574,1	17942,9
18	90	17222,8	8019,6	18998,4
19	90	17222,8	8019,6	18998,4
20	88	16840,0	7841,4	18576,2
21	93	17796,9	8287,0	19631,6
22	93	17796,9	8287,0	19631,6
23	86	16457,3	7663,2	18154,0
24	70	13395,5	6237,5	14776,5

Таблица 10 – Суточный график нагрузок предприятия с учетом компенсации (лето)

№ на плане	% $P_{Р.З.}$	P, МВт	Q, Мвар	S, кВА
1	32	6123,6	2851,4	6755,0
2	32	6123,6	2851,4	6755,0
3	30	5740,9	2673,2	6332,8

4	32	6123,6	2851,4	6755,0
5	32	6123,6	2851,4	6755,0
6	27	5166,8	2405,9	5699,5
7	20	3827,3	1782,1	4221,9
8	41	7845,9	3653,4	8654,8
9	82	15691,8	7306,8	17309,6
10	92	17605,5	8197,8	19420,6
11	92	17605,5	8197,8	19420,6
12	92	17605,5	8197,8	19420,6
13	85	16265,9	7574,1	17942,9
14	92	17605,5	8197,8	19420,6
15	88	16840,0	7841,4	18576,2
16	84	16074,6	7485,0	17731,8
17	78	14926,4	6950,3	16465,3
18	81	15500,5	7217,7	17098,5
19	82	15691,8	7306,8	17309,6
20	80	15309,1	7128,6	16887,4
21	88	16840,0	7841,4	18576,2
22	90	17222,8	8019,6	18998,4
23	83	15883,2	7395,9	17520,7
24	67	12821,4	5970,2	14143,2

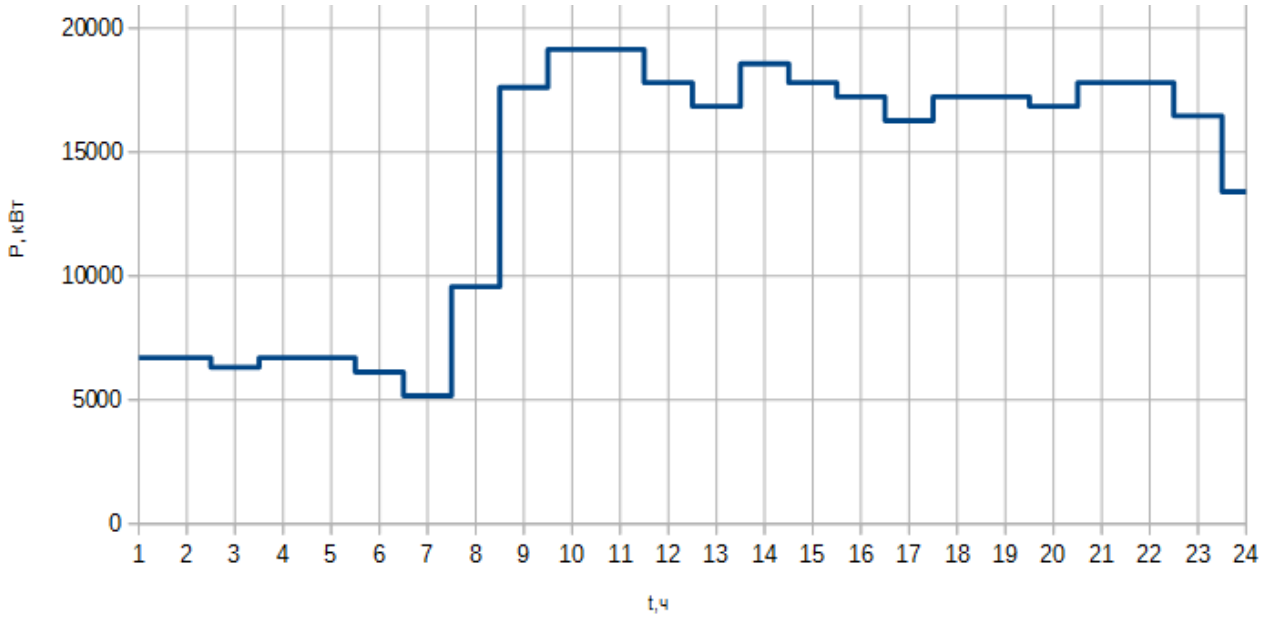

Рисунок 5 – Суточный график по активной мощности в % (Зима)

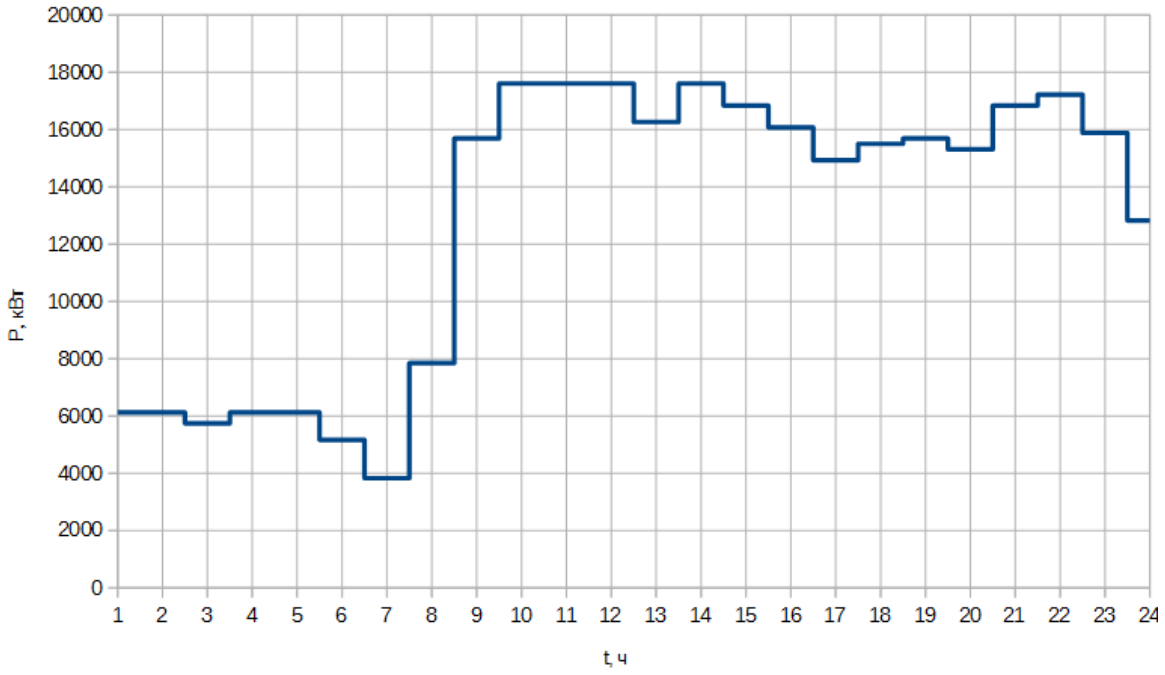

Рисунок 6 – Суточный график по активной мощности в % (Лето)

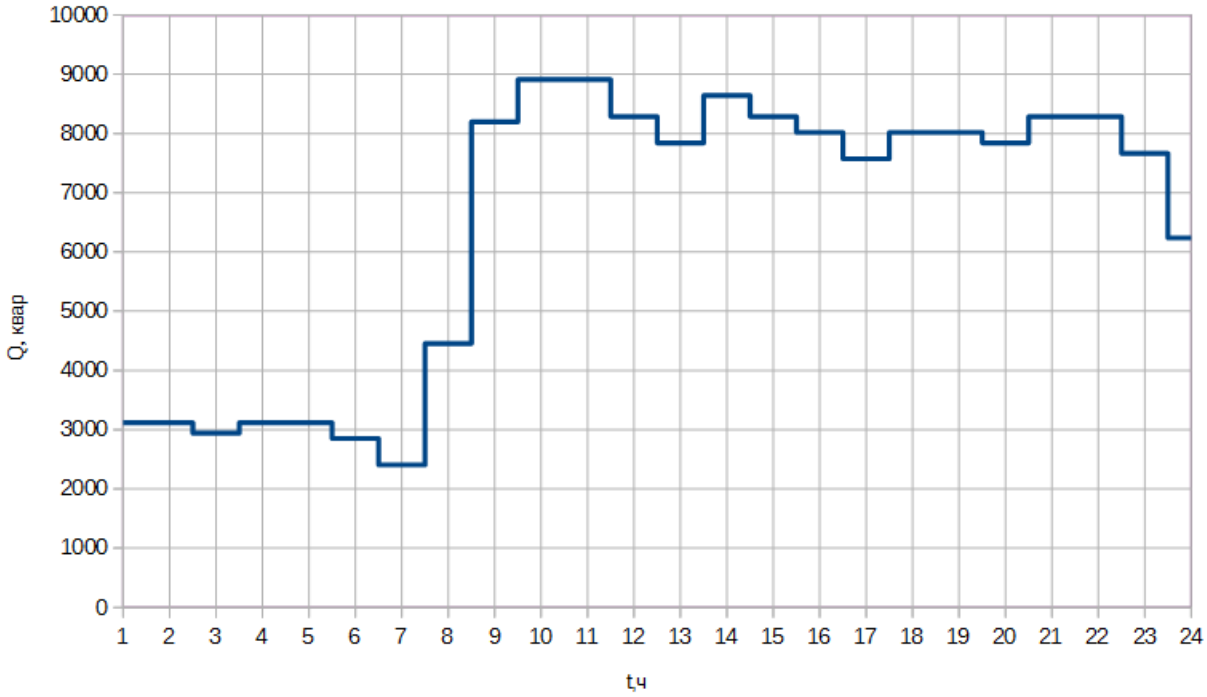

Рисунок 7 – Суточный график по реактивной мощности в % (Зима)

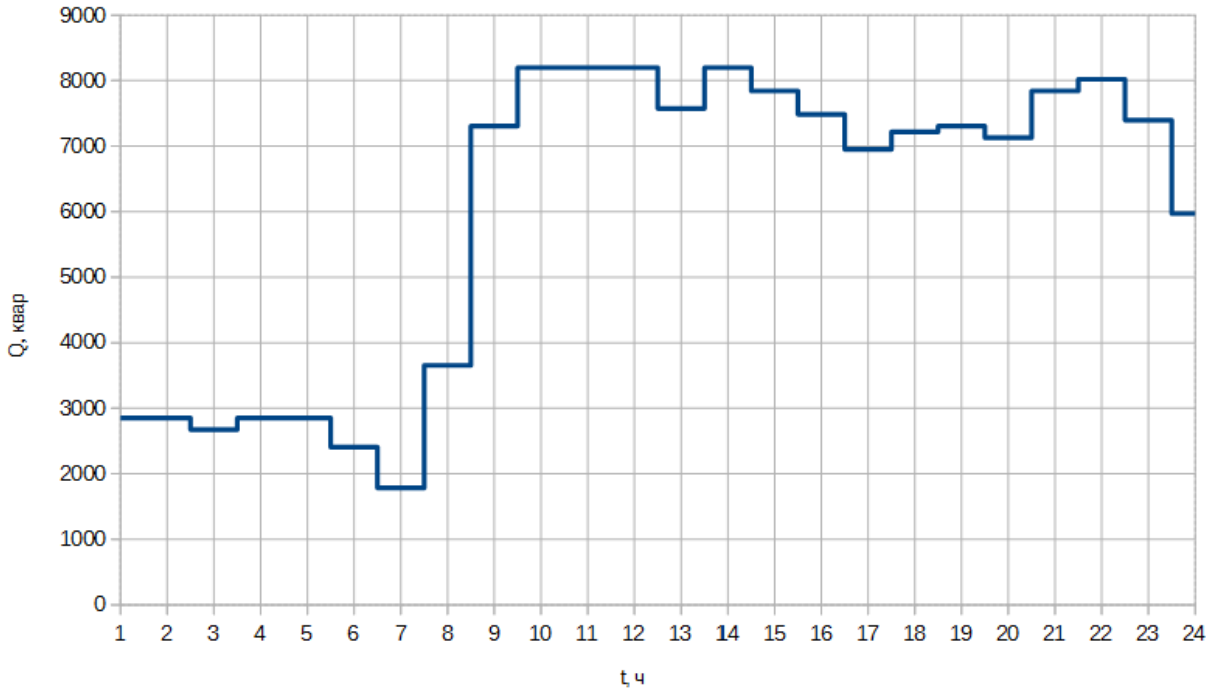

Рисунок 8 – Суточный график по реактивной мощности в % (лето)

