

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

(наименование)

13.03.02. Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки/ специальности)

Электроснабжение

(направленность (профиль)/специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Электроснабжение электроаппаратного завода

Обучающийся

Н. В. Ищук

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент, Ю.В. Черненко

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2023

Аннотация

«Работа посвящена разработке проекта системы электроснабжения» [12] объекта электротехнической промышленности на примере электроаппаратного завода.

«Для качественной реализации основной цели работы, решены следующие поставленные задачи» [12]:

- «анализ исходных данных по объекту проектирования с рассмотрением основных теоретических положений для решения» [19] поставленных задач;
- выбор схемы электроснабжения с последующим расчётом электрических нагрузок системы электроснабжения электроаппаратного завода;
- выбор и проверка электрических проводников и аппаратов на всех звеньях электрической сети объекта.

Работа представлена «расчётно-пояснительной запиской объёмом 72 страницы, а также графической частью, состоящей из шести чертежей формата А1» [15].

Содержание

Введение.....	4
1 Краткая характеристика предприятия.....	7
1.1 Анализ исходных данных на проектирование.....	7
1.2 Характеристика технических условий объектов электроаппаратного завода.....	11
2 Выбор схемы электроснабжения и расчёт электрических нагрузок в системе электроснабжения электроаппаратного завода.....	14
2.1 Выбор схемы электроснабжения и напряжения внешнего и внутреннего электроснабжения электроаппаратного завода	14
2.2 Расчёт электрических нагрузок системы электроснабжения электроаппаратного завода	17
2.3 Определение условного центра электрических нагрузок объектов и всего электроаппаратного завода. Расчёт картограммы нагрузок.....	23
3 Выбор и проверка основного оборудования системы электроснабжения электроаппаратного завода	28
3.1 Выбор и проверка мощности силовых трансформаторов ГПП системы электроснабжения электроаппаратного завода.....	28
3.2 Выбор месторасположения, числа и мощности силовых трансформаторов ТП-10/0,4 кВ с учётом компенсации реактивной мощности	33
3.3 Расчёт токов коротких замыканий в системе электроснабжения электроаппаратного завода	39
3.4 Выбор и проверка проводников системы электроснабжения электроаппаратного завода	48
3.5 Выбор и проверка электрических аппаратов на ГПП системы электроснабжения электроаппаратного завода.....	53
Заключение	62
Список используемых источников.....	64

Введение

Электроаппаратные заводы играют важную роль в производстве электротехнических изделий, таких как электродвигатели, трансформаторы, генераторы, автоматические выключатели и прочую аналогичную продукцию.

Они включают компоненты и системы, которые используются в различных отраслях промышленности, от энергетики до транспорта.

Производственный процесс на электроаппаратных заводах стал более эффективным и гибким. С помощью современного оборудования и программного обеспечения они могут быстро реагировать на изменения спроса и производства высокого качества.

Одной из основных особенностей развития электроаппаратных заводов является переход к естественно экологически чистым материалам и материалам. Например, многие заводы перешли на использование энергосберегающих технологий.

Также высокой тенденцией является развитие «умных» технологий, которые позволяют управлять и отслеживать работу электротехнических систем и компонентов удаленно, с помощью интернета.

Это включает в себя надежность и эффективность электротехнических систем, а также расходы на их эксплуатацию и обслуживание.

Таким образом, электроаппаратные заводы играют важную роль в различных отраслях экономики и продолжают использовать развивающиеся технологии и материалы для производства экологически чистых продуктов.

«Основной целью работы является разработка проекта системы электроснабжения объекта электроаппаратного завода» [12].

«Объектом исследования является разрабатываемый электроаппаратный завод» [12].

Предметом исследования в работе выступает электрическая часть проектируемой системы электроснабжения электроаппаратного завода.

Разработка проектов систем электроснабжения позволяет определить оптимальную конфигурацию системы, оценку требований надежности, эффективности и экономической устойчивости.

Кроме того, современные системы электроснабжения должны соответствовать высоким требованиям по безопасности и экологичности, учитывая особенности различных объектов и условия их эксплуатации.

Это требует разработки конкретных проектов для каждого объекта, учитывающих его характеристики и требования к безопасности и экологичности.

Наконец, разработка проектов систем электроснабжения имеет большое значение для развития современных технологий и инженерных решений. Развитие новых эффективных систем электроснабжения значительно повысило продуктивность отечественных предприятий и повысило качество жизни населения.

Таким образом, разработка проектов систем электроснабжения является актуальной задачей, которая имеет важное значение для надежности, безопасности объектов, а также для развития современных технологий и инженерных решений.

Для успешной реализации цели работы необходимо решить следующие поставленные задачи:

- анализ исходных данных по объекту исследования, включая основные положения, решения для задач, а также классифицировать производственные и непроизводственные цеха и подразделения проектируемого электроаппаратного завода в соответствии с требованиями надежности, производственного процесса и проектной мощности;
- «разработка системы электроснабжения электроаппаратного завода» [5]. «Для этого необходимо выбрать основные компоненты объекта и его составные части» [8], а также выбрать проводники в системе электроснабжения объекта, включая питающие и потребляющие сети.

На основе расчетных данных следует выбор современных решений, обоснованный выбор на основе анализа современных разработок и моделей, основанных на оценке европейских и отечественных производителей. Все принятые решения должны быть проверены на термическую и динамическую устойчивость к максимальному току короткого замыкания.

Следовательно, в работе необходимо разработать требуемую документацию по реализации проекта системы электроснабжения электроаппаратного завода, включая чертежи, схемы и прочие структуры структурных разделов.

Важным аспектом здесь является обеспечение безопасности и надежности работы системы.

Это обеспечивает понимание того, что проект возможен для реализации, и снижает вероятность ошибок и несоответствий в процессе проектирования.

В результате выполнения работы решены поставленные задачи по разработке проекта системы электроснабжения электроаппаратного завода с надежной, бесперебойной и экономичной системой электроснабжения, с учётом электробезопасности принятых решений.

Краткая характеристика предприятия

Анализ исходных данных на проектирование

В работе разработка системы электроснабжения электроаппаратного завода в работе проводится на основе технологической схемы и электрооборудования цехов и участков Курского электроаппаратного завода (далее – КЭАЗ), который является одним из основных и крупнейших производителей отечественного электротехнического оборудования.

С 1945 года Курский электроаппаратный завод занимается разработкой и производством электротехнической продукции.

В настоящее время КЭАЗ является полностью циклическим предприятием, владеющим процессом создания низковольтного оборудования с начала до конца, включая проектирование, производство, испытания и сервис. КЭАЗ располагает двумя производственными площадками общей площадью 60 000 квадратных метров и занято более 2 000 сотрудников.

Для производства используется около 2000 станков и промышленного оборудования, а также более 6 000 пресс-форм и штампов. Производимый ассортимент Курского электроаппаратного завода насчитывает более 20 000 позиций в номенклатуре. Основная продукция электроаппаратного завода может варьироваться в зависимости от его профиля и специализации.

Однако, обычно на электроаппаратных заводах производят различные электрические компоненты и устройства, такие как:

- электродвигатели различной мощности и назначения (например, для привода насосов, вентиляторов, транспортеров и прочее аналогичное оборудование);
- трансформаторы, индуктивности, реакторы, дроссели и другие компоненты для электропитания и регулирования электрических параметров;

- компоненты для систем автоматизации и управления (например, контакторы, реле, таймеры, датчики и прочее аналогичное оборудование);
- кабели и провода различного типа и сечения;
- электроустановочные изделия (выключатели, розетки, щиты и прочее аналогичное оборудование);
- электронные компоненты и устройства (например, печатные платы, микросхемы, сенсоры и прочее аналогичное оборудование).

Кроме того, на электроаппаратных заводах могут производиться и другие продукты, такие как солнечные панели, аккумуляторы и другие устройства для хранения энергии, системы электроосвещения и прочее аналогичное оборудование.

На электроаппаратном заводе планируется производство полного цикла, включающее производство электротехнических изделий различных типов, видов и назначения. Основные производственные этапы КЭАЗ, которые также принимаются в качестве основы для разработки системы электроснабжения проектируемого электроаппаратного завода, представлены на рисунке 1.



Рисунок 1 – Основные производственные этапы КЭАЗ, принимаемые в качестве основы для разработки системы электроснабжения проектируемого электроаппаратного завода

Технологическая схема процесса изготовления готовой продукции на КЭАЗ, принимаемая также в качестве основы для разработки системы электроснабжения проектируемого электроаппаратного завода, представлена на рисунке 2.



Рисунок 2 – Технологическая схема процесса изготовления готовой продукции на КЭАЗ, принимаемая также в качестве основы для разработки системы электроснабжения проектируемого электроаппаратного завода

Согласно технологической схеме рисунка 2, на объекте проектирования должны находиться следующие основные технологические подразделения основного производства:

- инструментальное производство;
- гальвано-штамповочное производство;
- производство пластиковых изделий;
- механическое производство;
- сборочное производство.