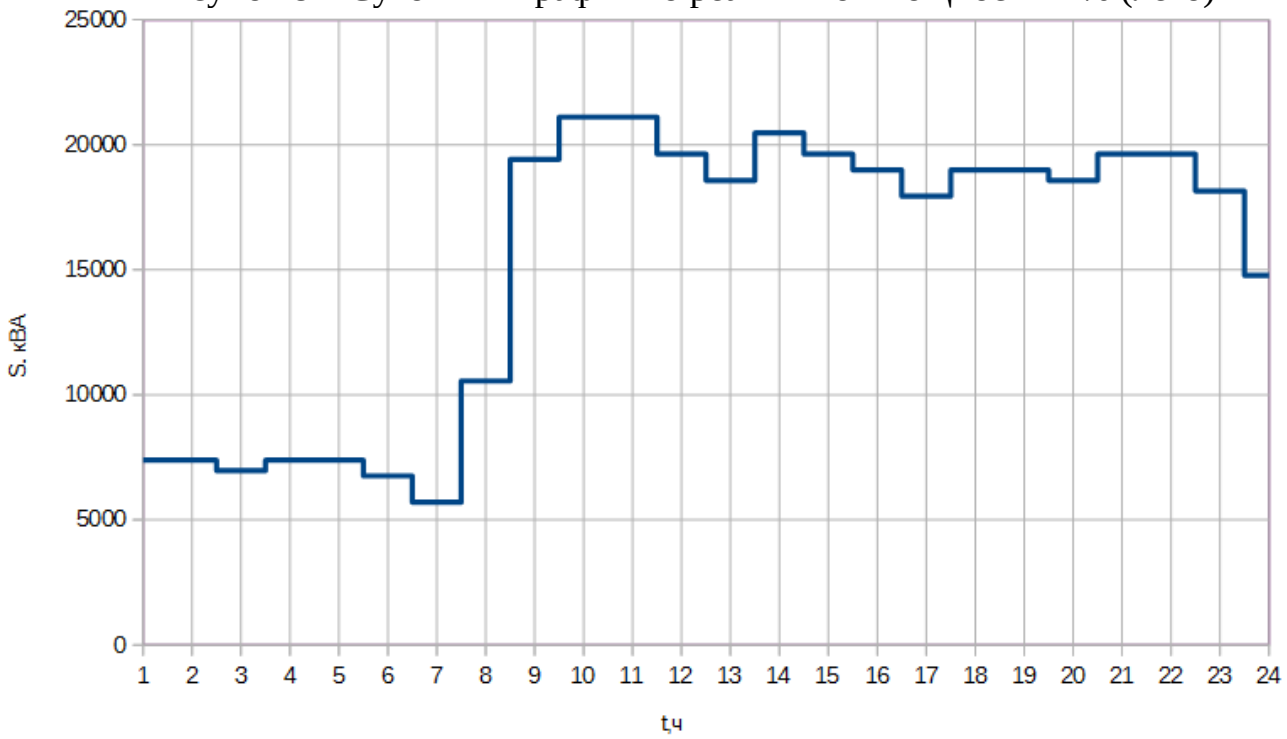

Рисунок 9 – Суточный график по полной мощности в % (зима)

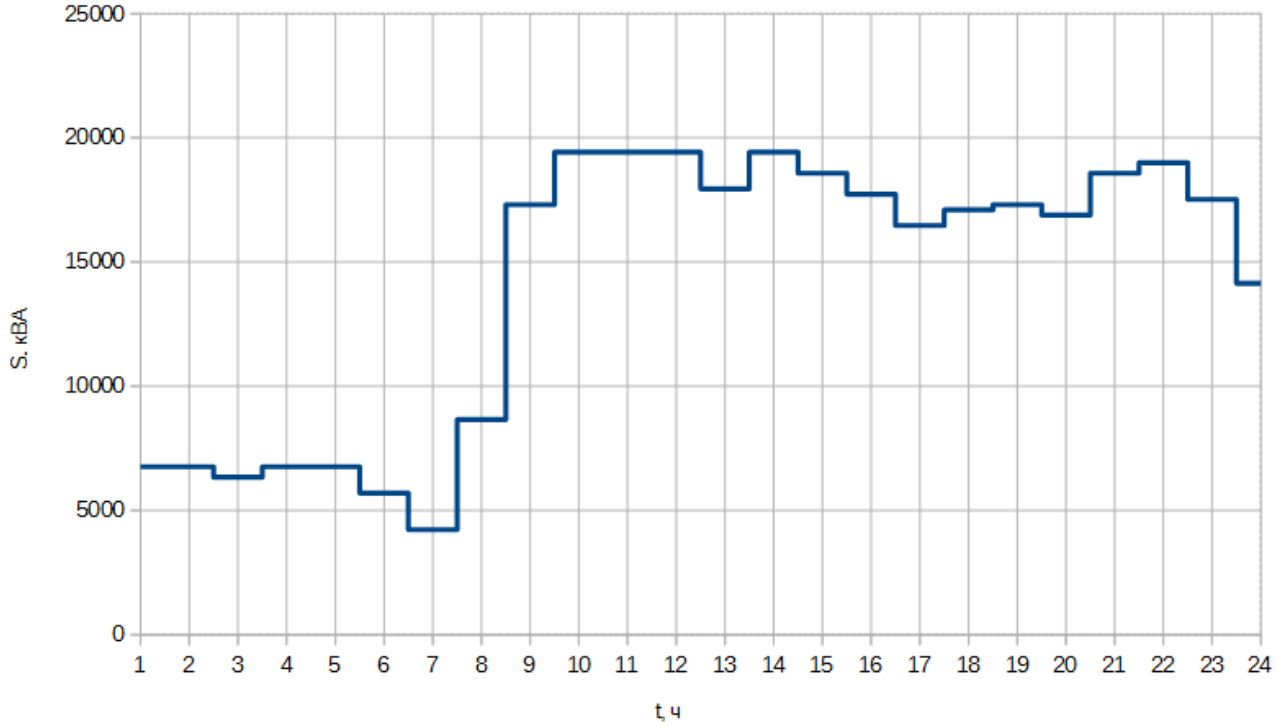

Рисунок 10 – Суточный график по полной мощности в % (лето)

На основании суточных графиков с учетом средневзвешенного коэффициента активной мощности строится суточный график полной мощности S, МВА.

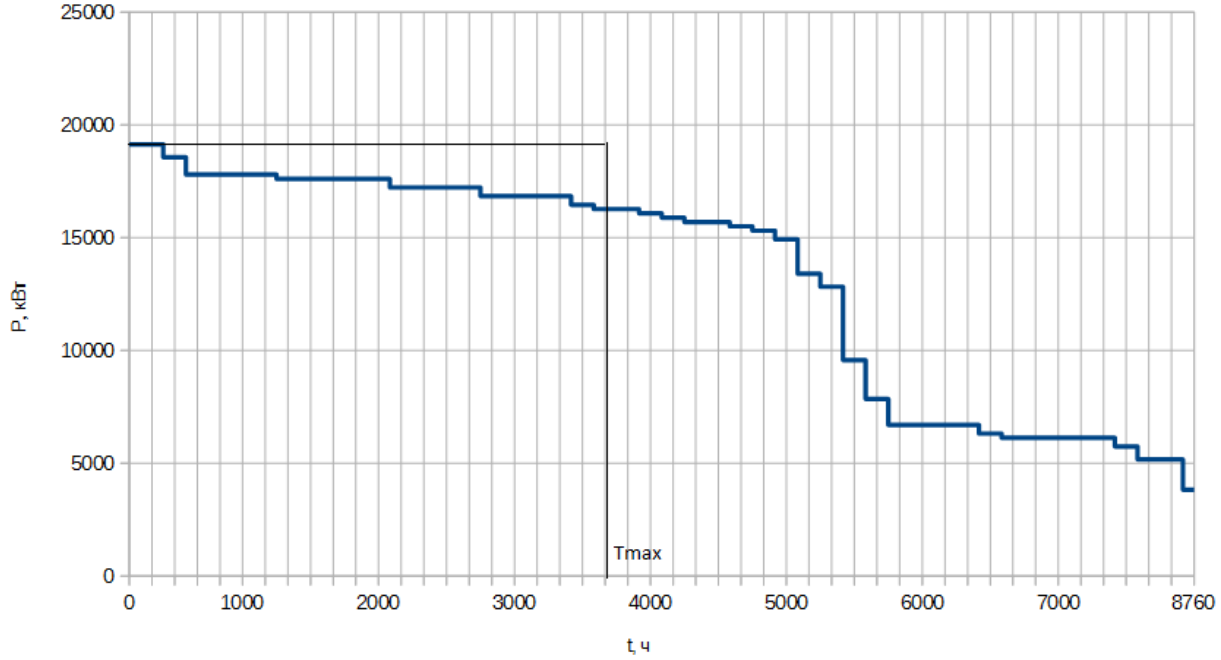

Рисунок 11 – Годовой график электрических нагрузок «Электроточприбор»

4.4 Выбор силовых трансформаторов пункта приема электрической энергии

На подстанциях промышленных предприятий устанавливают, как правило, два трансформатора. Установка одного трансформатора допускается, если обеспечивается требуемая степень надёжности электроснабжения потребителей. Установка более двух трансформаторов должна быть подтверждена соответствующим технико-экономическим обоснованием. Мощность трансформаторов выбирается так, чтобы при отключении наиболее мощного из них на время ремонта или замены оставшийся в работе обеспечил питание полной нагрузки. В соответствии со стандартом в аварийных случаях трансформаторы классов напряжения до 110 кВ включительно допускают перегрузку на 40 % сверх номинального тока на время максимумов нагрузки общей продолжительностью не более 4 ч в сутки. Перегрузка допускается при условии, что предшествующая нагрузка (за 10-часовой период) составляет не более 0,8 номинального значения и температура окружающего воздуха равна 20º С, выбор производится согласно ГОСТ 14.209 [7] и ПУЭ [1].

Мощность трансформаторов выбирается по полной среднеквадратичной мощности, определенной из суточного графика нагрузки, и проверяется на послеаварийную перегрузку. При выборе типа трансформатора следует рассмотреть возможность использования трансформаторов с расщеплением обмотки НН на 6,3/11 кВ в том случае, если имеются равные заводские нагрузки на стороне и 6 кВ и 10 кВ или с целью ограничения токов КЗ. Из-за неравномерности графиков нагрузки, трансформаторы должны иметь РПН.

Выбор мощности силовых трансформаторов ПГВ производится по среднеквадратичной мощности графика перетока мощности через трансформатор с учетом допустимой нагрузки их в нормальном режиме и допустимой перегрузки в послеаварийном режиме [9].

Среднеквадратичная мощность рассчитывается по формулам:

$$P_{ср.кв.}=\sqrt{\frac{\sum P_i^2\cdot\Delta t_i}{\sum \Delta t_i}}=\sqrt{\frac{5,201\cdot10^9}{24}}=14720,7\ кВт;$$

$$Q_{ср.кв.}=\sqrt{\frac{\sum Q_i^2\cdot\Delta t_i}{\sum \Delta t_i}}=\sqrt{\frac{1,128\cdot10^9}{24}}=6854,6\ квар;$$

$$\cos\phi_з=\frac{P_3}{\sqrt{P_3^2+Q_3^2}}=\frac{19136,4}{\sqrt{19136,4^2+8910,7^2}}=0,91;$$

$$S_{срквв}=\sqrt{P_{срквв}^2+Q_{срквв}^2}=\sqrt{14720,7^2+6854,4^2}=16238,3\ кВ\cdot А.$$

Мощность одного трансформатора для n-трансформаторной подстанции:

$$S_{ТР}=\frac{S_{СР.КВ}}{n}=\frac{16238,3}{2}=8119,14\ кВ\cdot А.$$

Предварительно, с учетом перспективы развития завода, выбираем трансформатор ТДН-16000/110 УХЛ1 с регулировкой напряжения на отключенном трансформаторе при помощи переключения без возбуждения (далее – ПБВ) и делаем проверку на эксплуатационную перегрузку.

Коэффициент предварительной загрузки K_1:

$$K_1 = \frac{1}{S_{mp} n} \sqrt{\frac{\sum S_i^2 t_i}{\sum t_i}} = \frac{1}{2 \cdot 16} \sqrt{\frac{1,06 \cdot 10^{10}}{24}} = 0,66.$$

Коэффициент послеаварийной перегрузки:

$$K_2 = \frac{1}{S_{TP}} \cdot \sqrt{\frac{\sum S^{2_i} \cdot t_i}{\sum \Delta t_i}} = \frac{26933}{16000} = 1,68.$$

Коэффициент максимума:

$$K_{MAX} = \frac{S_{\max}}{S_{TP}} = \frac{29284.6}{16000} = 1,83.$$

По ГОСТ 14209-85, допустимый коэффициент аварийной перегрузки $K_{2ДОП}$ для силового трансформатора при коэффициенте предварительной загрузки 0,66 при длительности перегрузки 15 ч, (система охлаждения трансформатора Д, средняя годовая температура +8.4) $K_{2ДОП} = 1,4$.

$$K_2 < K_{2ДОП};$$

$$1,68 < 1,4$$

Условие не выполняется, поэтому выбираем трансформатор ТРДН-25000/110с регулировкой напряжения под нагрузкой (РПН) и делаем проверку на эксплуатационную перегрузку.

Коэффициент предварительной загрузки K_1:

$$K_1 = \frac{1}{S_{mp} n} \sqrt{\frac{\sum S_i^2 t_i}{\sum t_i}} = \frac{1}{2 \cdot 25} \sqrt{\frac{1,06 \cdot 10^{10}}{24}} = 0,42.$$

Коэффициент послеаварийной перегрузки:

$$K_2 = \frac{1}{S_{TP}} \cdot \sqrt{\frac{\sum S^{2_i} \cdot t_i}{\sum \Delta t_i}} = \frac{26933}{25000} = 1,08.$$

Коэффициент максимума:

$$K_{MAX} = \frac{S_{\max}}{S_{TP}} = \frac{29284.6}{25000} = 1,17.$$

$$K_2 < K_{2ДОП};$$

$$1,08 < 1,4$$

$$0,9 \cdot K_{\max} = 0,9 \cdot 1,17 = 1,05 \le 1,08 \le 1,17 < 1,4.$$

Таким образом, условие $0,9 \cdot Kмах \le K_2 \le K_{\max}$ выполняется.

Условие по перегрузочной способности для трансформатора в послеаварийном режиме выполняется, следовательно, трансформаторы подобраны правильно.

4.5 Выбор схемы ввода высшего напряжения подстанции

На стороне низкого напряжения используются комплектные распределительные устройства (КРУ), выполненные из отдельных ячеек (шкафов), которые унифицированы и обеспечивают удобство обслуживания и монтажа.

Количество ячеек, присоединённых к секции шин, должно быть выбрано исходя из следующих потребностей:

– по одной ячейке на каждое проектируемое присоединение 10 кВ;

– ячейка с межсекционным выключателем;

– ячейка с измерительным трансформатором напряжения на каждой секции;
– ячейка с вводным выключателем и с трансформатором собственных нужд на каждой секции шин.

Схемы электрических соединений на стороне высшего напряжения подстанций желательно выполнять наиболее простыми в исполнении, для уменьшения риска ошибки персонала при производстве оперативных переключений. По той же причине лучше использовать современные ячейку КРУ типа D-12 «Классика» со встроенной электромагнитной и механической блокировкой.

Рекомендуется использовать схемы ГПП с установкой выключателей на стороне высшего напряжения, если имеются потребители электроэнергии первой категории. Распределительное устройство на стороне высокого напряжения примем по схеме:

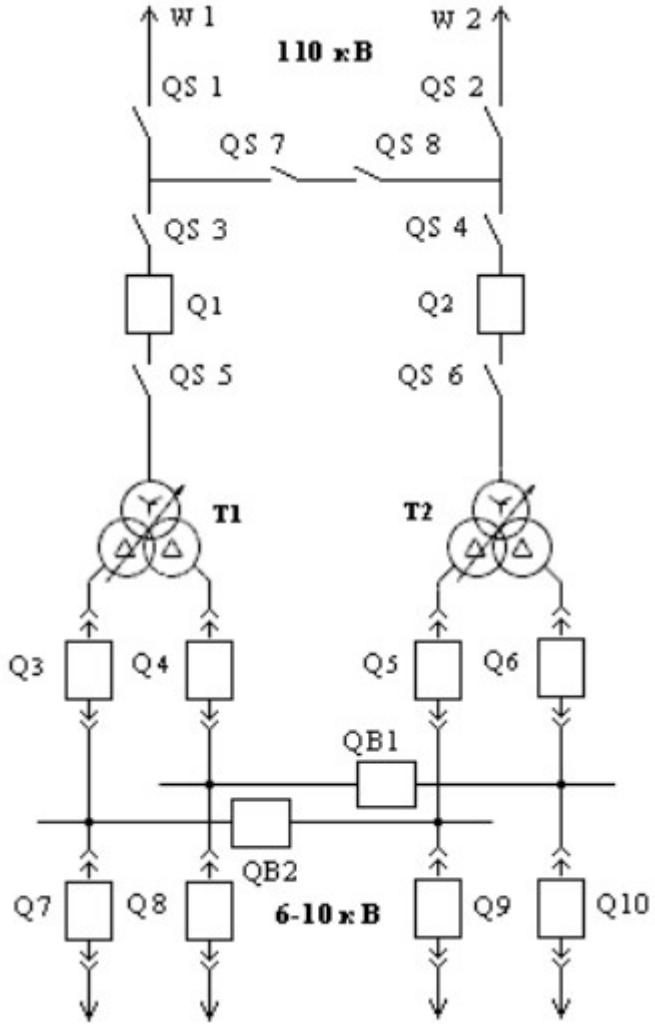

Рисунок 12 – Схема устройства высшего напряжения ППЭ

4.6 Выбор питающих линий электропередачи

Так как на заводе имеются электроприёмники I категории, то из условия бесперебойности питания электроснабжение обеспечивается от двух независимых взаимно резервирующих друг друга источников питания. При прохождении ВЛ по территории городов и промышленных районов рекомендуется использовать двухцепные опоры. При этом электроприёмники первой категории резервируются по сети вторичного напряжения.

Выбор проводов осуществляется по следующим условиям:

- по нормированной (экономической) плотности тока;
- по условию образования короны;
- по длительно-допустимому току послеаварийного режима работы;
- по потерям напряжения.

При выборе необходимо учесть потери в трансформаторах.

Основные данные силового трансформатора представлены в таблице.

Таблица 11 – Основные характеристики трансформаторов ПГВ

Тип трансформатора	$S_{ном}$, МВ·А	$U_{в,ном}$, кВ	$U_{н,ном}$, кВ	$u_{к\%}$	$\Delta P_к$, кВт	$P_х$, кВт	$I_{х\%}$	Пределы регулирования
ТРДН-25000/110	25	115	6,3; 10,5	10,5	120	27	0,7%	±9×1,78%

Так как трансформаторы ПГВ выбраны, то необходимо учесть потери в них.

$$\Delta P = \Delta P_{XX} \cdot n + \frac{\Delta P_K}{n} \cdot \left(\frac{S_p}{S_H} \right)^2 = 27 \cdot 2 + \frac{120}{2} \cdot \left(\frac{21109,3}{25000} \right)^2 = 96,8\, кВт;$$

$$\Delta Q = \frac{n \cdot I_{XX} \cdot S_H}{100} + \frac{U_{КЗ\%} \cdot S_H}{100 \cdot n} \cdot \left(\frac{S_p}{S_H} \right)^2 =$$

$$¿ \frac{2 \cdot 0,7 \cdot 25000}{100} + \frac{10,5 \cdot 25000}{2 \cdot 100} \left(\frac{21109,3}{25000} \right)^2 = 1285\, квар.$$

Расчетная мощность с учетом потерь в трансформаторе:

$$S_{расч} = \sqrt{(\Delta P + P_{ППЭ})^2 + (\Delta Q + Q_З)^2} = \sqrt{19233,2^2 + 10195,7^2} = 21768,5\, кВ \cdot А.$$

Ток в линии в нормальном режиме:

$$I_{Н.Р.} = \frac{S_{расч}}{n \cdot \sqrt{3} \cdot U_C} = \frac{21768,5}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 115} = 54,7 \text{ А},$$

ток в линии в послеаварийном режиме (ПАР):

$$I_{ПАР} = \frac{S_{расч}}{\sqrt{3} \cdot U_C} = \frac{21768,5}{\sqrt{3} \cdot 115} = 109,4 \text{ А},$$

Сечение провода рассчитывается по экономической плотности тока.

$$F_Э = \frac{I_{Н.Р.}}{J_Э} = \frac{54,7}{0,9} = 60,8\, мм^2.$$

Экономическая плотность тока для алюминия при T_{max}=3605 ч равна $J_Э$ = 0,9 А/мм^2.

Полученное сечение округляется до ближайшего стандартного значения и выбирается провод марки АС-70/11 ($I_д = 265\, А$).

Проверка сечения проводов по условию допустимого нагрева.

Проверку сечения проводов по условиям допустимого нагрева производят с учетом следующего неравенства:

$$I_{ПАР} \le I_Д,$$

$$109,4 А \le 265\, А.$$

Так как сечение провода для линии 110 кВ равно 70 мм^2, то провод по потерям на «корону» не проверяется.

Таким образом, выбранные провода ВЛЭП-110 марки АС-70/11 удовлетворяет всем условиям проверки.

4.7 Выбор схемы распределительного устройства низшего напряжения пункта приема электрической энергии

Схема (рисунок 13) одна из наиболее распространенных, применяется для трансформаторов с расщепленной вторичной обмоткой мощностью до 63 МВ·А с вторичным напряжением 6–10 кВ. Поэтому выбираем схему распределительного устройства на стороне низкого напряжения:

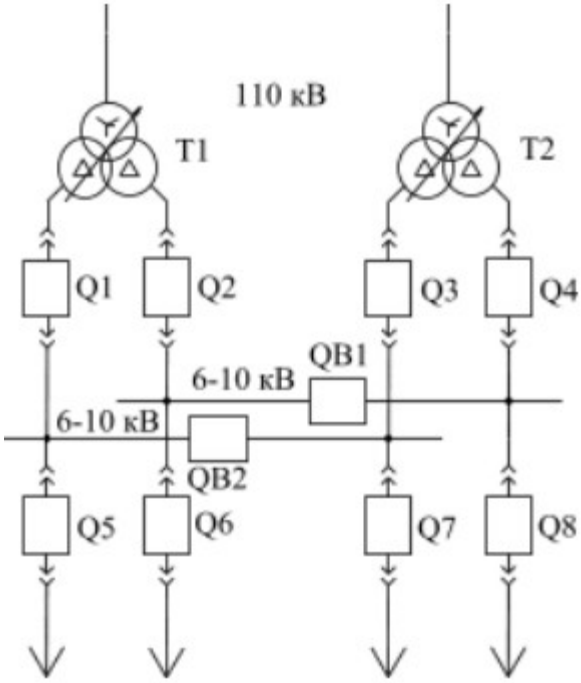

Рисунок 13 – Схема РУ НН ПГВ

5 Расчет системы распределения

5.1 Общие принципы формирования схемы системы распределения

В систему распределения СЭС предприятия входят:
- РУ низкого напряжения ППЭ;
- цеховые комплектные трансформаторные подстанции (КТП);
- РП 6 кВ и ЛЭП (КЛЭП и токопроводы).

Схемы электрических сетей должны обеспечивать надежность питания потребителей электрической энергии, быть удобными в эксплуатации. При этом затраты на сооружение линий должны быть минимальными, расход проводникового материала и потери электроэнергии – по возможности минимизированы. Внутризаводское распределение электрической энергии выполняются по радиальным или магистральным схемам в зависимости от территориального размещения нагрузки, их значений, требуемой степени надежности питания и других особенностей объекта. Радиальные схемы целесообразны для питания мощных РП и наиболее ответственных электроприёмников. Магистральные схемы целесообразны при упорядоченном (близком к линейному) расположении КТП на территории завода, благоприятствующем возможно более прямому прохождению магистралей от источника питания до КТП без обратных перетоков энергии и длинных обходов. Число трансформаторов, присоединённых к одной магистрали, зависит от их мощности и надежности питаемого объекта. При большом числе трансформаторов слишком загрубляется максимальная токовая защита (МТЗ) на головном участке магистрали, и она может оказаться не чувствительной при коротком замыкании в трансформаторе. Количество подключённых КТП не должно превышать трёх-четырёх.

Первое, что необходимо сделать – это выбрать рациональное напряжение системы распределения, то есть 6 или 10 кВ.

5.2 Выбор класса напряжения системы распределения

Напряжение распределения, выбираем исходя из следующих условий:

Если мощность ЭП $6\,кВ$ составляет от суммарной мощности предприятия менее 10-15 %, то $U_{РАЦ}$ распределения принимается равным $10\,кВ$, а электроприемники на напряжение $6\,кВ$ получают питание через понижающие трансформаторы $10/6\,кВ$.

Если мощность электроприемников $6\,кВ$ составляет от суммарной мощности предприятия более 40 %, то $U_{РАЦ}$ распределения принимается равным $6\,кВ$.

В остальных случаях процентного соотношения нагрузок вопрос выбора рационального напряжения следует решать на основе экономического сравнения вариантов.

$$\frac{\sum S_{6,0\,кВ}}{S_З} 100\,\% = 0\,\%$$

На проектируемом предприятии электроприемники напряжением 6 кВ отсутствуют, следовательно, выбираем напряжение распределения 10 кВ.

5.3 Общие принципы формирования схемы системы распределения

Внутризаводское распределение электрической энергии выполняются по радиальным или магистральным схемам в зависимости от территориального размещения нагрузки, их значений, требуемой степени надежности питания и других особенностей объекта. Радиальными называются схемы, в которых электроэнергию от ГПП передают прямо к цеховой подстанции без ответвлений питания других потребителей.

Магистральные схемы целесообразны при упорядоченном (близком к линейному) расположении КТП на территории завода, благоприятствующем возможно более прямому прохождению магистралей от источника питания до КТП без обратных перетоков энергии и длинных обходов. В практике проектирования предприятий редко встречаются только магистральные или только радиальные схемы. Крупные и ответственные потребители обычно питаются по радиальной схеме, а средние и мелкие потребители по магистральному принципу. Это называется смешанной схемой.

Распределительные пункты (РП) 6 кВ служат для передачи электроэнергии без трансформации. Экономически целесообразно использование РП на больших по площади территориях и если от него отходят не менее 8-10 потребителей. Для нашего проекта от использования РП отказываемся. Для маломощных потребителей (150 – 200 кВ·А) третьей категории установка трансформаторов не предусматривается, электроприемники цеха получают питание с шин ближайшей ТП кабельными ЛЭП 0,4 кВ.

При проектировании будем использовать комплектные трансформаторные подстанции (КТП), транспортируемые в собранном виде до места установки со всем оборудованием.

Размещать ТП будем исходя из того, что необходимо максимально обхватить территорию цеха, но при этом свести к минимуму затраты на коммуникационное оборудование внутри цеха, а также максимально уменьшить линии к ПГВ. В условиях взрывоопасной, жаркой и агрессивной среды, цеховые ТП не будут иметь сообщения в цеху, а огорожены глухой стенкой и иметь отдельный вход с наружи здания либо пристроены с наружи здания.

5.4 Выбор мощности и места размещения цеховых трансформаторных подстанций

Произведем выбор цеховых трансформаторных подстанций. Будем принимать к установке комплектные трансформаторные подстанции (КТП). При выборе числа и мощности трансформаторов будем учитывать условия резервирования потребителей.

Определение мощности трансформаторов производим исходя из оптимальной их загрузки в нормальном режиме [7]. При этом мощность трансформаторов ($S_{ТР}$) определяется по полной мощности цеха ($S_Ц$) за максимально загруженную смену с учетом требований по надежности электроснабжения

$$S_{ТР} = \frac{S_Ц}{NK_З}, \qquad (41)$$

где N – число трансформаторов, о.е.; $K_З$ – коэффициент оптимальной загрузки трансформаторов при работе в нормальном режиме, о.е.