Вспомогательные подразделения электроаппаратного завода включают:

- механический участок;
- склад готовой продукции;
- ремонтно-эксплуатационные службы;
- административно-бытовой корпус;
- гараж;
- материальный склад;

Кроме того, на электроаппаратном заводе также есть котельная и насосная (таблица 1).

Таблица 1 – Исходные данные объектов электроаппаратного завода

Номер объекта по плану	Наименование подразделения	Количество электроприемников, шт.	Установленная мощность, кВт	
			одного, P _н	суммарная, P _с
1	Инструментальное производство	100	1,1–30	900
2	Гальвано-штамповочное производство	40	1,1–40	520
3	Производство пластиковых изделий	40	1,1-40	590
4	Механическое производство	100	1,1-50	1000
5	Сборочное производство	40	3-22	390
6	Котельная	30	3-18,5	190
7	Механический участок	50	3-27	660
8	Склад готовой продукции	100	1-50	930
9	Ремонтно-эксплуатационные службы	50	1-18,5	200
10	Административно-бытовой корпус	50	1-11	150
11	Гараж	25	1-10	83
12	Материальный склад	20	1,1-10	70
13	Насосная: а) 0,4 кВ; б) АД 10 кВ	10	1,1–10	40
		2	400	800

«План расположения объектов проектируемого электроаппаратного завода представлен на рисунке 3» [10].

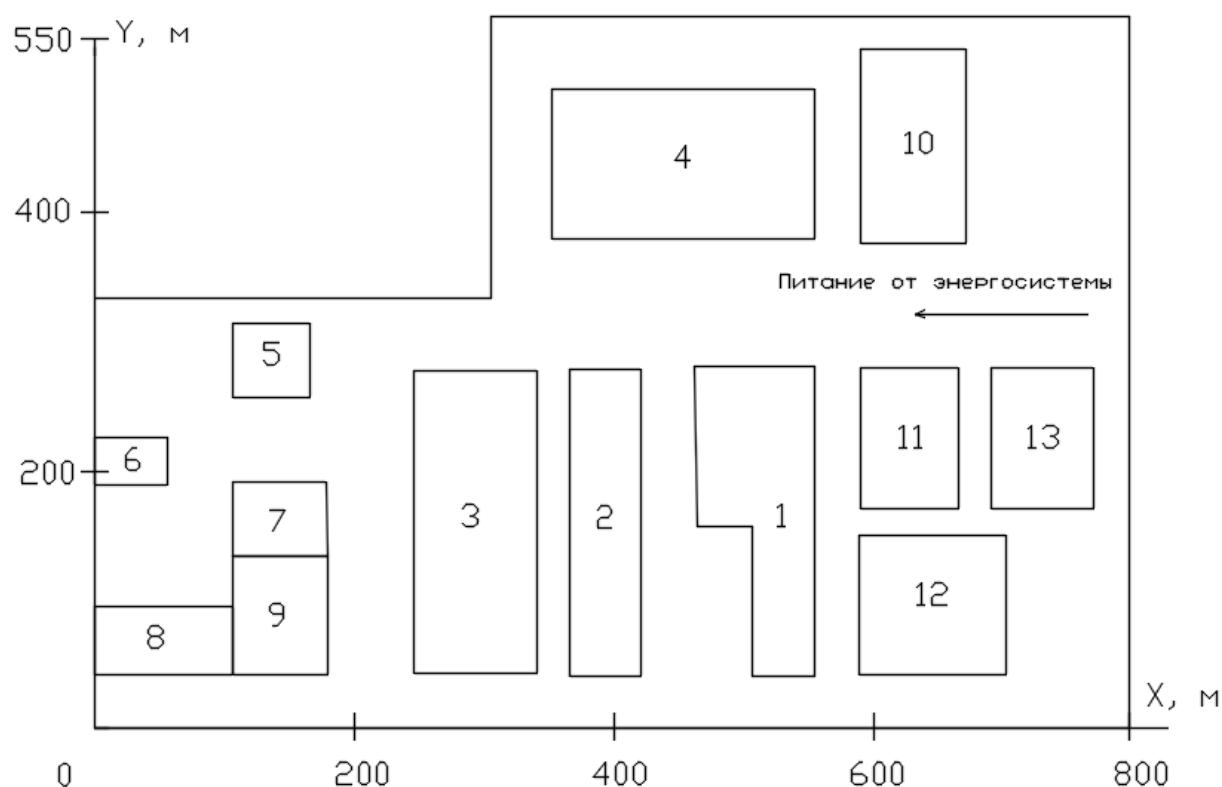


Рисунок 3 – План расположения объектов проектируемого электроаппаратного завода

Таким образом, на проектируемом в работе электроаппаратном заводе, планируется внедрить безотходную технологию производства, при которой рационально и планомерно будут использованы всё сырье, продукты и материалы.

1.2 Характеристика технических условий объектов электроаппаратного завода

«К I категории по надёжности электроснабжения относятся основные производственные объекты электроаппаратного завода, а именно» [11]: инструментальное производство, гальвано-штамповочное производство, производство пластиковых изделий, механическое производство, сборочное производство. Потребители I категории должны иметь два независимых источника питания с применением автоматического включения резерва (АВР) между секциями сборных шин.

«К потребителям II категории относятся объекты, которые обеспечивают и поддерживают основной технологический процесс: котельная и насосная» [12]. «К потребителям III категории относятся все остальные объекты и подразделения» [17].

К ним относятся: механический участок, склад готовой продукции, ремонтно-эксплуатационные службы, административно-бытовой корпус, гараж, материальный склад. Для питания потребителей III категории достаточно одного источника (таблица 2).

Таблица 2 – Категории объектов проектируемого электроаппаратного завода по надёжности электроснабжения

Номер объекта по плану	Наименование объекта электроаппаратного завода	Категория надёжности объекта
1	Инструментальное производство	I
2	Гальвано-штамповочное производство	I
3	Производство пластиковых изделий	I
4	Механическое производство	I
5	Сборочное производство	I
6	Котельная	II
7	Механический участок	III
8	Склад готовой продукции	III
9	Ремонтно-эксплуатационные службы	III
10	Административно-бытовой корпус	III
11	Гараж	III
12	Материальный склад	III
13	Насосная	II

Все объекты электроаппаратного завода, кроме некоторых открытых участков гаража, «представляют собой строения, собранные из железобетонных конструкций, стены и кровля изготовлены из сборных панелей» [18].

В основных производственных объектах, как-то: инструментальное производство, гальвано-штамповочное производство, производство пластиковых изделий, механическое производство, сборочное производство, среда помещений является химически активной, агрессивной, пожаро- и

взрывоопасная, так как горючая пыль и сопутствующие газы (метан, углеводород и др.), которые имеют свойство гореть и взрываться (таблица 3).

Таблица 3 – Характеристика производственной среды объектов электроаппаратного завода

Номер по плану	Наименование объекты	Производственная среда
1	Инструментальное производство	Химически активная, агрессивная, пыльная
2	Гальвано-штамповочное производство	
3	Производство пластиковых изделий	
4	Механическое производство	
5	Сборочное производство	
6	Котельная	Жаркая
7	Механический участок	Нормальная
8	Склад готовой продукции	Пыльная, сухая
9	Ремонтно-эксплуатационные службы	Нормальная
10	Административно-бытовой корпус	
11	Гараж	
12	Материальный склад	Пыльная, сухая
13	Насосная	Влажная

Также установлено, что к объектам с повышенной опасностью на заводе относятся инструментальное производство, гальвано-штамповочное производство, производство пластиковых изделий, механическое производство, сборочное производство), котельная (жаркая среда), а также склад готовой продукции и материальный склад (пыльная сухая среда).

Выводы по разделу.

«В работе проведён анализ исходных данных для выполнения работы» [1]. Технологическая схема процесса изготовления готовой продукции и основные производственные объекты КЭАЗ, приведённые в работе, принимаются в качестве основы для разработки системы электроснабжения проектируемого электроаппаратного завода.

Показано, что разработка качественного проекта системы электроснабжения электроаппаратного завода, с внедрением основных групп мероприятий, будет способствовать значительному повышению параметров надёжности, бесперебойности, электробезопасности и экономичности на объекте исследования.