Для трансформаторов цеховых подстанций следует, как правило, принимать следующие коэффициенты оптимальной загрузки [7]:

– для цехов с преобладающей нагрузкой 1-й категории – 0,65–0,7;

– для цехов с преобладающей нагрузкой 2-й категории – 0,7–0,8;

– для цехов с преобладающей нагрузкой 3-й категории – 0,9–1,0.

При выборе мощности трансформаторов следует стремиться к установке трансформаторов не более трех-четырех мощностей. Это облегчает замену поврежденных трансформаторов и ведет к сокращению складского резерва трансформаторов. Выбранные трансформаторы необходимо проверить на перегрузочную способность [9].

Если нагрузка цеха не превышает 150–200 кВ·А, то в данном цехе ТП не предусматриваем, а электроприемники цеха включаются с шин ближайшей ТП.

Порядок выбора мощности и расчета потерь в трансформатора рассмотрим на примере цеха № 3 (гальванический цех).

Расчетная мощность трансформатора данного цеха:

$$S_{ТР} = \frac{S_Ц}{NK_З} = \frac{2165,7}{2 \cdot 0,65} = 1665,9\,кВ \cdot А.$$

Так как распределительные (цеховые) трансформаторы 10/0,4 выпускаются мощностью до 2500 кВ·А, то необходимо определить число трансформаторов для обеспечения питания данного цеха при условно заданной мощности 1600 кВ·А.

Выбираем для установки в цехе три двухтрансформаторных подстанции типа 2КТП-СЭЩ-П-1600/6/0,4-У3 [10], укомплектованные силовыми масляными трансформаторами герметичного исполнения ТМГ-СЭЩ-1600/6 У3 [10].

В дальнейшем (при построении схемы транспорта электроэнергии) определим тип устройства высокого напряжения КТП.

Проверка трансформаторов на перегрузочную способность:

$$k_{З.НР} = \frac{S_Ц}{n \cdot S_{ТР}} = \frac{2165,7}{2 \cdot 1600} = 0,68;$$

$$k_{З.ПАР} = \frac{S_Ц}{S_{ТР}} = \frac{2165,7}{1600} = 1,35 \le 1,5.$$

Данные трансформаторы обеспечивают резервирование.

Результаты выбора числа, мощности цеховых трансформаторных подстанций и коэффициентов их загрузки в нормальном и послеаварийном режимах сведены в таблицу 12.

Размещать цеховые подстанции необходимо, по возможности, в центре электрических нагрузок (ЦЭН) цеха. При отсутствии места в ЦЭН допускается их смещение в сторону питания. При наличии в цехе пожаро-взрывоопасных зон и химически агрессивных сред размещение ТП не допускается [1].

В этом случае необходимо сооружать пристроенные или отдельно стоящие подстанции. Размещение подстанций показано на схеме транспорта электроэнергии (рисунок 14).

Таблица 12 – Число и мощность цеховых ТП 10/0,4 кВ

Наименование цеха	$S_ч$, кВ·А	Число и мощность КТП	$k_{З.НР}$	$k_{З.ПАР}$
Склад комплектующих изделий	69,7	СП1	-	-
Склад материалов	82,3	СП2	-	-
Гальванический цех	2165,7	2КТП-СЭЩ-П-1600/10/0,4-УХЛ1	0,68	1,35
Механический цех	1218,3	2КТП-СЭЩ-П-1000/10/0,4-УХЛ1	0,61	1,22
Насосная	1805,6	2КТП-СЭЩ-П-1600/10/0,4-УХЛ1	0,56	1,13
Цех пластмасс	3402,0	2КТП-СЭЩ-П-2500/10/0,4-УХЛ1	0,68	1,36
Цех резинотехнических изделий	2118,9	2КТП-СЭЩ-П-1600/10/0,4-УХЛ1	0,66	1,32
Сборочный цех цифровых щитовых приборов	2071,1	2КТП-СЭЩ-П-1600/10/0,4-УХЛ1	0,65	1,29
Сборочный цех аналоговых щитовых приборов	1785,4	2КТП-СЭЩ-П-1600/10/0,4-УХЛ1	0,56	1,12
Сборочный цех лабораторных приборов	2789,5	2КТП-СЭЩ-П-2500/10/0,4-УХЛ1	0,56	1,12
Опытный цех	267,3	КТП-СЭЩ-П-400/10/0,4-У3	0,69	-
Компрессорная	2599,1	2КТП-СЭЩ-П-2500/10/0,4-УХЛ1	0,52	1,04
Инструментальный цех	358,5	КТП-СЭЩ-П-400/10/0,4-У3	0,9	-
Административный корпус, маркетинг	259,3	КТП-СЭЩ-П-400/10/0,4-У3	0,65	-
Столовая	113,0	СП3	-	-
Ремонтно-механический цех	505,2	КТП-СЭЩ-П-630/10/0,4-УХЛ1	0,8	-
ЦЗЛ	106,4	СП4	-	-
Электроцех	416,2	КТП-СЭЩ-П-630/10/0,4-	0,66	-

		УХЛ1		
Бытовой корпус	104,4	СП5	-	-
Медпункт	18,8	СП6	-	-
Склад готовой продукции	71,3	СП7	-	-
Магазин	14,1	СП8	-	-

5.5 Потери мощности в трансформаторах цеховых подстанций

Рассчитаем потери в трансформаторах. Потери активной и реактивной мощностей в трансформаторе определяются по формулам:

$$\Delta P_{тр} = n\Delta P_{хх} + \frac{1}{n} k_3^2 \Delta P_{кз};$$

$$\Delta Q_{тр} = n\Delta Q_{хх} + \frac{1}{n} k_3^2 \Delta Q_{кз},$$

где ΔP_{XX}, $\Delta P_{КЗ}$, ΔQ_{XX}, $\Delta Q_{КЗ}$ – потери холостого хода и короткого замыкания.

Таблица 13 – Справочные характеристики трансформаторов 10/0,4 кВ

Тип трансформатора	I_{XX}, %	$U_{КЗ}$ %	ΔP_{XX} кВт	$\Delta P_{КЗ}$ кВт
ТМГ-1000/10/0,4	1,4	5,5	2,45	11
ТМГ-1600/10/0,4	1,3	5,5	3,3	16,5
ТМГ-630/10/0,4	2	5,5	1,05	7,8
ТМГ-400/10/0,4	2,1	4,5	0,83	5,5
ТМГ-2500/10/0,4	1	6,5	3,85	23,5
ТМГ-250/10/0,4	1,9	5	0,55	4,2
ТМГ-1250/10/0,4	1,5	5,5	1,6	14,7

Расчет произведем на примере гальванического цеха.

Марка трансформаторов ТМГ-1600/10/0,4.

$S_{тр} = 1600\,кВ \cdot А$, $I_{хх\%} = 1{,}3\%$, $U_{кз\%} = 5{,}5\%$, $\Delta P_{хх} = 3{,}3\,кВт$, $\Delta P_{кз} = 16{,}5\,кВт$.

Потери холостого хода и короткого замыкания:

$$\Delta Q_{XX} = S_{TP} \cdot \frac{I_{XX,\%}}{100\%} = 1600 \cdot \frac{1{,}3}{100} = 20{,}8 \text{ кВ·Ар};$$

$$\Delta Q_{КЗ} = S_{TP} \cdot \frac{U_{КЗ,\%}}{100\%} = 1600 \cdot \frac{5{,}5}{100} = 88{,}0 \text{ кВ·Ар}.$$

Потери активной и реактивной мощностей в трансформаторе для нормального режима работы:

$$\Delta P_{TP} = 2 \cdot 3{,}3 + 0{,}68^2 \cdot 16{,}5 \cdot 0{,}5 = 10{,}41 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_{TP} = 2 \cdot 20{,}8 + 0{,}68^2 \cdot 88{,}0 \cdot 0{,}5 = 61{,}9 \text{ кВ·Ар}.$$

Расчет потерь мощностей для трансформаторов остальных цехов сведем в таблицу 14.

Таблица 14 – Потери в трансформаторах 10/0,4 кВ

№ цеха	Число и мощность КТП	I_{XX}, %	$U_{КЗ}$ %	ΔP_{XX} кВт	$\Delta P_{КЗ}$ кВт	ΔQ_{XX} кВ·	$\Delta Q_{КЗ}$ кВ·А	$\Delta P_{ТР.НР}$ кВт	$\Delta Q_{ТР.НР}$ кВ·

на плане						Ар	р		Ар
1.	СП1	-	-	-	-	-	-	-	-
2.	СП2	-	-	-	-	-	-	-	-
3.	1 КТП 2х1600	1,3	5,5	3,3	16,5	20,8	88,0	10,41	61,9
4.	1 КТП 2х1000	1,4	5,5	2,45	11	14,0	55,0	6,95	38,2
5.	1 КТП 2х1600	1,3	5,5	3,3	16,5	20,8	88,0	9,19	55,4
6.	1КТП 2х2500	1	6,5	3,85	23,5	25,0	162,5	13,13	87,6
7.	1 КТП 2х1600	1,3	5,5	3,3	16,5	20,8	88,0	10,19	60,8
8.	1 КТП 2х1600	1,3	5,5	3,3	16,5	20,8	88,0	10,09	60,2
9.	1 КТП 2х1600	1,3	5,5	3,3	16,5	20,8	88,0	9,19	55,4
10.	1КТП 2х2500	1	6,5	3,85	23,5	25,0	162,5	11,38	75,5
11.	1 КТП 1х400	2,1	4,5	0,83	5,5	8,4	18,0	4,28	25,4
12.	1КТП 2х2500	1	6,5	3,85	23,5	25,0	162,5	10,88	72,0
13.	1 КТП 1х400	2,1	4,5	0,83	5,5	8,4	18,0	6,12	31,4
14.	1 КТП 1х400	2,1	4,5	0,83	5,5	8,4	18,0	2,82	20,6
15.	СП3	-	-	-	-	-	-	-	-
16.	1 КТП 1х630	2	5,5	1,05	7,8	12,6	34,7	7,09	47,4
17.	СП4	-	-	-	-	-	-	-	-
18.	1 КТП 1х630	2	5,5	1,05	7,8	12,6	34,7	5,50	40,3
19.	СП5	-	-	-	-	-	-	-	-
20.	СП6	-	-	-	-	-	-	-	-
21.	СП7	-	-	-	-	-	-	-	-
22.	СП8	-	-	-	-	-	-	-	-

5.6 Транспорт электрической энергии в системе распределения

По территории завода распределение электрической энергии осуществляется кабельными линиями.

При выборе способа прокладки силовых кабелей, согласно [7], необходимо учитывать следующие рекомендации:

– при прокладке в земле в одной траншее допускается прокладывать не более шести кабелей;

– при числе кабелей более 20 рекомендуется прокладка на эстакадах.

Прокладка кабельных линий в траншеях не допускается при агрессивных грунтах и при возможных разливах расплавленных металлов [1]. Для передачи в одном направлении мощности более 15–20 МВ·А рекомендуется применять токопроводы [1].

Трассы кабельных линий электропередачи приведены на рисунке 14.

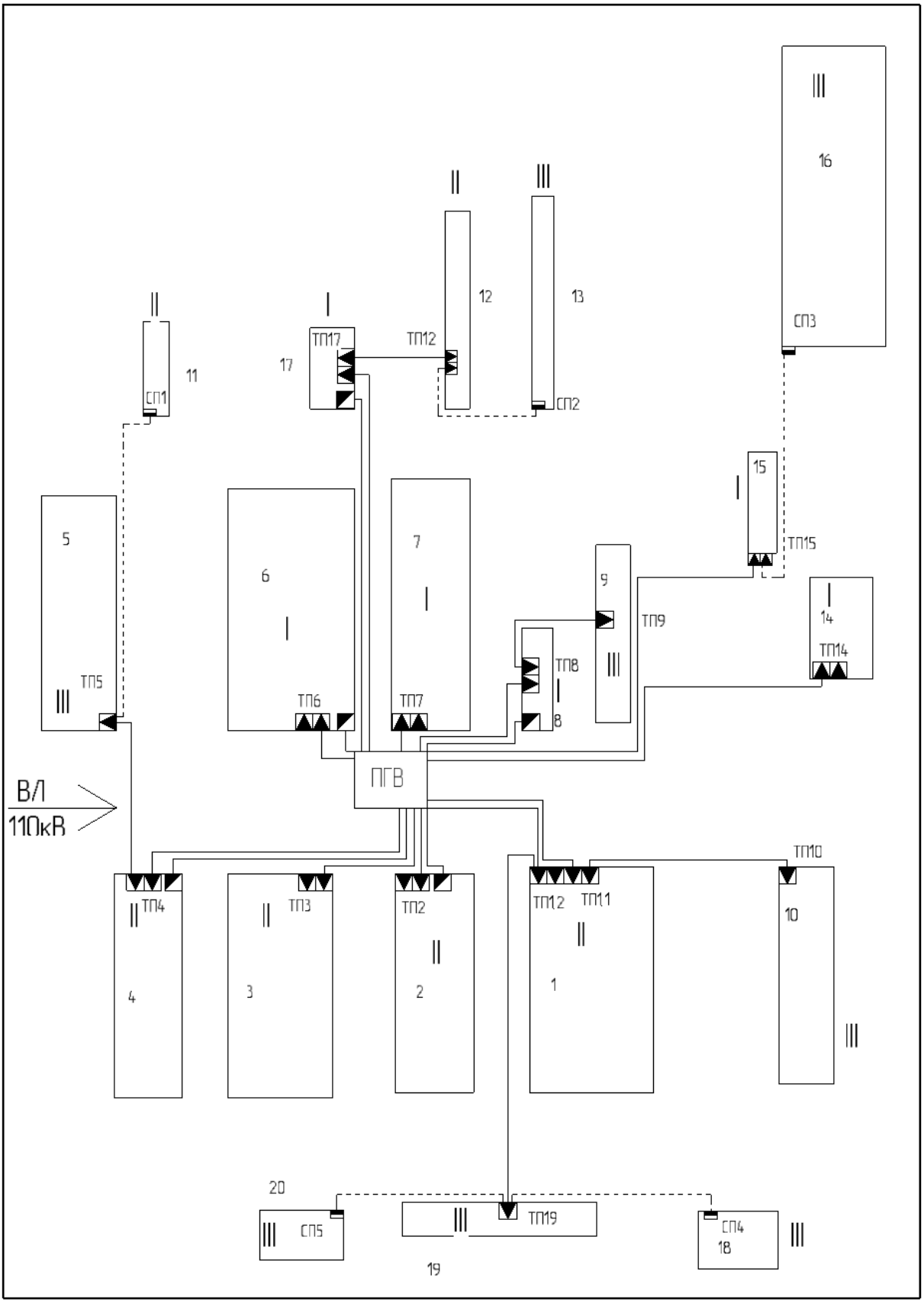

Рисунок 14 – Схема транспортировки электрической энергии по территории завода «Электроточприбор»