Выбор схемы электроснабжения и расчёт электрических нагрузок в системе электроснабжения электроаппаратного завода

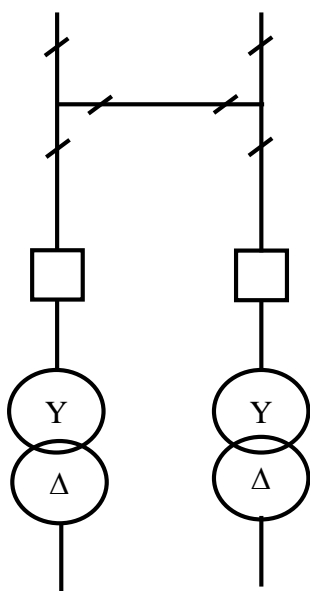
Выбор схемы электроснабжения и напряжения внешнего и внутреннего электроснабжения электроаппаратного завода

Выбор схемы электроснабжения и напряжения внешнего и внутреннего электроснабжения электроаппаратного завода зависит от многих факторов, включая следующие основные из них:

- мощность технологического оборудования на заводе. Например, заводы, где используется большое количество мощных электроприборов и оборудования, обычно требуют более высокого напряжения электроснабжения, чтобы обеспечить достаточную мощность и эффективность;
- расстояние от питающей электростанции или подстанции до завода. Более длинные расстояния могут потребовать более высокого напряжения, чтобы уменьшить потери энергии;
- региональные стандарты и требования в области энергетики и безопасности. В разных регионах могут быть разные стандарты и требования в области электроснабжения, которые могут влиять на выбор схемы электроснабжения и напряжения;
- стоимость установки и эксплуатации системы электроснабжения. Более высокие напряжения могут требовать более дорогой и сложной инфраструктуры, что может повлиять на общую стоимость установки и эксплуатации системы электроснабжения.

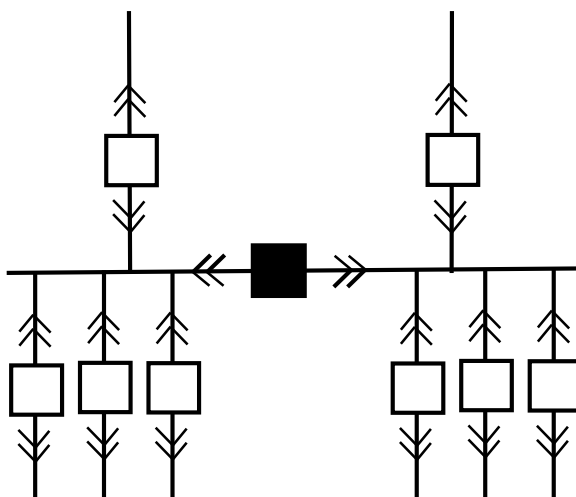
Исходя из этих факторов, обычно для электроаппаратных заводов выбираются схемы электроснабжения на основе среднего или высокого напряжения (10-35-110 кВ), которые обеспечивают достаточную мощность и эффективность, а также обеспечивают достаточный уровень безопасности для работников.

Кроме того, внутреннее электроснабжение завода должно быть организовано таким образом, чтобы обеспечивать необходимую мощность и эффективность для всех производственных процессов, а также соблюдать все стандарты и требования в области электробезопасности. Это может включать использование трансформаторов и распределительных щитов для управления и распределения электроэнергии внутри завода. «В результате проведения анализа по объекту проектирования, установлено, что в системе электроснабжения электроаппаратного завода преобладают потребители I-й и II-й категорий по надежности электроснабжения, поэтому внешнее электроснабжение данного объекта осуществляется по двухцепной ЛЭП с установкой на источнике питания системы электроснабжения объекта двух силовых трансформаторов. Питание системы электроснабжения» [2] электроаппаратного завода планируется осуществить от главной понизительной подстанции (ГПП). В «работе для внешней сети главной понизительной подстанции (ГПП) выбирается схема соединений» [17] «Два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий» [6] (рисунок 4).



«Рисунок 4 – Схема соединений на стороне ВН ГПП электроаппаратного завода (два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой)» [9]

«В работе принимается схема РУ НН ГПП электроаппаратного завода с необходимым уровнем резервирования» [8] – «одиночная секционированная на две секции система сборных шин с устройством автоматического включения резерва (АВР), показанная на рисунке 5» [8].



«Рисунок 5 – Схема соединений на стороне 10 кВ ГПП электроаппаратного завода (одиночная, секционированная выключателем, система сборных шин)» [8]

Схема внутренней сети представлена на рисунке 6.

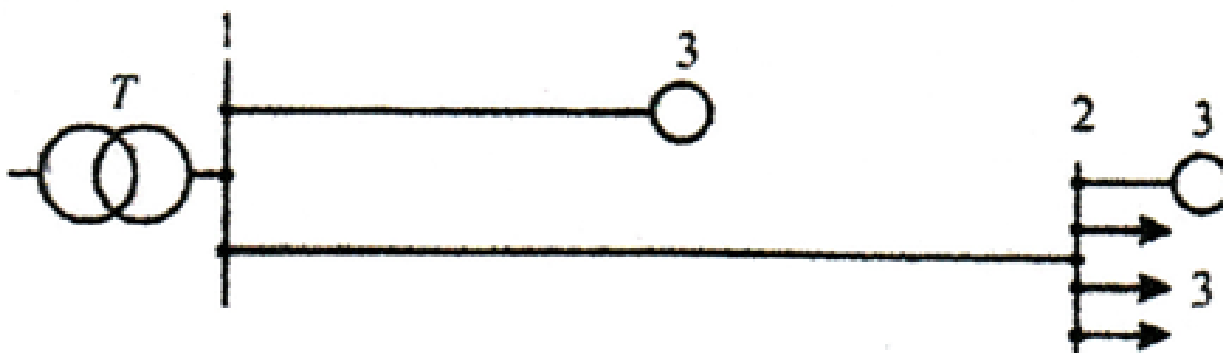


Рисунок 6 – Схема внутренней сети: 1 - РУ НН ТП-10/0,4 кВ; 2 - силовой пункт (СП); 3 – электроприёмник

Распределение электроприемников объекты по СП приводится в работе далее после выполнения соответствующих расчётов.

«Известно, что величина напряжения внешнего электроснабжения электроаппаратного завода определяется по формуле Стилла» [7]:

$$U_{рац} = 4,34 \cdot \sqrt{L + 16 \cdot P_{предпр}}, \quad (1)$$

«где $P_{предпр}$ – расчетная мощность электроаппаратного завода, МВт» [7];

« L - расстояние от энергосистемы до ГПП, км» [7];

« K_o – коэффициент разновременности нагрузок объектов» [7];

« K_n – коэффициент потерь в трансформаторах ГПП» [7].

«Расчётная мощность электроаппаратного завода» [7]:

$$P_{предпр.} = 1,05 \cdot 0,95 \cdot 6,523 = 6,51 \text{ МВт.}$$

«По условию (1)» [7]:

$$U_{рац} = 4,34 \cdot \sqrt{6 + 16 \cdot 6,51} = 45,55 \text{ кВ.}$$

«Для внешнего электроснабжения выбирается напряжение 110 кВ» [7].

При выборе напряжения внутренней системы и схемы электроснабжения проектируемого электроаппаратного завода, исходя из той же шкалы номинальных напряжений, и учитывая рекомендации [7], принимается номинальное напряжение 10 кВ, которое эффективнее напряжения 6 кВ.

Таким образом, в результате проведения расчётно-аналитического анализа, установлено, что для питания внешней системы электроснабжения проектируемого электроаппаратного завода, целесообразно использовать главную понизительную подстанцию с двумя силовыми трансформаторами и классами напряжения 110 кВ (номинальное высшее напряжение) и 10 кВ (номинальное низшее напряжение).

Выбранные схемные решения и решения по номинальным классам напряжения объекта проектирования используются в работе далее.

Расчёт электрических нагрузок системы электроснабжения электроаппаратного завода

Цель расчета электрических нагрузок системы электроснабжения электроаппаратного завода заключается в определении необходимой мощности и энергии, которые потребляются различными электроприборами и оборудованием на заводе.

Это позволяет разработать оптимальную схему электроснабжения, которая обеспечит достаточную мощность и эффективность производственных процессов.

Расчет электрических нагрузок системы электроснабжения включает в себя определение максимальной и средней нагрузки на различные участки системы, такие как здания, оборудование, освещение, системы кондиционирования воздуха и прочих видов нагрузки.

Это помогает определить необходимые параметры для оборудования и инфраструктуры системы электроснабжения, такие как напряжение, мощность трансформаторов, силовые кабели, щиты и другое оборудование.

Расчет электрических нагрузок также позволяет определить потенциальные проблемы и узкие места в системе электроснабжения, такие как перегрузки и короткие замыкания, которые могут привести к авариям и простоям производства.

Это позволяет разработать планы по управлению нагрузками и предотвращению возможных проблем в будущем.

Таким образом, расчет электрических нагрузок системы электроснабжения электроаппаратного завода является необходимым этапом проектирования и обеспечивает оптимальную работу системы электроснабжения на заводе.

По известному числу и мощности потребителей на заданном напряжении, определяется значения активной нагрузки потребителей электрической части системы электроснабжения электроаппаратного завода в

максимальном режиме работы системы (по фактическим данным нагрузок объекта):

$$P_p = K_c P_n, \quad (2)$$

где P_n – «значение суммарной номинальной активной мощности цеха (участка) проектируемого электроаппаратного завода, кВт» [8];
 K_c – «справочное значение коэффициента спроса цеха» [8].

«Расчетная реактивная нагрузка силовых электроприёмников соответствующего цеха (участка) проектируемого электроаппаратного завода, квар» [6]:

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg}\varphi, \quad (3)$$

«где $\operatorname{tg}\varphi$ – значение коэффициента реактивной мощности, о.е.» [8].

«Расчётная нагрузка осветительных приёмников, кВт» [16]:

$$P_{p.o} = K_{c.o} P_{n.o}, \quad (4)$$

где « $K_{c.o}$ – справочный коэффициент спроса приемников освещения соответствующего цеха (участка) проектируемого электроаппаратного завода» [4];
« $P_{n.o}$ – суммарная номинальная мощность приемников освещения соответствующего цеха (участка) проектируемого электроаппаратного завода, кВт» [1].

«При этом» [7]:

$$P_{n.o} = P_{уд.o} F, \quad (5)$$

«где $P_{уд.o}$ – нормируемая удельная мощность освещения

соответствующего цеха (участка) проектируемого электроаппаратного завода, кВт/м²» [4];
« F – площадь соответствующего цеха (участка) проектируемого электроаппаратного завода согласно генплану, м²» [1].

«Полная нагрузка силовых и осветительных приёмников» [1]:

$$S_{p.} = \sqrt{(P_{н.} + P_{н.о})^2 + Q_p^2}. \quad (6)$$

«Полная расчётная силовая нагрузка силовых и осветительных приёмников соответствующего цеха (участка) проектируемого электроаппаратного завода» [13]:

$$S_{p.} = \sqrt{P_{p.}^2 + Q_p^2}. \quad (7)$$

«Предварительные потери активной и реактивной мощности в цеховых трансформаторах ЦТП системы электроснабжения электроаппаратного завода» [16]:

$$\Delta P_{ТЦ} = 0,02S_{p.н.}, \text{ кВт}; \quad (8)$$

$$\Delta Q_{ТЦ} = 0,1S_{p.н.}, \text{ квар}. \quad (9)$$

«Потери активной мощности в трансформаторах ГПП системы электроснабжения электроаппаратного завода» [16]:

$$\Delta P_{Т.ГПП} = 0,02S_{p.Σ}, \text{ кВт}; \quad (10)$$

$$\Delta Q_{Т.ГПП} = 0,1S_{p.Σ}, \text{ квар}. \quad (11)$$

«Результаты расчёта силовых электрических нагрузок потребителей системы электроснабжения завода сведены в таблицу 4» [7].

Таблица 4 – Результаты расчёта силовых электрических нагрузок потребителей системы электроснабжения электроаппаратного завода

Номер цеха	Наименование	Силовая нагрузка					
		P_n , кВт	K_c	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	P_p , кВт	Q_p , кВар
Потребители электрической энергии до 1000 В							
1	Инструментальное производство	900	0,8	0,9	0,484	720,00	348,71
2	Гальвано-штамповочное производство	520	0,8	0,9	0,484	416,00	201,48
3	Производство пластиковых изделий	590	0,8	0,9	0,484	472,00	228,60
4	Механическое производство	1000	0,8	0,9	0,484	800,00	387,46
5	Сборочное производство	390	0,8	0,9	0,484	312,00	151,00
6	Котельная	190	0,65	0,7	1,020	123,50	126,00
7	Механический участок	660	0,8	0,9	0,484	528,00	255,72
8	Склад готовой продукции	930	0,8	0,9	0,484	744,00	360,34
9	Ремонтно-эксплуатационные службы	200	0,8	0,9	0,484	160,00	77,49
10	Административно-бытовой корпус	150	0,8	0,9	0,484	120,00	58,12
11	Гараж	83	0,65	0,75	0,882	53,95	47,58
12	Материальный склад	70	0,65	0,75	0,882	45,50	40,13
13а	Насосная	40	0,65	0,75	0,882	26,00	22,93
Итого по 0,38/0,22 кВ		4433	-	-	-	3736,75	2383,99
Потребители электрической энергии выше 1000 В							
13б	Насосная	800	0,75	0,9	0,484	600	372
Итого по 10 кВ		800	-	-	-	600	372
Итого по заводу		5233	-	-	-	4336,75	2755,99

Осветительная нагрузка объектов электроаппаратного завода рассчитывается, исходя из площади соответствующих объектов, а также нормируемой освещённости.

Площадь задана в исходных данных, нормируемая освещённость выбирается по справочной литературе, исходя из вида и типа объекта [19].

С учётом этого, результаты расчёта осветительных нагрузок объектов электроаппаратного завода приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Результаты расчёта осветительных нагрузок объектов электроаппаратного завода

Номер объекта	Наименование	Осветительная нагрузка				
		F, м ²	P _{удо} , кВт	P _{но} , кВт	K _{со}	P _{ро} , кВт
1	Инструментальное производство	15975	0,014	223,65	0,6	134,190
2	Гальвано-штамповочное производство	12925	0,014	180,95	0,6	108,570
3	Производство пластиковых изделий	21150	0,014	296,10	0,6	177,660
4	Механическое производство	22670	0,014	317,38	0,6	190,428
5	Сборочное производство	1440	0,012	17,28	0,6	10,400
6	Котельная	1920	0,012	23,04	0,6	13,824
7	Механический участок	3890	0,014	54,46	0,6	32,676
8	Склад готовой продукции	5530	0,020	110,60	0,6	66,360
9	Ремонтно-эксплуатационные службы	6314	0,014	88,396	0,6	53,038
10	Административно-бытовой корпус	11560	0,020	231,20	0,7	161,840
11	Гараж	7900	0,010	79	0,6	47,400
12	Материальный склад	11200	0,010	112	0,6	67,200
13	Насосная	8250	0,012	99	0,6	59,400
Итого осветительной нагрузки по заводу		-	-	-	-	1087,906

Суммарная нагрузка объектов электроаппаратного завода состоит из суммы силовой и осветительной нагрузок соответствующих объектов.

При этом суммируются соответствующие нагрузки силовой и осветительной сети, а полная нагрузка определяется, исходя из известного выражения (7).

При этом в работе условно принимается отсутствие реактивной нагрузки в сети освещения, так как при выполнении освещения современными светодиодными источниками света, её значение пренебрежительно мало [15]. Результаты расчёта суммарной расчетной нагрузки объектов электроаппаратного завода представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Результаты расчёта суммарной расчетной нагрузки объектов электроаппаратного завода

Номер объекта	Наименование	Суммарная расчетная нагрузка		
		P_p+P_{po} , кВт	Q_p , кВар	S_p , кВА
1	Инструментальное производство	854,19	348,71	922,63
2	Гальвано-штамповочное производство	524,57	201,48	561,93
3	Производство пластиковых изделий	649,66	228,60	688,71
4	Механическое производство	990,43	387,46	1063,52
5	Сборочное производство	169,78	163,3	235,6
6	Котельная	137,32	126,00	186,37
7	Механический участок	560,68	255,72	616,24
8	Склад готовой продукции	810,36	360,34	886,86
9	Ремонтно-эксплуатационные службы	213,04	77,49	226,69
10	Административно-бытовой корпус	281,84	58,12	287,77
11	Гараж	101,35	47,58	111,96
12	Материальный склад	112,70	40,13	119,63
13	Насосная	85,40	22,93	88,42
Итого по 0,38/0,22 кВ		6013,10	2934,18	6802,89
13б	Насосная	600	372	705,96
Итого по 10 кВ		600	372	705,96
Итого по предприятию		6613,10	3306,18	7508,85

На основании полученных результатов расчёта электрических нагрузок проектируемого электроаппаратного завода, далее в работе проводится выбор силовых трансформаторов, электрических сетей и аппаратов.

2.3 Определение условного центра электрических нагрузок объектов и всего электроаппаратного завода. Расчёт картограммы нагрузок

Условный центр электрических нагрузок (УЦЭН) представляет собой точку, в которой сосредоточена вся мощность электроприборов и оборудования объекта или всего электроаппаратного завода.

Он позволяет определить место, где происходит наибольшее потребление электроэнергии, и обеспечить оптимальное распределение мощности и энергии в системе электроснабжения.

Для определения УЦЭН объектов или всего электроаппаратного завода необходимо выполнить следующие шаги:

- определить все электрические нагрузки на объектах и на всем заводе. Для этого необходимо выполнить расчет электрических нагрузок каждого объекта завода (выполнено в работе ранее);
- определить координаты каждой электрической нагрузки на объектах завода. Это может быть выполнено с помощью плана объекта или завода и определения местоположения каждого электроприбора и оборудования на этом плане;
- вычислить взвешенные координаты каждой электрической нагрузки. Для этого необходимо умножить координаты каждой электрической нагрузки на ее мощность и затем сложить результаты для всех нагрузок. Затем необходимо поделить полученную сумму на общую мощность нагрузки на объектах завода;
- полученные взвешенные координаты являются координатами УЦЭН объекта или завода.