5.7 Выбор сечения и марки проводников системы распределения

В промышленных распределительных сетях выше 1000 В в качестве основного способа транспортировки электроэнергии применяются кабельные линии. Выбор сечения КЛ производится в соответствии с учётом нормальных и послеаварийных режимов работы электрической сети и перегрузочной способности кабелей различной конструкции. Прокладка кабелей будет производится в земле. При проверке сечения кабелей по условию ПАР для кабелей напряжением 10 кВ необходимо учитывать допускаемую в течение пяти суток (на время ликвидации аварии) перегрузку для кабелей с бумажной изоляцией до 30 % номинальной. Рассмотрим выбор кабельных линий на примере ПГВ-ТП9. Расчетные мощности в нормальном режиме определяются по формулам:

$$S_{Р.НР,ТП9}=1785,4\,кВ\cdot А.$$ кВ·А

Расчетный ток нормального режима:

$$I_{Р.НР}=\frac{S_{Р.НР,ТП9}}{n\cdot\sqrt{3}\cdot U_{Н}}=\frac{3264,7}{2\cdot\sqrt{3}\cdot 6,3}=149,6$$ А.

Расчетный ток послеаварийного режима:

$$I_{Р.ПАР}=\frac{S_{Р.ПАР.}}{\sqrt{3}\cdot U_{Н}}=\frac{3264,7}{\sqrt{3}\cdot 6,3}=299,2$$ А.

Допустимый длительный ток нормального режима:

$$I_{ДОП.НР}=k_1\cdot k_2\cdot k_3\cdot I_{ДОП}=0,93\cdot 1,0\cdot 1,2\cdot 390=435,2$$ А,

где k_1= 1,0 – коэффициент, учитывающий температуру окружающей среды [1, табл.1.3.3];

k_2= 0,93 – коэффициент, учитывающий количество работающих кабелей, лежащих рядом в земле [1, табл. 1.3.26];

k_3= 1,1 – коэффициент допустимой перегрузки, который зависит от вида изоляции [1, табл. 1.3.1].

Допустимый длительный ток послеаварийного режима:

$$I_{ДОП.ПАР}=k_{ПЕР}\cdot I_{ДОП.НР}=1,2\cdot 435,2=522,3$$ А,

где $K_{ПЕР}=1,2$ — поправочный коэффициент для кабелей в зависимости от удельного теплового сопротивления земли [1,табл.1.3.2].

Проверка выбранного кабеля выполняется по следующим условиям:

$I_{Р.НР}\le I_{ДОП.НР}$; $149,6\le 435,2\,А$; $I_{Р.ПАР}\le I_{ДОП.ПАР}$; $299,2А\le 522,3\,А$.

Окончательно принимаем силовой кабель марки ААШв-6,0 3×150. Результаты остальных расчетов сведем в таблицу 15.

Таблица 15 Выбор кабельных линий

№	Кабельная линия	$S_р$, кВ·А	$I_{р.нр}$, А	$I_{р.пар}$, А	Fст, мм^2	K_1	K_2	K_3	$I_{доп.нр}$, А	$I_{доп.пар}$, А	Марка кабеля
1	СП2-СП1	69,7	50,3	100,6	16	1,00	1,00	1,10	115,5	138,6	АВВГнг-0,4-4х16
2	ТП4-СП2	152,0	109,7	219,4	70	1,00	1,00	1,10	269,5	323,4	АВВГнг-0,4-4х70
3	ПГВ-ТП3	2637,2	74,6	149,3	35	1,00	1,00	1,10	176,0	211,2	6АПвПГ-10-1х35
4	ТП5-ТП4	1370,3	38,8	77,6	35	1,00	1,00	1,10	176,0	211,2	6АПвПГ-10-1х35
5	ПГВ-ТП5	3175,9	89,9	179,8	50	1,00	0,78	1,10	175,9	211,1	6АПвПГ-10-1х35
6	ПГВ-ТП6	3402,0	96,3	192,6	50	1,00	0,78	1,10	175,9	211,1	6АПвПГ-10-1х35
7	ПГВ-ТП7	2118,9	60,0	119,9	35	1,00	0,78	1,10	137,3	164,7	6АПвПГ-10-1х35
8	ПГВ-ТП8	2071,1	58,6	117,2	35	1,00	0,85	1,10	149,6	179,5	6АПвПГ-10-1х35
9	ПГВ-ТП9	1785,4	50,5	101,1	35	1,00	1,00	1,10	176,0	211,2	6АПвПГ-10-1х35
10	ПГВ-ТП10	2789,5	78,9	157,9	35	1,00	0,78	1,10	137,3	164,7	6АПвПГ-10-1х35
11	ТП12-ТП11	267,3	7,6	15,1	25	1,00	0,78	1,10	115,8	139,0	3АПвПГ-10-1х35
12	ПГВ-ТП12	3144,5	89,0	178,0	35	1,00	0,78	1,10	137,3	164,7	6АПвПГ-10-1х35
13	ТП3-ТП13	471,5	13,3	26,7	25	1,00	1,00	1,10	148,5	178,2	3АПвПГ-10-1х35
14	ТП12-ТП14	278,1	7,9	15,7	25	1,00	1,00	1,10	148,5	178,2	3АПвПГ-10-1х35
15	ТП13-СП3	113,0	81,6	163,1	35	1,00	1,00	1,10	176,0	211,2	АВВГнг-0,4-4х35
16	ТП18-ТП16	590,6	16,7	33,4	25	1,00	1,00	1,10	148,5	178,2	3АПвПГ-10-1х35
17	ТП18-СП4	210,8	152,1	304,3	120	1,00	1,00	1,10	374,0	448,8	АВВГнг-0,4-4х120
18	ПГВ-ТП18	1217,60	34,5	68,9	25	1,00	1,00	1,10	148,5	178,2	3АПвПГ-10-1х35
19	СП4-СП5	104,4	75,3	150,7	35	1,00	1,00	1,10	176,0	211,2	АВВГнг-0,4-4х35
20	ТП14-СП6	18,8	13,6	27,1	16	1,00	1,00	1,10	115,5	138,6	АВВГнг-0,4-4х16
21	ТП16-СП7	71,3	51,5	102,9	16	1,00	1,00	1,10	115,5	138,6	АВВГнг-0,4-4х16
22	СП7-СП8	14,1	10,2	20,4	16	1,00	1,00	1,10	115,5	138,6	АВВГнг-0,4-4х16

6 Расчет токов короткого замыкания

Основной причиной нарушения нормального режима работы системы электроснабжения является возникновение коротких замыканий (КЗ) в сети. Для снижения ущерба, обусловленного выходам из строя электрооборудования при протекании КЗ, а также для быстрого восстановления нормального режима работы системы электроснабжения, необходимо правильно определить токи КЗ и после чего выбрать электрооборудование, защитную аппаратуру и средства ограничения токов КЗ. При возникновении КЗ имеет место увеличение токов в фазах системы по сравнению с их значениями в нормальном режиме работы.

Определение токов КЗ зависит от требований к точности результатов, от исходных данных и цели расчета. В общем случае токи КЗ определяются переходными процессами в электрических цепях. Расчет токов КЗ в электрических сетях промышленных предприятий несколько отличается от расчетов, осуществляемых в электрических сетях и системах. Это объясняется возможностью не выделять (не учитывать) турбо- и гидрогенераторы электростанций, подпитку от нескольких источников питания, работу разветвленных сложных кольцевых схем, свойства дальних ЛЭП, действительные коэффициенты трансформации.

Для выбора аппаратов и проводников, для определения воздействия на несущие конструкции при расчете токов КЗ исходят из следующих положений:

- все источники, участвующие в питании рассматриваемой точки, работают с номинальной нагрузкой;
- синхронные машины имеют автоматические регуляторы напряжения и устройства быстродействующей форсировки возбуждения;
- короткое замыкание наступает в такой момент времени, при котором ток КЗ имеет наибольшее значение;
- электродвижущие силы всех источников питания совпадают по фазе;
- расчетное напряжение каждой ступени принимают на 5% выше номинального напряжения сети.

Расчётным видом для выбора или проверки электрооборудования обычно является трёхфазное короткое замыкание. Для решения большинства технических задач вводят допущения, которые не дают существенных погрешностей:

- не учитывается сдвиг по фазе ЭДС различных источников питания, входящих в расчётную схему;
- трёхфазная сеть принимается симметричной;
- не учитываются токи нагрузки;
- не учитываются ёмкостные токи в ВЛ и КЛ;
- не учитывается насыщение магнитных систем;
- не учитываются токи намагничивания трансформатора.

Учитывают влияние на токи КЗ присоединенных к данной сети синхронных компенсаторов, синхронных и асинхронных электродвигателей. Влияние асинхронных электродвигателей на токи КЗ не учитывают:

- при единичной мощности электродвигателей до 100 кВт;
- если электродвигатели отдалены от места КЗ ступенью трансформации.

В электроустановках напряжением выше 1 кВ учитывают индуктивные сопротивления электрических машин, силовых трансформаторов и автотрансформаторов, реакторов, воздушных и кабельных линий, токопроводов. Активное сопротивление следует учитывать только для воздушных линий с проводами малых площадей сечений и стальными проводами, а также для протяжённых кабельных сетей малых сечений с большим активным сопротивлением.

В электроустановках напряжением до 1 кВ учитывают индуктивные и активные сопротивления всех элементов короткозамкнутой цепи. При этом следует отметить, что влияние сопротивления энергосистемы на результаты расчета токов КЗ на стороне до 1 кВ невелико. Поэтому в практических расчётах сопротивлением на стороне 6 – 10 кВ часто пренебрегают, считая его равным нулю. В случае питания электрических сетей напряжением до 1 кВ от понижающих трансформаторов при расчете токов КЗ следует исходить из условия, что подведенное к трансформатору напряжение неизменно и равно его номинальному значению.

Требования к расчёту токов КЗ для релейной защиты и системной автоматики несколько отличаются от требований к расчёту для выбора аппаратов и проводников. Требования к точности расчётов токов КЗ для выбора заземляющих устройств невысоки из-за низкой точности методов определения других параметров, входящих в расчёт заземляющих устройств (например, удельного сопротивления грунта). Поэтому для выбора заземляющих устройств допускается определять значения токов КЗ приближенным способом.

Расчётная схема для определения токов КЗ (рис. 8.1а) представляет собой схему в однолинейном исполнении, в которую введены элементы оказывающие влияние на ток КЗ, связывающие источники электроэнергии с местом КЗ. Расчётная схема должна учитывать перспективу развития внешних сетей и генерирующих источников, с которыми электрически связывается рассматриваемая установка.

По расчётной схеме составлена схема замещения (рис. 8.1б), в которой трансформаторные связи заменяют электрическими. Элементы системы электроснабжения, связывающие источники электроэнергии с местом КЗ, вводят в схему замещения сопротивлениями, а источники энергии – сопротивлениями и ЭДС. Сопротивления и ЭДС схемы замещения должны быть приведены к одной ступени напряжения.

Определим токи симметричного трехфазного замыкания методом эквивалентных ЭДС [11].

Расчет производим исходя из следующих положений. Все источники, участвующие в питании рассматриваемой точки, работают с номинальной нагрузкой. Синхронные машины имеют автоматические регуляторы напряжения и устройства быстродействующей форсировки возбуждения. Короткое замыкание наступает в такой момент времени, при котором ток КЗ имеет наибольшее значение. Электродвижущие силы всех источников питания совпадают по фазе. Расчетное напряжение каждой ступени принимают на 5 % выше номинального напряжения сети (среднее номинальное напряжение).

Схема расчетного участка электрической сети и схема замещения приведены на рисунке 15.

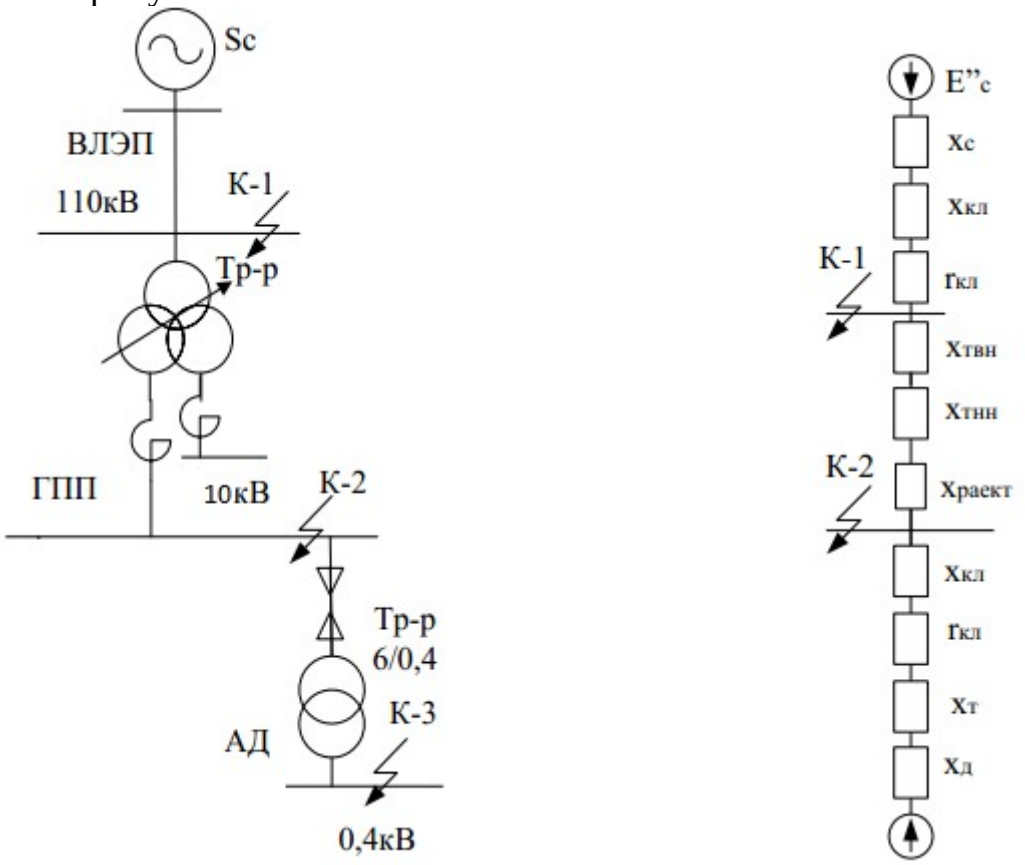

Рисунок 15 – Электрическая схема и схема замещения

При расчете токов КЗ на напряжении выше 1000 В учитываем только сопротивления линий электропередачи и обмоток электрических машин, реакторов. Сопротивлениями контактов, шин, трансформаторов тока и т.д. пренебрегаем в виду их малости.

Расчет будем вести в относительных единицах, приведенных к базисным условиям.

Принимаем за базисное условие $S_б=S_{тр}=25$ МВ·А; $U_{б1}=115$ кВ; $I_К=10$ кА, $x_С = 0,6$ о.е.

Базисный ток

$$I_{б1}=\frac{S_б}{\sqrt{3}U_{б1}}=\frac{25}{\sqrt{3}\cdot 115}=0,126\,кА.$$

Сопротивление системы

$$x_c=\frac{I_б}{I_K}=\frac{0,126}{10}=0,0126\,o.e.$$

Сопротивление воздушной линии

$$r_Л=r_0 l\frac{S_б}{U_{б1}^2}=0,4218\cdot 8\cdot\frac{1}{2}\cdot\frac{25}{115^2}=0,003\,o.e.;$$

$$x_Л=x_0 l\frac{S_б}{U_{б1}^2}=0,441\cdot 8\cdot\frac{1}{2}\cdot\frac{25}{115^2}=0,003\,o.e.,$$

где r_0=0,4218 Ом/км – удельное активное сопротивление линии, провод АС-70/11 [3, табл. 3.29];

x_0=0,441 Ом/км – удельное реактивное сопротивление линии, провод АС-70/11 [3, табл. 3.29];

l – длина линии (исходные данные 8,0 км.).

Точка К-1

Результирующее сопротивление схемы замещения до точки К–1

$$x_{K-1}=x_C+x_Л=0,0126+0,003=0,0156\,o.e.;$$

$$r_{K-1}=r_Л=0,003\,o.e.;$$

$$z_{\Sigma K-1}=\sqrt{r_{K-1}^2+x_{K-1^2}}=\sqrt{0,003^2+0,0156^2}=0,0159\,o.e.$$

Начальное значение периодической составляющей тока КЗ в точке К1

$$I_{ПО(K-1)}=\frac{E_C^{''}}{z_{\Sigma K-1}}I_{б1}=\frac{1}{0,0159}\cdot 0,126=7,92\,кА.$$

Постоянная времени затухания апериодической составляющей тока КЗ

$$T_a=\frac{x_{K-1}}{\omega r_{K-1}}=\frac{0,0156}{314\cdot 0,003}=0,0166\,c.$$

Ударный коэффициент для времени t=0,01с.

$$K_{уд}=1+e^{-0,01/T_a}=1+e^{-0,01/0,0166}=1,55.$$

Ударный ток КЗ

$$i_{уд}=\sqrt{2}K_{уд}I_{ПО(K-1)}=\sqrt{2}\cdot 1,55\cdot 7,92=21,3\,кА.$$

Далее приведем расчет для максимального и минимального режимов, причем учтем, что влияние двухфазного КЗ (в общем виде учитывается как $I_{k\min}^{(2)}=\frac{\sqrt{3}}{2}I_{k\min}^{(3)}$) по отношению к трехфазному.

Принимаем за базисное условие $S_б$=25 МВ·А; $U_{б2}$=10,5 кВ.

Сопротивление системы, приведенное к базисным условиям:

$$x_{c\max}=x_c\frac{U_{б2}^2}{S_б}=0,0126\frac{10,5^2}{25}=0,056\,Ом;$$

$$x_{c\min}=1,3\cdot x_{c\max}=1,3\cdot 0,056=0,111\,Ом.$$

Сопротивление воздушной линии:

$$x_Л=x_0 l\frac{U_{б2}^2}{U_{б1}^2}=0,441\cdot 8\cdot\frac{1}{2}\cdot\frac{10,5^2}{115^2}=0,015\,o.e.$$

Результирующее сопротивление схемы замещения до точки К-1

$$x_{K-1\min}=x_{c\min}+x_Л=0,111+0,015=0,126\,Ом;$$

$$x_{K-1\max}=x_{c\max}+x_Л=0,056+0,015=0,071\,Ом.$$

Значение тока КЗ в точке К-1

$$I_{k\max}^{(3)}=\frac{U_{н1}}{\sqrt{3}\cdot x_{K-1\max}}=\frac{10,5}{\sqrt{3}\cdot 0,071}=85,39\,кА;$$

$$I_{k\min}^{(3)}=\frac{U_{н1}}{\sqrt{3}\cdot x_{K-1\min}}=\frac{10,5}{\sqrt{3}\cdot 0,126}=48,11\,кА;$$

$$I_{k\min}^{(2)}=\frac{\sqrt{3}}{2}I_{k\min}^{(3)}=\frac{\sqrt{3}}{2}\cdot 48,11=41,67\,кА.$$

Точка К-2

Принимаем за базисное условие $S_б$=25 МВ·А; $U_{б2}$=10,5 кВ.

$$I_{б2}=\frac{S_б}{\sqrt{3}U_{б2}}=\frac{25}{\sqrt{3}\cdot 10,5}=1,37\,кА.$$

Сопротивление трансформатора:

$$x_{тр}=\frac{U_k}{100}\frac{S_б}{S_{тр}}=\frac{10,5}{100}\cdot\frac{25}{25}=0,105\,о.е.;$$

$$x_{трВ}=0,095\,x_{тр}=0,095\cdot 0,105=0,01\,о.е.;$$

$$x_{трН}=1,81\,x_{тр}=1,81\cdot 0,105=0,19\,о.е.$$

Поскольку в системе электроснабжения высоковольтные электрические двигатели отсутствуют, следовательно нет подпитки результирующему току КЗ, то принимаем решение, что устанавливать токоограничивающие реакторы не нужно.

Результирующее сопротивление схемы замещения до точки К–2

$$x_{К-2}=x_{К-2}+x_{трВ}+x_{трН}=0,0156+0,01+0,19=0,2156\,о.е.;$$

$$r_{К-2}=r_Л=0,003\,о.е.;$$

$$z_{\Sigma К-2}=\sqrt{r_{К-2}^2+x_{К-2^2}}=\sqrt{0,003^2+0,2156^2}=0,2156\,о.е.$$

Постоянная времени затухания апериодической составляющей тока КЗ:

$$I_{ПО(К-2)}=\frac{E_C''}{z_{\Sigma К-2}}I_{б2}=\frac{1}{0,2156}\cdot 1,37=6,38\,кА.$$

Постоянная времени затухания апериодической составляющей тока КЗ

$$T_a=\frac{x_{К-2}}{\omega r_{К-2}}=\frac{0,2156}{314\cdot 0,003}=0,229\,с.$$

Ударный коэффициент для времени t=0,01с.

$$K_{уд}=1+e^{-0,01/T_a}=1+e^{-0,01/0,229}=1,95.$$

Ударный ток

$$i_{уд}=\sqrt{2}K_{уд}I_{\Sigma(К-2)}=\sqrt{2}\cdot 1,95\cdot 6,38=17,58\,кА.$$

Точка К-3

Расчет проводим в именованных единицах. Систему принимаем системой бесконечной мощности, сопротивление системы равно нулю.

Сопротивление силового трансформатора ТМ-2500

$$x_{то}=\frac{U_{КЗ\%}\cdot U_{ном(НН)}^2}{100\cdot S_{ном}}=\frac{6,5\cdot 0,4^2}{100\cdot 2,5}=4,16\,мОм;$$

$$r_{то}=\frac{\Delta P_{КЗ}}{S_{ном}}\cdot\frac{U_{ном(НН)}^2}{S_{ном}}=\frac{23.25\cdot 0,4^2}{2.5\cdot 2,5}=0,6\,мОм.$$

Сопротивление трансформатора тока не учитываем.

Сопротивление выключателя

$r_{кв}$ = 0,1 мОм; $x_{кв}$ = 0,05 мОм.

Сопротивление контактов:

— для контактных соединений шинопроводов: $r_{кш}$ = 0,01 мОм;

— для контактных соединений коммутационного аппарата: $r_{к.к}$=0,5 мОм.

Сопротивление дуги: $r_д$ = 3 мОм

Сопротивление шинопровода:

$r_ш$ = 0,016 мОм; $x_ш$ = 0,007мОм.

Результирующее сопротивление схемы замещения

$$r_{\Sigma}=r_{тр}+r_{В}+r_{кш}+r_{ш}+r_{д}=0{,}6+0{,}1+0{,}5+3+0{,}016=4{,}216\,мОм;$$

$$x_{\Sigma}=x_{тр}+x_{ш}+x_{АВ}=4{,}16+0{,}05+0{,}007=4{,}217\,мОм;$$

$$z_{\Sigma}=\sqrt{r_{\Sigma}^2+x_{\Sigma}^2}=\sqrt{4{,}216^2+4{,}217^2}=5{,}96\,мОм.$$

Ток трехфазного КЗ в точке КЗ

$$I_{ПО(К-3)}=\frac{U_{н}}{\sqrt{3}\,z_{\Sigma}}=\frac{0{,}4}{\sqrt{3}\cdot 5{,}96\cdot 10^{-3}}=38{,}75\,кА.$$

Ударный ток

$$i_{уд}=\sqrt{2}\,K_{уд}\,I_{ПО(К-4)}=\sqrt{2}\cdot 1{,}3\cdot 38{,}75=61{,}2\,кА.$$

Таблица 16 – Расчет токов короткого замыкания

Точка КЗ	Напряжение $U_{Н}$, кВ	$I_{по}$, кА	$i_{уд}$, кА	$k_{УД}$
К – 1	110,0	7,92	21,3	1,55
К – 2	10,0	6,38	17,58	1,95
К – 3	0,4	38,75	61,2	1,3

7 Выбор и проверка элементов системы электроснабжения

Все элементы системы электроснабжения выбираются по номинальным параметрам при нормальном режиме работы системы электроснабжения и должны соответствовать условиям окружающей среды [7].

Номинальное напряжение аппарата соответствует классу его изоляции. Условие выбора:

$$U_{Н.А.} = U_{Н.С}, \quad (42)$$

где $U_{Н.А}$ – номинальное напряжение аппарата, кВ; $U_{Н.С}$ – номинальное напряжение сети, кВ.

При протекании тока аппарат должен работать длительное время без допустимого перегрева.

Условие выбора:

$$I_{Н.А.} \geq I_{р.max}, \quad (43)$$

где $I_{Н.А}$ – номинальный ток аппарата, А; $I_{р.max}$ – наибольший ток утяжеленного режима сети, А.

Основные условия проверки элементов в аварийном режиме:

– электродинамическая стойкость

$$i_{дин.} \geq i_{уд}, \quad (44)$$

где $i_{дин}$ – ток электродинамической стойкости аппарата, кА; $i_{уд}$ – ударный ток при коротком замыкании в сети, кА.

– термическая стойкость

$$I_T^2 t_T \geq B_K, \quad (45)$$

где $I_Т$ – ток термической стойкости аппарата, кА; $t_Т$ – допустимое время протекания тока КЗ, с; $B_К$ – тепловой импульс, $кА^2 \cdot с$.

– коммутационная способность

$$I_{откл.н} \geq I_{ПО}, \quad (45)$$

где $I_{отк.а}$ – ток отключения аппарата, кА; $I_{П0}$ – начальное значение периодической составляющей КЗ, кА.