Таким образом, определение УЦЭН объектов или всего электроаппаратного завода позволяет определить место, где происходит наибольшее потребление электроэнергии, и обеспечить оптимальное распределение мощности и энергии в системе электроснабжения.

Это позволяет повысить эффективность работы системы и уменьшить затраты на энергопотребление.

Площади окружностей картограммы нагрузок и радиус окружности:

$$P_{p,i} = \pi R_i^2 m \quad (12)$$

$$R_i = \sqrt{\frac{P_{p,i}}{\pi \cdot m}}, \quad (13)$$

«где $P_{p,i}$ – расчетная активная мощность i -го объекта электроаппаратного завода, кВт» [6];

« m – масштаб мощности, кВт/мм²» [13].

Масштаб мощности принимается, исходя из размеров объектов завода, с учётом их расположения, принятого масштаба уменьшения на чертеже, а также величины расчётных нагрузок.

Принимается для удобства построения масштаб мощности масштаб мощности 1 (кВт):1 (мм).

«Угол заштрихованного сектора, соответствующего площади равной расчётной мощности осветительной нагрузки» [17]:

$$\alpha_i = \frac{360 \cdot P_{p.o.i}}{P_{p.n.i} + P_{p.o.i}}. \quad (14)$$

«Координаты УЦЭН электроаппаратного завода при этом можно определить так» [7]:

$$X_{ЦА} = \frac{\Sigma(P_{p.i} X_i)}{\Sigma P_{p.i}}, \quad (15)$$

$$Y_{ЦА} = \frac{\Sigma(P_{p.i} Y_i)}{\Sigma P_{p.i}}, \quad (16)$$

«где X_i, Y_i – координаты условных центров электрических нагрузок объектов, м» [14].

Пользуясь приведёнными выше выражениями и расчётными условиями, определяются координаты условного центра электрических нагрузок.

«Определение условного центра электрических нагрузок объектов электроаппаратного завода и данных для построения картограммы нагрузок приведено в таблице 7» [7].

Таблица 7 – Определение условного центра электрических нагрузок объектов проектируемого электроаппаратного завода

Номер объекта	Наименование объекта	$P_{pi} + P_{poi}$, кВт	P_{poi} , кВт	R_i , мм	α_i , град	X_i , м	Y_i , м	$(P_{pi} + P_{poi}) \cdot X_i$, кВт·м	$(P_{pi} + P_{poi}) \cdot Y_i$, кВт·м
1	Инструментальное производство	854,19	134,19	15,25	56,55	247	77	210985	65773
2	Гальвано-штамповочное производство	524,57	108,57	11,95	74,51	192	77	100717	40392
3	Производство пластиковых изделий	649,66	177,66	13,30	98,45	144	77	93551	50024
4	Механическое производство	990,43	190,43	16,42	69,22	222	210	219875	207990
5	Сборочное производство	169,78	10,4	13,72	14,43	68	135	47026	93361
6	Котельная	137,32	13,82	6,11	36,24	14	99	1923	13595
7	Механический участок	560,68	32,68	12,35	20,98	71	77	39808	43172
8	Склад готовой продукции	810,36	66,36	14,85	29,48	27	31	21880	25121
9	Ремонтно-эксплуатационные службы	213,04	53,04	7,62	89,63	71	41	15126	8735
10	Административно-бытовой корпус	281,84	161,84	8,76	206,72	308	218	86807	61441
11	Гараж	101,35	47,40	5,25	168,37	306	108	31013	10946
12	Материальный склад	112,70	67,20	5,54	214,66	314	45	35388	5072
13	Насосная	85,40	59,40	4,82	250,40	356	108	30402	9223
13б	Насосная	600	0,00	12,78	0,00	356	108	213600	64800
Итого		6613,10	1140,31			173,6	105,8	1148101	699644

Координаты условного центра электрических нагрузок (УЦЭН) электроаппаратного завода:

$$X_{ЦА} = \frac{1148101}{6613,1} = 173,6 \text{ м.}$$

$$Y_{ЦА} = \frac{699644}{6613,1} = 105,8 \text{ м.}$$

В рассчитанных координатах УЦЭН невозможно разместить ГПП, поэтому ГПП было сдвинуто в сторону свободного пространства.

Картограмма электрических нагрузок электроаппаратного завода приведена на графическом листе 1 работы.

Выводы по разделу.

В результате выбора схемы электроснабжения электроаппаратного завода, установлено, что для питания внешней системы электроснабжения проектируемого электроаппаратного завода, целесообразно использовать главную понизительную подстанцию с двумя силовыми трансформаторами и классами напряжения 110 кВ (номинальное высшее напряжение) и 10 кВ (номинальное низшее напряжение).

Исходя из результатов проведённого сравнительного анализа, проведено аргументированное обоснование и выбраны рациональные схемы электрических соединений системы электроснабжения электроаппаратного завода:

- для применения в РУ-110 кВ питающей ГПП;
- для применения в РУ-10 кВ питающей ГПП;
- для применения в распределительной сети 10 кВ;
- для применения на цеховых ТП-10/0,4 кВ.

Проведён расчёт силовых, осветительных и суммарных расчётных электрических нагрузок проектируемого электроаппаратного завода с использованием рекомендуемого метода коэффициента спроса.

Определены координаты условного центра электрических нагрузок объектов и всего электроаппаратного завода.

Осуществлён расчёт картограммы электрических нагрузок объекта проектирования.

3 Выбор и проверка основного оборудования системы электроснабжения электроаппаратного завода

Выбор и проверка мощности силовых трансформаторов ГПП системы электроснабжения электроаппаратного завода

Выбор мощности силовых трансформаторов ГПП (главной подстанции) системы электроснабжения электроаппаратного завода зависит от общей мощности электрических нагрузок на заводе и пиковых нагрузок, которые могут возникнуть в процессе работы.

Мощность силовых трансформаторов должна быть достаточной для обеспечения надежной и эффективной работы системы электроснабжения.

Проверка мощности силовых трансформаторов осуществляется путем измерения нагрузки на трансформаторе и сравнения ее с номинальной мощностью трансформатора.

Для этого необходимо выполнить следующие шаги:

- рассчитать и выбрать средства компенсации реактивной нагрузки в сети внешней системы электроснабжения, которые будут установлены на стороне ВН ГПП;
- рассчитать (либо измерить) нагрузку на силовых трансформаторах (на входе и выходе трансформатора) с учётом компенсации реактивной нагрузки;
- определить номинальную мощность силовых трансформаторов на основе расчета мощности электрических нагрузок на заводе. Для этого необходимо выполнить расчет мощности всех электрических нагрузок на заводе и выбрать силовые трансформаторы с мощностью, достаточной для обеспечения надежной и эффективной работы системы электроснабжения;
- сравнить измеренную нагрузку с номинальной мощностью силовых трансформаторов. Если нагрузка на трансформаторах превышает их

номинальную мощность, то необходимо рассмотреть возможность замены трансформаторов на более мощные;

- оценить эффективность работы силовых трансформаторов. Для этого необходимо проверить выбранные трансформаторы на эффективность работы в режиме нормальной нагрузки, а также в режиме перегрузки. Если данные условия проверок не выполняются, необходимо выбрать более мощный трансформатор.

«Таким образом, выбор и проверка мощности силовых трансформаторов ГПП системы электроснабжения электроаппаратного завода являются важным этапом проектирования» [3] и обеспечивают надежную и эффективную работу системы электроснабжения.

«Как было указано ранее, на главной понизительной подстанции ГПП-110/10 кВ системе электроснабжения» [6] электроаппаратного завода, в связи с наличием значительной группы потребителей, относящихся к 1 и 2 категории надёжности, рекомендовано установить два силовых трансформатора.

Учитывая полученные значения показателей и технических данных, полученных в результате расчёта нагрузки потребителей системе электроснабжения электроаппаратного завода, проводится расчётная проверка мощности новых трансформаторов на ГПП электроаппаратного завода.

«Рассчитываются коэффициенты» [5]:

$$tg\varphi_o = \frac{Q_o}{P_m}; tg\varphi_m = \frac{Q_m}{P_m}, \quad (17)$$

где « $tg\varphi_o$ – оптимальный коэффициент реактивной мощности» [5];

« P_m – заявленная предприятием активная мощность, участвующая в максимуме энергосистемы и зафиксированная в договоре на пользование электроэнергией» [5];

« Q_o – оптимальная реактивная нагрузка электроаппаратного завода,

зафиксированная в договоре на пользование электроэнергией» [5];
« Q_m – фактическая реактивная нагрузка электроаппаратного завода» [5].