7.1 Выбор и проверка основного высоковольтного оборудования

Выбор и проверка выключателей 110 кВ

Ток в питающей линии ВЛ-110 в нормальном режиме,

$$I_{н.р.} = \frac{S_З}{n\sqrt{3}U_С} = \frac{21109,3}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 115} = 53,0\,А.$$

В послеаварийном режиме

$$I_{пар.р.} = \frac{S_З}{n\sqrt{3}U_С} = \frac{21109,3}{1 \cdot \sqrt{3} \cdot 115} = 106,0\,А.$$

Предварительно выбираем элегазовый баковый выключатель марки ВЭБ-110II УХЛ1 с пружинным приводом ППрК-2400.

Тогда тепловой импульс равен

$$B_К = I^2_{ПО(К-1)}(\tau + T_а) = 7,92^2 \cdot (0,125 + 0,115) = 15,05\,кА^2 \cdot с,$$

где $T_а = 0,115\,с$ – постоянная времени затухания апериодической составляющей;

$\tau = t_{РЗ} + t_{ОТК} = 0{,}1 + 0{,}025 = 0{,}125\,с$ – время отключения КЗ (сумма времени действия основной защиты трансформатора (дифференциально-фазная защита от всех видов КЗ) и времени отключения выключателя [11].

Таблица 17 – Проверка высоковольтных выключателей

Расчетный параметр цепи	Каталожные данные аппарата	Условия выбора и проверки
$U_{уст} = 110\,кВ$	$U_{ном} = 110\,кВ$	$U_{ном} \geq U_{уст}$
$I_{раб.max} = 106{,}0\,А$	$I_{ном} = 2500\,А$	$I_{ном} \geq I_{раб.max}$
$I_{ПО} = 7{,}92\,кА$	$I_{откл.н} = 25\,кА$	$I_{откл.н} \geq I_{ПО}$
$i_{уд} = 21{,}3\,кА$	$i_{т.дин} = 25\,кА$	$i_{т.дин} \geq i_{уд}$
$B_K = 15{,}05\,кА^2 \cdot с$	$I_T / t_T = 50\,кА / 3\,с$	$I_T^2 t_T \geq B_K$

Вывод: выключатель по условиям проверки проходит.

Выбор и проверка разъединителей 110 кВ

Разъединители используются для создания видимого разрыва, а так же для отключения зарядных токов ВЛ и токов намагничивания трансформатора.

Предварительно выбираем разъединитель марки РНДЗ-2-110/1000У1 – разъединитель наружной установки, двухколонковый, с заземляющими ножами.

Таблица 18 – Выбор разъединителя 110 кВ

Расчетный параметр цепи	Каталожные данные аппарата	Условия выбора и проверки
$U_{уст} = 110\,кВ$	$U_{ном} = 110\,кВ$	$U_{ном} \geq U_{уст}$
$I_{раб.max} = 106{,}0\,А$	$I_{ном} = 1000\,А$	$I_{ном} \geq I_{раб.max}$
$i_{уд} = 21{,}3\,кА$	$i_{т.дин} = 40\,кА$	$i_{т.дин} \geq i_{уд}$
$B_K = 15{,}05\,кА^2 \cdot с$	$I_T / t_T = 31{,}5\,кА / 3\,с$	$I_T^2 t_T \geq B_K$

Вывод: разъединитель по условиям проверки проходит.

Выбор и проверка выключателей 10,0 кВ

Выбираем выключатель на отводе трансформатора ТРДН-25000/110.

Максимальный рабочий ток (мощность после компенсации реактивной мощности):

Максимальный рабочий ток

$$I_{н.р.} = \frac{S_З}{n\sqrt{3}U_C} = \frac{21109{,}3}{4 \cdot \sqrt{3} \cdot 10000} = 0{,}304\,кА.$$

Ток в послеаварийном режиме

$$I_{ПАР.} = \frac{S_З}{n\sqrt{3}U_C} = \frac{21109{,}3}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 115} = 0{,}609\,кА.$$

После нахождения токов на вводах 10 кВ необходимо определиться с выбором типа ячеек КРУ.

Предварительно выбираем для установки шкафы КРУ марки D-12P «Классика»

Предварительно выбираем вакуумный выключатель VD4-10, компании АВВ.

Определим для выключателя ток при полуторократной перегрузке трансформатора ПГВ $I_{MAX.}=\frac{1{,}5\,S_{TP}}{n\sqrt{3}\,U_{HH}}=\frac{1{,}5\cdot 25}{2\cdot\sqrt{3}\cdot 10{,}5}=1{,}03\,кА.$

Тепловой импульс:

$$B_K=I^2_{ПО(К-2)}(\tau+T_a)=6{,}38^2\cdot(0{,}7+0{,}05)=30{,}5\,кА^2\cdot с.$$

где $T_a=0{,}05\,с$ – постоянная времени затухания апериодической составляющей.

$\tau=t_{РЗ}+t_{ОТК}=0{,}1+0{,}6=0{,}7\,с$ – время отключения КЗ (сумма времени действия основной защиты секции 10кВ (дифференциально-фазная защита шин) и времени отключения выключателя [11].

Таблица 19 – Выбор и проверка выключателя на вводе в РУ 10,0 кВ

Расчетный параметр цепи	Каталожные данные аппарата	Условия выбора и проверки
$U_{уст}=10{,}0\,кВ$	$U_{ном}=10{,}5\,кВ$	$U_{ном}\geq U_{уст}$
$I_{раб.\max}=1030\,А$	$I_{ном}=2000\,А$	$I_{ном}\geq I_{раб.\max}$
$I_{ПО}=6{,}38\,кА$	$I_{откл.н}=25\,кА$	$I_{откл.н}\geq I_{ПО}$
$i_{уд}=17{,}58\,кА$	$i_{т.дин}=25\,кА$	$i_{т.дин}\geq i_{уд}$
$B_K=30{,}5\,кА^2\cdot с$	$I_T/t_T=31{,}5\,кА/4\,с$	$I_T^2 t_T\geq B_K$

Выбираем на отходящие линии выключатели вакуумные типа ВВ/TEL-10-20/630 У2 ($I_{отк.н}$ = 20кВА, $i_{дин.m}$ =51 кА).

Тепловой импульс:

$$B_K=I^2_{ПО(К-2)}(\tau+T_a)=6{,}38^2\cdot(0{,}17+0{,}05)=8{,}95\,кА^2\cdot с.$$

где $T_a=0{,}05\,с$ – постоянная времени затухания апериодической составляющей.

$\tau=t_{РЗ}+t_{ОТК}=0{,}1+0{,}07=0{,}17\,с$ – время отключения КЗ (сумма времени действия основной защиты фидера 10 кВ (токовая отсечка) и времени отключения выключателя [11].

Таблица 20 – Выбор и проверка выключателя 10 кВ отходящих линий

Расчетный параметр цепи	Каталожные данные аппарата	Условия выбора и проверки
$U_{уст}=10{,}0\,кВ$	$U_{ном}=10{,}5\,кВ$	$U_{ном}\geq U_{уст}$
$I_{раб.\max}=1030\,А$	$I_{ном}=630\,А$	$I_{ном}\geq I_{раб.\max}$
$I_{ПО}=6{,}38\,кА$	$I_{откл.н}=20\,кА$	$I_{откл.н}\geq I_{ПО}$
$i_{уд}=17{,}58\,кА$	$i_{т.дин}=20\,кА$	$i_{т.дин}\geq i_{уд}$
$B_K=8{,}95\,кА^2\cdot с$	$I_T/t_T=1200\,кА/4\,с$	$I_T^2 t_T\geq B_K$

Вывод: выключатели по условиям проверки проходят.

Выбор и проверка выключателей нагрузки 10 кВ

На магистральных линиях, на вводах распределительных трансформаторов цеховых ТП устанавливаются выключатели нагрузки.

Предварительно выбираем выключатель нагрузки марки ВНПР-6-400/20-У2 с предохранителем марки ПКТ102-10-20-31.5У3 с номинальным током отключения 20 кА.

Условия выбора и проверки приведены в таблице 21.

Таблица 21 – Выбор выключателя нагрузки 10,0 кВ

Расчетный параметр цепи	Каталожные данные аппарата	Условия выбора и проверки
$U_{уст}=10,0\,кВ$	$U_{ном}=10,5\,кВ$	$U_{ном}\geq U_{уст}$
$I_{раб.max}=178,0\,А$	$I_{ном}=400\,А$	$I_{ном}\geq I_{раб.max}$
$I_{ПО}=6,38\,кА$	$I_{откл.н}=25\,кА$	$I_{откл.н}\geq I_{ПО}$
$i_{уд}=17,58\,кА$	$i_{т.дин}=25\,кА$	$i_{т.дин}\geq i_{уд}$

Вывод: выключатель нагрузки по условиям проверки проходит.

7.2 Выбор и проверка коммутационных аппаратов 0,4 кВ

К коммутационным аппаратам 0,4 кВ широкое применение в настоящее время получили автоматические выключатели (автоматы).

Выключатели автоматические служат для коммутации электрических цепей в нормальном режиме и отключения тока: при коротких замыканиях, перегрузках и недопустимых снижениях напряжения.

Все аппараты должны:

– соответствовать условиям окружающей их среды и роду установки;

– иметь номинальные параметры (ток, напряжение);

– удовлетворять условиям работы в нормальном режиме;

– быть устойчивыми к токам КЗ.

Выбираем автоматический выключатель на стороне 0,4 кВ для самой загруженной трансформаторной подстанции ТП№12.

Максимальный рабочий ток:

$$I_{раб.max}=\frac{S_{Р.В.Ц.12}}{\sqrt{3}U_C}=\frac{3144,5}{\sqrt{3}\cdot 0,4}=4538,8\,А.$$

Выбираем выключатель SACE Emax X1, компании ABB.

Таблица 22 – Выбор коммутационных аппаратов 0,4 кВ

Расчетный параметр цепи	Каталожные данные аппарата	Условия выбора и проверки
$U_{уст}=0,4\,кВ$	$U_{ном}=0,4\,кВ$	$U_{ном}\geq U_{уст}$
$I_{раб.max}=4538,8\,А$	$I_{ном}=5000\,А$	$I_{ном}\geq I_{раб.max}$
$I_{ПО}=38,75\,кА$	$I_{откл.н}=40\,кА$	$I_{окл.н}\geq I_{ПО}$

Выключатель по условиям проверки проходит.

Уставка тока срабатывания защиты от перегрузки:

$$I_{расц}\geq 1,25\,I_{р.м}=1,25\cdot 4538,8=5673,5$$

Принимаем уставку теплового расцепителя $I_{расц}$ = 5700 А.

7.3 Выбор и проверка вспомогательного электрооборудования

К вспомогательному оборудованию относятся трансформаторы тока и трансформаторы напряжения.

Выбор и проверка трансформаторов тока (ТТ)

По напряжению и току в первичной обмотке ТТ выбираем выносные трансформаторы тока марки ТОЛ-10, присоединенные к СШ ПГВ 110 кВ. Так как ТТ используется для подключения измерительного прибора технического учета электрической энергии, то выбираем класс точности 1,0. Этому классу точности соответствует сопротивление вторичной обмотки $z_{2ном}$ = 0,8 Ом [10].

Таблица 23 – Выбор трансформатора тока 10 кВ.

Расчетный параметр цепи	Каталожные данные аппарата	Условия выбора и проверки
$U_{уст}=10,0\,кВ$	$U_{ном}=10,0\,кВ$	$U_{н}\geq U_{уст}$
$I_{раб.\max}=1030\,А$	$I_{ном}=2000\,А$	$I_{ном}\geq I_{раб.мах}$
$z_2=0,469\,Ом$	$z_{2ном}=0,8\,Ом$	$z_{2ном}\geq z_2$

Проверка на электродинамическую и термическую стойкость не проводится, т.к. это шинный трансформатор тока.

Трансформаторы тока включены по схеме «неполной звезды».

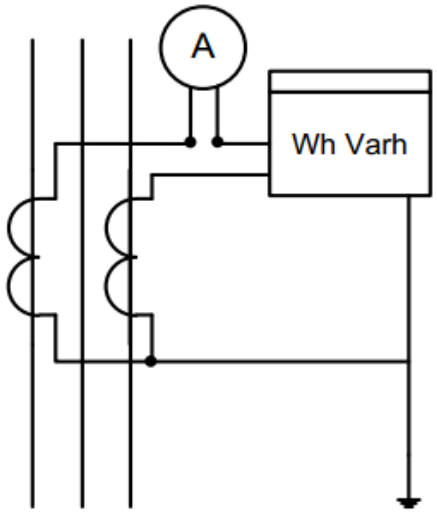

Рисунок – 16 Схема подключения счетчика через трансформаторы тока

Проверка соответствия класса точности

Суммарное сопротивление приборов

$$r_{приб}=\frac{S_2}{I_{2НОМ}^2}=\frac{8}{5^2}=0,32\,Ом.$$

Сопротивление соединительных проводов при l = 6 м, $I_р = \sqrt{3}l$

$$r_{пр}=\frac{l_р\rho_{Cu}}{F_{пр}}=\frac{\sqrt{3}\cdot 6\cdot 17}{2,5}=70,58\,мОм.$$

Сопротивление контактов $r_к$ принимаем 0,05 Ом (т.к. приборов не более 3). Тогда

$$z_2=r_2=r_{приб}+r_{пр}+r_к=0,32+0,05+0,071=0,441\,Ом.$$

Перечень приборов, подключенных к ТТ, приведен в таблице 24.

Таблица 24 – Параметры приборов, подключенных к трансформаторам тока

Прибор	Количество	$S_{пр.А}$, В·А	$S_{пр.С}$, В·А
Амперметр ЩП02М	2	1х2,5	1х2,5
Счетчик активной и реактивной энергии СЭТ – 4ТМ.03М	1	1х1,5	1х1,5

Трансформатор тока по условиям проверки проходит.

На стороне 110кВ принимаются к установке встроенные в элегазовый выключатель ВЭБ трансформаторы тока ТВГ-110-0,5-200/5 для измерений и ТВГ-110-10Р-200/5 для релейной защиты.

Таблица 25 – Выбор трансформатора тока 110 кВ

Условия выбора	Каталожные данные аппарата	Расчетные параметры цепи
$U_{УСТ} \le U_{НОМ}$	$U_{НОМ}$ = 110 кВ	$U_{УСТ}$ = 110 кВ
$I_{РАБ.МАК} \le I_{Н}$	$I_{Н}$ = 200 А	$I_{РАБ.МАК.}$= 188,4 А
$i_{УД} \le I_{ДИН}$	$I_{ДИН}$ =20кА	$i_{УД}$ = 11,1 кА

Выбор и проверка трансформаторов напряжения (ТН)

Выбираем антирезонансный трансформатор напряжения марки НАМИТ-10-2-УХЛ2, установленный на СШ ПГВ 10,0 кВ.

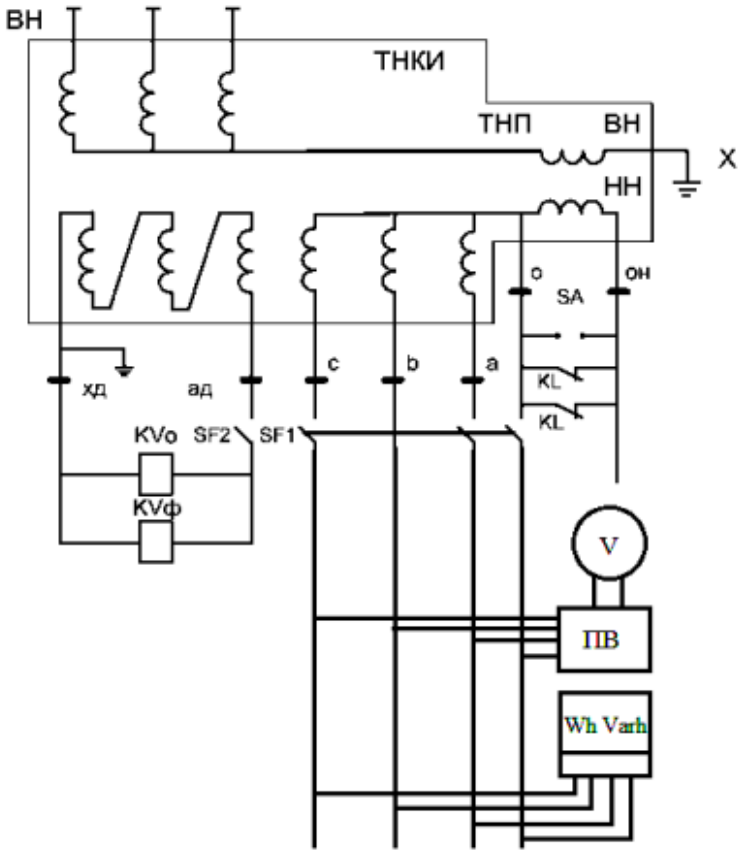

Рисунок – 17 Схема подключения счетчика через трансформатор напряжения

Таблица 26 – Проверка трансформатора напряжения

Расчетный параметр цепи	Каталожные данные аппарата	Условия выбора и проверки
$U_{уст} = 10,0\,кВ$	$U_{ном} = 10,0\,кВ$	$U_{1ном} \ge U_{с.расч}$
$S_{2расч} = 41,0 \quad В \cdot А$	$S_{2ном} = 150 \quad В \cdot А$	$S_{2ном} \ge S_{2расч}$

Таблица 27 – Параметры приборов, подключенных к ТН

Прибор	Количество	$S_{пр}$, В·А	$S_{\sum пр}$, В·А
Вольтметр ЩП02М	1	2,5	2,5
Счетчик активной и реактивной энергии СЭТ – 4ТМ.03М	14	1,5	35

На стороне 110кВ ПГВ выбираются масляные каскадные однофазные трансформаторы напряжения НКФ-110-83У1 и принимаются к установке.

8 Проверка кабельных линий на термическую стойкость

Максимально допустимые кратковременные повышения температуры при КЗ для силовых кабелей принимаются: с изоляцией из сшитого полиэтилена до 10 кВ с алюминиевыми жилами – 200 ^{0}С. Определим минимальное сечение кабельной линии, отходящей от ПГВ (для кабельных линий с изоляцией из сшитого полиэтилена и алюминиевыми жилами С = 95 А/с$^{1/2}$мм^2 [13]):

$$F_{\min доп ПГВ} = \frac{I_\infty \sqrt{t_П}}{C} = \frac{\sqrt{B_K}}{C}, \qquad (46)$$

Тогда минимально допустимое сечение по нагреву при коротком замыкании составит:

$$F_{\min доп ПГВ} = \frac{\sqrt{B_K}}{C} = \frac{\sqrt{30,5 \cdot 10^3}}{95} = 58,1\ мм^2.$$

Ближайшее большее стандартное сечение 50 мм^2.

Таким образом, все отходящие от ПГВ кабельные линии, питающие ответственных потребителей, выбранные сечением менее 50 мм^2, меняем соответственно на АПвПг-10-1×50. Данное сечение проходит по термической стойкости.

Скорректированные марки кабельных линий приведены в таблице 28.

№	Кабельная линия	$S_р$, кВ·А	$I_{р.нр}$, А	$I_{р.пар}$, А	Fст, мм^2	K_1	K_2	K_3	$I_{доп.нр}$, А	$I_{доп.пар}$, А	Марка кабеля
1	СП2-СП1	69,7	50,3	100,6	16	1,00	1,00	1,10	115,5	138,6	АВВГнг-0,4-4х16
2	ТП4-СП2	152,0	109,7	219,4	70	1,00	1,00	1,10	269,5	323,4	АВВГнг-0,4-4х70
3	ПГВ-ТП3	2637,2	74,6	149,3	50	1,00	1,00	1,10	226,6	271,9	6АПвПГ-10-1х50
4	ТП5-ТП4	1370,3	38,8	77,6	50	1,00	1,00	1,10	225,5	270,6	6АПвПГ-10-1х50
5	ПГВ-ТП5	3175,9	89,9	179,8	50	1,00	0,78	1,10	175,9	211,1	6АПвПГ-10-1х50
6	ПГВ-ТП6	3402,0	96,3	192,6	50	1,00	0,78	1,10	175,9	211,1	6АПвПГ-10-1х50
7	ПГВ-ТП7	2118,9	60,0	119,9	50	1,00	0,78	1,10	175,9	211,1	6АПвПГ-10-1х50
8	ПГВ-ТП8	2071,1	58,6	117,2	50	1,00	0,85	1,10	191,7	230,0	6АПвПГ-10-1х50
9	ПГВ-ТП9	1785,4	50,5	101,1	50	1,00	1,00	1,10	225,5	270,6	6АПвПГ-10-1х50
10	ПГВ-ТП10	2789,5	78,9	157,9	50	1,00	0,78	1,10	175,9	211,1	6АПвПГ-10-1х50
11	ТП12-ТП11	267,3	7,6	15,1	50	1,00	0,78	1,10	115,8	139,0	3АПвПГ-10-1х50
12	ПГВ-ТП12	3144,5	89,0	178,0	50	1,00	0,78	1,10	175,9	211,1	6АПвПГ-10-1х50
13	ТП3-ТП13	471,5	13,3	26,7	50	1,00	1,00	1,10	225,5	270,6	3АПвПГ-10-1х50
14	ТП12-ТП14	278,1	7,9	15,7	50	1,00	1,00	1,10	225,5	270,6	3АПвПГ-10-1х50
15	ТП13-СП3	113,0	81,6	163,1	35	1,00	1,00	1,10	176,0	211,2	АВВГнг-0,4-4х35
16	ТП18-ТП16	590,6	16,7	33,4	50	1,00	1,00	1,10	225,5	270,6	3АПвПГ-10-1х50
17	ТП18-СП4	210,8	152,1	304,3	120	1,00	1,00	1,10	374,0	448,8	АВВГнг-0,4-4х120
18	ПГВ-ТП18	1217,60	34,5	68,9	25	1,00	1,00	1,10	225,5	270,6	3АПвПГ-10-1х50
19	СП4-СП5	104,4	75,3	150,7	50	1,00	1,00	1,10	176,0	211,2	АВВГнг-0,4-4х35
20	ТП14-СП6	18,8	13,6	27,1	16	1,00	1,00	1,10	115,5	138,6	АВВГнг-0,4-4х16
21	ТП16-СП7	71,3	51,5	102,9	16	1,00	1,00	1,10	115,5	138,6	АВВГнг-0,4-4х16
22	СП7-СП8	14,1	10,2	20,4	16	1,00	1,00	1,10	115,5	138,6	АВВГнг-0,4-4х16

Заключение

При выполнении выпускной работы определены расчетные нагрузки цехов и завода в целом, определен центр электрических нагрузок завода, выбраны системы питания и распределения электроэнергии предприятия, выбраны и проверены по токам короткого замыкания элементы системы электроснабжения предприятия.

Электроснабжение завода «Элетроточприбор» осуществляется от подстанции энергосистемы по двум воздушным ЛЭП – 110 кВ, выполненным проводом марки АС – 70/11 на двухцепных металлических опорах.

Пункт глубокого ввода (ПГВ) расположен с небольшим смещением от найденного расчетным путем центра электрических нагрузок.

На ПГВ установлены два силовых трансформатора типа ТРДН – 25000/110/10, установка реакторов не потребовалась.

РУ – 10 кВ ПГВ выполнено ячейками КРУ серии D-12H «Классика» с выкатными элементами.

Большинство цеховых подстанций выполнены двухтрансформаторными, кроме цехов № 1, 13, 11, 14, 16 и 18, в которых установлены однотрансформаторные КТП, а также цехов малой мощности, электроснабжение которых осуществляется на классе напряжения 0,4 кВ с установкой в цехе силовых пунктов.

Схема распределения смешанная, с преобладанием радиальных линий.

Считаем, что разработанная система электроснабжения завода удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым нормативными документами.

Библиографический список

1. Правила устройства электроустановок. Все действующие разделы шестого и седьмого изданий с изменениями и дополнениями по состоянию на 1 января 2013 г. – М. : КНОРУС, 2013. – 854 с.

2. ГОСТ 2.105-95. Общие требования к текстовым документам [Электронный ресурс]. – Введ. 1996–07–01. – М.: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1996. – 28 с. – Режим доступа: http://docs.cntd.ru/document/gost-2-105-95-eskd.

3. Технологические процессы производств промышленных предприятий : учеб. пособие / В. Н. Горюнов [и др.] ; ОмГТУ. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2011. – 158 с.

4. Проектирование систем электроснабжения промышленных объектов : учеб. пособие / В. В. Барсков [и др.] ; ОмГТУ. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2003. – 90 с.

5. Расчет электрических нагрузок, выбор главных схем и оборудования систем электроснабжения объектов : учеб. пособие / В. К. Грунин [и др.] ; под ред. В. К. Грунина ; ОмГТУ. – 2-е изд., испр. и доп. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2005. – 141 с.

6. Грунин В. К. Основы электроснабжения объектов. Расчет электрических нагрузок: конспект лекций / В. К. Грунин. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2006. – 72 с.

7. Грунин, В. К. Основы электроснабжения объектов. Проектирование систем электроснабжения: конспект лекций / В. К. Грунин. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2007. – 68 с.

8. Приказ Министерства энергетики РФ от 23.06.2015 № 380 «О Порядке расчета значений соотношения потребления активной и реактивной мощности для отдельных энергопринимающих устройств (групп энергопринимающих устройств) потребителей электрической энергии» [Электронный ресурс]. – Введ. 2015–07–22. – 7 с. Режим доступа: http://docs.cntd.ru/document/420285270.

9. ГОСТ 14.209-85. Трансформаторы силовые масляные общего назначения. Допустимые нагрузки [Электронный ресурс]. – Введ. 1985–07–01. – М.: Стандартинформ, 2009. – 38 с. – Режим доступа: http://docs.nevacert.ru/files/gost/gost_14209-1985.pdf.

10. ОАО «Электрощит Самара» : [сайт]. – http://www.electroshield.ru.

11. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования : РД 153-34.0-20.527 98 / под ред. Б. Н. Неклепаева. – Введ. 1998–03–23. – М. : ЭНАС, 2002. – 152 с.

12. Справочник по проектированию электроснабжения / ред.: Ю. Г. Барыбин; сост.: И. С. Бабаханян [и др.]. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 576 с.

13. Оборудование и электротехнические устройства систем электроснабжения: справочник / под общ. ред. В. Л. Вязигина, В. Н. Горюнова, В. К. Грунина (гл. редактор). – Омск : Редакция Ом. науч. вестника, 2006. – 268 с.

14. Эрнст, А. Д. Самозапуск асинхронных электродвигателей: учеб. пособие / А. Д. Эрнст ; ОмГТУ. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2006. – 47 с.

15. Андреев, В. А. Релейная защита систем электроснабжения: учеб. для вузов по специальности «Электроснабжение» направления подгот. «Электроэнергетика» / В. А. Андреев. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Высш. шк., 2006. – 639 с.