«Принимается $tg\varphi_o = 0,4$ » [14]:

$$tg\varphi_m = \frac{3306,18}{6613,1} \approx 0,5$$

«Мощность компенсирующих устройств Q_{KV} для установки на шинах 10 кВ ГПП электроаппаратного завода» [19]:

$$Q_{KV} = P_m(tg\varphi_m - tg\varphi_o). \quad (18)$$

$$Q_{KV} = 6613,1 \cdot (0,4 - 0,5) \approx 661 \text{ квар.}$$

«Принимается для установки на ГПП электроаппаратного завода «две конденсаторные установки марки УКРМ-6,3 (10,5)-300 с суммарной реактивной мощностью $2 \cdot 300 = 600$ квар» [14].

«Тогда расчетная реактивная нагрузка с учётом компенсации реактивной мощности» [5]:

$$Q_{p\Sigma} = Q_p - Q_{KV}, \text{ квар.} \quad (19)$$

$$Q_{p\Sigma} = 3306,18 - 600 = 2706,18 \text{ квар.}$$

«Тогда полная расчётная нагрузка с учётом компенсации реактивной мощности» [5]:

$$S_p = \sqrt{P_{p\Sigma}^2 + Q_{p\Sigma}^2}, \text{ кВА.} \quad (20)$$

$$S_{p.} = \sqrt{6613,1^2 + 2706,18^2} = 7145,4 \text{ кВА.}$$

«С учётом выбранных устройств компенсации реактивной мощности на шинах» [10] ГПП, а также систематических нагрузок и вероятности послеаварийных перегрузок в системе электроснабжения электроаппаратного завода, расчётная мощность трансформатора на питающей заводской ГПП-110/10 кВ определяется из соотношения [10]:

$$S_{ном.} \geq \frac{S_p}{N \cdot k_{загр}}, \quad (21)$$

«где $k_{загр}$ – рекомендуемый коэффициент загрузки трансформаторов на подстанции» [7];

« n – количество трансформаторов, шт.» [11].

«Исходя из условия (21)»:

$$S_{ном} \geq \frac{7145,4}{2 \cdot 0,7} = 5103,8 \text{ кВА.}$$

«Выбираются два силовых трансформатора ТМН-6300/110» [14].

«Известно, что силовой трансформатор на подстанции в нормальном режиме» [15] должен работать с коэффициентом загрузки, не превышающим значение 0,65.

Это условие выражается так [15]:

$$K_3 = \frac{S_p}{n \cdot S_{ном}} \leq 0,65. \quad (22)$$

Таким образом, коэффициент загрузки трансформатора подстанции ГПП в системе электроснабжения электроаппаратного завода в «нормальном режиме не превышает предельно установленные значения» [7]:

$$K_3 = \frac{7145,4}{2 \cdot 6300} = 0,58 \leq 0,65.$$

В послеаварийном режиме коэффициент загрузки трансформатора не должен быть выше значения 1,35, с учётом нагрузки всей ГПП, которая будет приходиться на один трансформатор, оставшийся в работе [11]:

$$1,35 \cdot S_{ном} \geq S_P. \quad (23)$$

Коэффициент загрузки трансформатора ГПП-110/10 кВ в системе электроснабжения электроаппаратного завода в послеаварийном режиме также удовлетворяет условию (23):

$$1,35 \cdot 6300 = 8505 \text{ кВА} \geq 7145,4 \text{ кВА}.$$

Таким образом, в работе расчётным путём установлено, что для питания проектируемой внешней системы электроснабжения электроаппаратного завода, на «ГПП-110/10 кВ объекта проектирования целесообразно установить два силовых трансформатора номинальной мощностью 6300 кВА каждый (марки ТМН-6300/110)» [7].

Выбранные силовые трансформаторы проходят проверки в нормальном и послеаварийном режимах работы.

Выбор месторасположения, числа и мощности силовых трансформаторов ТП-10/0,4 кВ с учётом компенсации реактивной мощности

Выбор места расположения, числа и мощности силовых трансформаторов цеховых ТП-10/0,4 кВ с использованием реактивной мощности зависит от таких составляющих, как количество и мощность электроприемников, расстояние до источника питания, категория надёжности цеха и прочих аналогичных факторов.

Обычно на цеховых ТП-10/0,4 кВ применяются трансформаторы мощностью от нескольких сотен до нескольких тысяч киловольт-ампер (кВА).

«Допускается пользоваться принятыми критериями» [12]:

$$S_{н.т} = \begin{cases} 1000, 1600 \text{ кВА}, & \sigma \leq 0,2 \text{ кВА} / \text{м}^2 \\ 1600 \text{ кВА}, & 0,2 < \sigma \leq 0,5 \text{ кВА} / \text{м}^2 \\ 2500 \text{ кВА}, & \sigma > 0,5 \text{ кВА} / \text{м}^2 \end{cases} \quad (24)$$

«где $S_{н.т}$ – номинальная мощность трансформатора, кВА» [7];

σ – плотность нагрузки, кВА/м².

Определяется плотность нагрузки 0,38/0,22 кВ на каждом из объектов:

$$\delta = \frac{S_p}{F}. \quad (25)$$

где S_p – расчётное значение полной нагрузки, кВА;

F - площадь объекта, м².

«Результаты расчетов плотности нагрузки объектов электроаппаратного завода приведены в таблице 8» [7].

Таблица 8 – Результаты расчетов плотности нагрузки объектов электроаппаратного завода

Номер объекта	Наименование объекта	Pp, кВт	Qp, кВар	Sp, кВА	F, м ²	σ, кВА/м ²
1	Инструментальное производство	854,19	348,71	922,627	15975	0,06
2	Гальвано-штамповочное производство	524,57	201,48	561,932	12925	0,04
3	Производство пластиковых изделий	649,66	228,60	688,706	21150	0,03
4	Механическое производство	990,43	387,46	1063,518	22670	0,05
5	Сборочное производство	169,78	163,3	235,6	1440	0,16
6	Котельная	137,32	126,00	186,367	1920	0,10
7	Механический участок	560,68	255,72	616,240	3890	0,16
8	Склад готовой продукции	810,36	360,34	886,863	5530	0,16
9	Ремонтно-эксплуатационные службы	213,04	77,49	226,694	6314	0,04
10	Административно-бытовой корпус	281,84	58,12	287,770	11560	0,02
11	Гараж	101,35	47,58	111,963	7900	0,01
12	Материальный склад	112,70	40,13	119,631	11200	0,01
13	Насосная	85,40	22,93	88,425	8250	0,01
Итого по заводу		6013,1	2934,18	6802,89	133134	0,96

«Тогда минимальное количество трансформаторов» [13]:

$$N_{\min} = \frac{P_{p.\Sigma}}{k_z \cdot S_{н.т}} + \Delta N, \text{ шт}, \quad (26)$$

где « $P_{p.\Sigma}$ – суммарное значение нагрузки объектов электроаппаратного завода на шинах напряжением 0,4 кВ ТП-10/0,4 кВ» [13];

« ΔN – приращение аргумента до целого числа» [13];

« k_z – значение коэффициента загрузки силовых трансформаторов ТП-10/0,4 кВ» [13].

По (26) минимальное количество трансформаторов 10/0,4 кВ на электроаппаратном заводе:

$$N_{\min} = \frac{6013,1}{0,8 \cdot 1600} + 0,31 = 5 \text{ шт.}$$

Получившиеся минимальное значение силовых трансформаторов необходимо распределить по ТП. С учётом большинства объектов электроаппаратного завода, относящихся к I и II категориям надёжности, с экономической точки зрения целесообразно принять в работе двухтрансформаторные ТП-10/0,4 кВ, поэтому в работе принимается три двухтрансформаторные ТП-10/0,4 кВ. При этом общее фактическое число силовых трансформаторов 10/0,4 кВ в системе электроснабжения электроаппаратного завода равно $2 \cdot 3 = 6$ шт.

ТП-10/0,4 кВ размещаются на объектах с наибольшей нагрузкой (основных производственных объектах). Принятый в работе вариант размещения ТП-10/0,4 кВ и распределение нагрузки между ТП-10/0,4 кВ электроаппаратного завода, представлен в таблице 9.

Таблица 9 – Распределение нагрузки между объектовыми ТП-10/0,4 кВ электроаппаратного завода

Номер объекта	Наименование объекта	Pp+Ppo, кВт	Qp, кВар	Sp, кВА	F, м ²	σ, кВА/м ²
ТП-1						
1	Инструментальное производство	854,19	348,71	922,63	15975	0,06
2	Гальвано-штамповочное производство	524,57	201,48	561,93	12925	0,04
3	Производство пластиковых изделий	649,66	228,60	688,71	21150	0,03
Всего по ТП1		2028,42	778,79	2173,26	50050	0,04
ТП2						
4	Механическое производство	990,43	387,46	1063,52	22670	0,05
10	Административно-бытовой корпус	281,84	58,12	287,77	11560	0,02
11	Гараж	101,35	47,58	111,96	7900	0,01
12	Материальный склад	112,70	40,13	119,63	11200	0,01
13	Насосная	85,40	22,93	88,42	8250	0,01
Всего по ТП2		1571,72	556,21	1671,31	61580	0,11
ТП3						
5	Сборочное производство	169,78	163,3	235,6	1440	0,16
6	Котельная	137,32	126,00	186,37	1920	0,10
7	Механический участок	560,68	255,72	616,24	3890	0,16
8	Склад готовой продукции	810,36	360,34	886,86	5530	0,16
9	Ремонтно-эксплуатационные службы	213,04	77,49	226,69	6314	0,04
Всего по ТП3		1891,18	982,85	2131,33	19094	0,11

«Для двухтрансформаторных ТП-10/0,4 кВ, которые питают потребители I и II категорий надёжности, мощность силового трансформатора определяется из соотношения» [2]:

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{\Sigma P_p}{N \beta_T}, \quad (27)$$

где « $S_{\text{ном.т}}$ – номинальная (паспортная) мощность силового трансформатора, установленного на ТП-10/0,4 кВ, кВА» [2];

« $S_{\text{ном.т.р}}$ – расчетная мощность силового трансформатора, установленного на ТП-10/0,4 кВ, кВА» [2];

« ΣP_p – суммарная активная нагрузка объектов, которые питают питание от ТП-10/0,4 кВ, кВт» [2];

« N – число трансформаторов на ТП-10/0,4 кВ, шт.» [2];

« β_T – коэффициент загрузки трансформатора ТП-10/0,4 кВ» [1].

Объекты, относящиеся к III категории надёжности, питаются одной кабельной линией от ТП-10/0,4 кВ.

На примере ТП-1, питающей следующие объекты электроаппаратного завода (таблица 17):

- инструментальное производство;
- гальвано-штамповочное производство;
- производство пластиковых изделий.

Мощность трансформатора ТП-1:

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{2028,42}{2 \cdot 0,7} = 1448,87 \text{ кВА.}$$

Согласно требованиям [23], а также материалам, приведённым в таблице 2 [14], для двухтрансформаторных ТП-10/0,4 кВ с преобладающей нагрузкой I категории принимается значение $K_3=0,7$.

«Выбирается для установки на ТП-1 два силовых трансформатора марки ТМ-1600/10У1» [13].

«Результаты выбора трансформаторов на остальных ТП-10/0,4 кВ представлены в таблице 10» [13].

Таблица 10 – Результаты выбора силовых трансформаторов на установки на ТП-10/0,4 кВ

Наименование ТП	Тип трансформаторов	$S_{тр}$, кВА	N, шт	K_3
ТП 1	ТМ-1600/10У1	1600	2	0,63
ТП 2	ТМ-1600/10У1	1600	2	0,52
ТП 3	ТМ-1600/10У1	1600	2	0,68

«Проводится расчёт и выбор компенсирующих устройств для установки на ТП-10/0,4 кВ» [3]:

$$Q_T = \sqrt{(N\beta_T S_{ном.Т})^2 - P_{р.ТП}^2}, \quad (28)$$

где « N – количество трансформаторов на ТП-10/0,4 кВ, шт.» [3];

« β_m – коэффициент загрузки трансформаторов ТП-10/0,4 кВ» [3];

« $S_{ном.т}$ – мощность трансформаторов ТП-10/0,4 кВ, кВА» [3];

« $P_{р.ТП}$ – расчетная активная нагрузка ТП-10/0,4 кВ, кВт» [3].

«Мощность конденсаторных установок (КУ) на ТП-10/0,4 кВ» [3]:

$$Q_{н.к} = Q_{р.т} - Q_T, \quad (29)$$

где « $Q_{р.т}$ – расчетная реактивная нагрузка шин ТП-10/0,4 кВ, квар» [3].

«Мощность регулируемой части КУ» [3]:

$$Q_{н.к.р} = Q_{р.т} - Q_{н.к} - P_{р.ТП} \cdot tg\varphi_n, \quad (30)$$

«где $tg\varphi_n$ – коэффициент реактивной мощности» [3].

«Суммарная расчетная мощность компенсирующих устройств» [3]:

$$Q_{КУ} = Q_{н.к.} + Q_{н.к.р.} \quad (31)$$

«С учётом установки КУ на ТП-10/0,4 кВ» [3]:

$$Sp = \sqrt{P_p^2 + (Q_p^2 - Q_{КУ})}. \quad (32)$$

«Фактический коэффициент загрузки трансформаторов ТП-10/0,4 кВ с учётом установки КУ в нормальном режиме работы» [3]:

$$K_3 = \frac{S_p}{N_m \cdot S_{ном.т}}. \quad (33)$$

«В качестве примера производится расчет для ТП-1 (10/0,4 кВ)» [3]:

$$Q_T = \sqrt{(2 \cdot 0,8 \cdot 1600)^2 - 2028,42^2} = 1561,77 \text{ квар.}$$

$$Q_{н.к.} = 778,79 - 1561,77 = -782,98 \text{ квар.}$$

«Для ТП-1 (10/0,4 кВ) расчётная мощность КУ имеет отрицательное значение, следовательно, КУ на ТП-1 не устанавливаются» [3].

«При этом расчётная нагрузка и коэффициент загрузки силовых трансформаторов на ТП-1 в виду отсутствия КУ не изменяются и принимаются равной ранее полученным значениям ($S_p = 2172,79$ кВА, $K_3 = 0,63$)» [3].

«Результаты выбора компенсирующих устройств на ТП-10/0,4 кВ приведены в таблице 11» [4].

Таблица 11 – «Выбор компенсирующих устройств на ТП-10/0,4 кВ» [3]

Номер ТП	Марка силового трансформатора	Расчетные нагрузки		Компенсирующие устройства, квар				Sp, кВА
		Pp, кВт	Qp, квар	Qt, квар	Qнк, квар	Qку, квар	Тип КУ	
ТП-1	ТМ-1600/10У1	2028,42	778,79	1561,77	-782,98	-	-	2172,79
ТП-2	ТМ-1600/10У1	1571,72	556,21	2020,72	-1464,51	-	-	1667,23
ТП-3	ТМ1600/10У1	1891,18	982,85	1890,24	-907,39	-	-	2131,33
Итого		6013,10	2934,18	-	-	-	-	5971,35

«Установлено, что на всех цеховых ТП-10/0,4 кВ проектируемой системы электроснабжения электроаппаратного завода, установка компенсирующих устройств напряжением 0,38/0,22 кВ не требуется» [13].

Расчёт токов коротких замыканий в системе электроснабжения электроаппаратного завода

Расчёт токов коротких замыканий в системе электроснабжения электроаппаратного завода выполняется для определения токов, которые будут протекать в системе в случае короткого замыкания на различных участках.

Для расчета токов коротких замыканий необходимо знать следующие данные» [8]:

- номинальное напряжение системы электроснабжения;
- параметры трансформаторов и других элементов системы;
- схему соединения всех элементов системы;
- возможные места короткого замыкания.

Полученные значения токов короткого замыкания используются для выбора защитных устройств и элементов системы, которые должны выдерживать эти токи без повреждений. Также результаты расчета токов короткого замыкания используются для определения времени срабатывания устройств защиты и автоматики.

Проводится расчёт токов короткого замыкания в сети 110 кВ и 10 кВ согласно методике и справочным материалам, приведённым в [7], а также [17].

Исходная структурная схема электроснабжения представлена на рисунке 7.

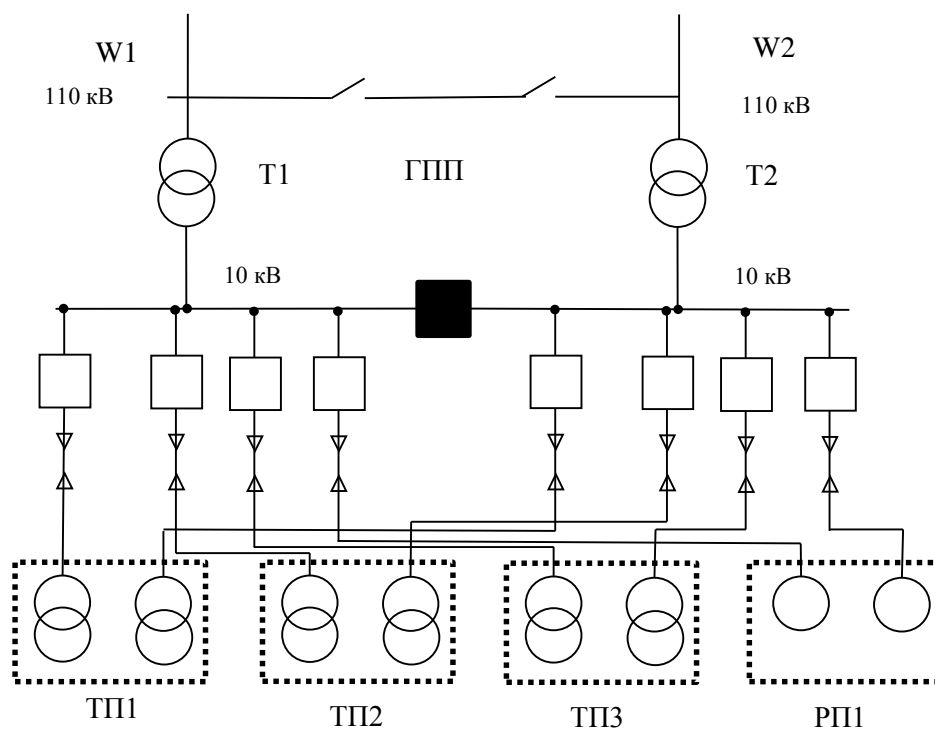


Рисунок 7 – Исходная структурная схема электроснабжения

«С учётом данного аспекта, составляется расчётная схема для расчёта токов короткого замыкания (КЗ) в системе электроснабжения электроаппаратного завода (рисунок 8, а)» [17].

«Выбираются расчётные точки короткого замыкания К1 на стороне высшего напряжения подстанции (сеть 110 кВ) и точки К2 и К3 на стороне низшего напряжения (сеть 10 кВ)» [17].

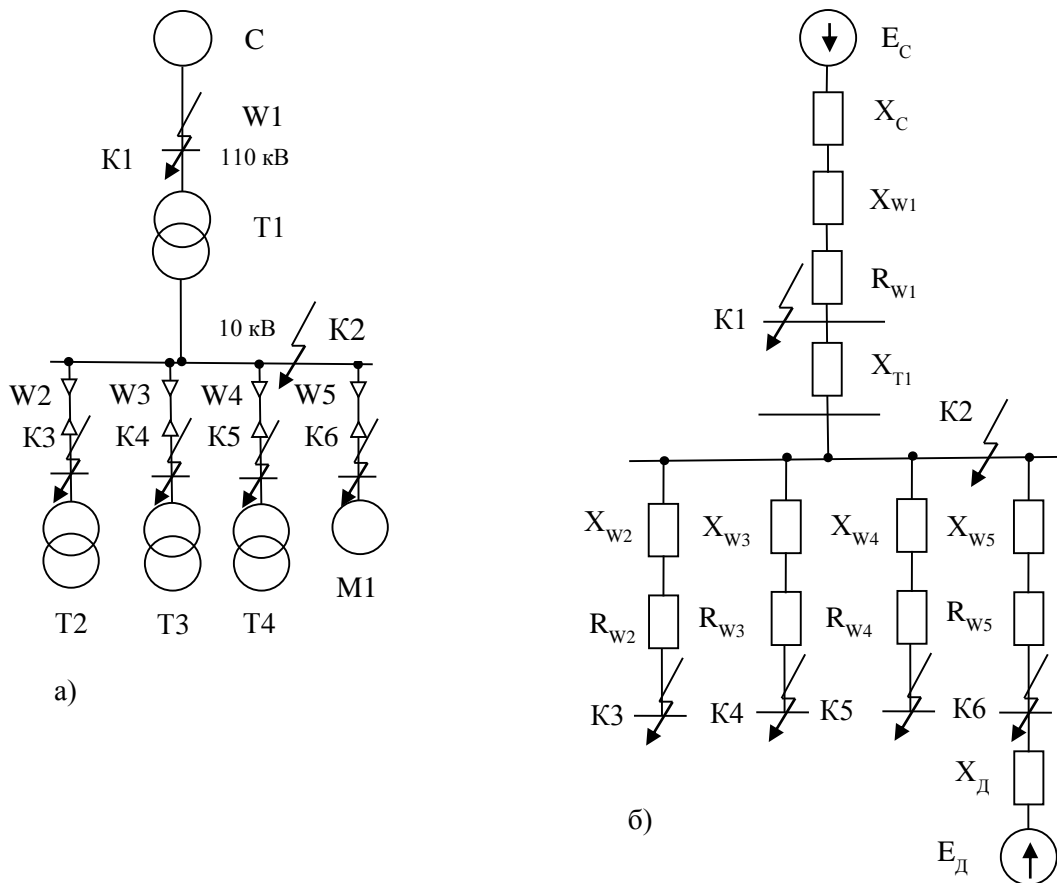


Рисунок 8 – «Однолинейная расчетная схема (а) и схема замещения участка сети (б)» [17]

«На схеме рисунка 8: С – система; Т1 – силовой трансформатор ГПП; Т2, Т3, Т4 – силовые трансформаторы ТП-10/0,4 кВ; М1 – высоковольтный АД 10 кВ насосной» [11].

Базисные условия:

$$S_{Б.} = 100 \text{ МВА}, U_{Б.ВН} = 115 \text{ кВ}, U_{Б.НН} = 10,5 \text{ кВ}.$$

«Базисный ток для стороны высшего и низшего напряжения» [17]:

$$I_{Б} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{Б}}. \quad (34)$$

$$I_{Б.ВН} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 115} = 0,51 \text{ кА}.$$

$$I_{Б.НН} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 5,5 \text{ кА.}$$

«Индуктивное сопротивление воздушной линии W1» [17]:

$$X_{W1} = \frac{1}{n} \cdot X_{уд.W1} \cdot L_{W1} \cdot \frac{S_{\delta}}{U_B^2}. \quad (35)$$

«где X_{W1} - удельное сопротивление воздушной линии, Ом/км» [17];

« L -длина линии, 6 км» [17].

$$X_{W1} = \frac{1}{2} \cdot 0,4 \cdot 6 \cdot \frac{100}{115^2} = 0,02 \text{ о.е.}$$

«Активное сопротивление воздушной линии W1» [17]:

$$R_{W1} = \frac{1}{n} \cdot R_{уд.W1} \cdot L_{W1} \cdot \frac{S_{\delta}}{U_B^2}. \quad (36)$$

«где $R_{уд.W1}$ – удельное активное сопротивление воздушной линии» [1].

$$R_{W1} = \frac{1}{2} \cdot 0,46 \cdot 6 \cdot \frac{100}{115^2} = 0,02 \text{ о.е.}$$

«Находится индуктивное сопротивление трансформатора Т1 ГПП электроаппаратного завода» [14]:

$$X_{T1} = \frac{1}{n} \cdot \frac{U_{К.З.}}{100} \cdot \frac{S_{\delta}}{S_{H.T}}. \quad (37)$$

$$X_{T1} = \frac{1}{2} \cdot \frac{7,5}{100} \cdot \frac{100}{6,3} = 0,59 \text{ о.е.}$$

«Индуктивное сопротивление кабельных линий W2-W5 с учётом их длины по (35)» [13]:

$$X_{W2} = 0,09 \cdot 0,3 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,02 \text{ o.e.}$$

$$X_{W3} = 0,09 \cdot 0,2 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,016 \text{ o.e.}$$

$$X_{W4} = 0,09 \cdot 0,5 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,04 \text{ o.e.}$$

$$X_{W5} = 0,09 \cdot 0,15 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,01 \text{ o.e.}$$

«Активное сопротивление кабельных линий W2-W5 с учётом их длины по (36)» [13]:

$$R_{W2} = 0,62 \cdot 0,3 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,17 \text{ o.e.}$$

$$R_{W3} = 0,62 \cdot 0,2 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,11 \text{ o.e.}$$

$$R_{W4} = 0,62 \cdot 0,5 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,28 \text{ o.e.}$$

$$R_{W5} = 0,62 \cdot 0,15 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,08 \text{ o.e.}$$

Для высоковольтных АД [13]:

$$x_d'' = 0,2;$$

$$E_d = E'' = 0,9.$$

«Исходные данные для расчёта сопротивления двигателя» [20]:

$$P_H = 400 \text{ кВт}; \cos \varphi = 0,92; \eta = 85,0 \%$$

«Полная номинальная мощность АД» [15]:

$$S_H = \frac{P_H}{\cos \varphi \cdot \eta}, \text{ кВА.} \quad (38)$$

$$S_H = \frac{400}{0,92 \cdot 0,85} = 511,5 \text{ кВА.}$$

«Сопротивление двигателя» [10]:

$$x_D = x_D'' \cdot \frac{S_B}{n \cdot S_H}, \text{ о.е.} \quad (39)$$

$$x_D = 0,2 \cdot \frac{100}{1 \cdot 511,5} = 0,196 \text{ о.е.}$$

«Полное сопротивление цепи короткого замыкания до точки К1» [17]:

$$Z_{\Sigma k1} = \sqrt{(X_c + X_{w1})^2 + R_{w1}^2}. \quad (40)$$

$$Z_{\Sigma k1} = \sqrt{(0,05 + 0,02)^2 + 0,02^2} = 0,073 \text{ о.е.}$$

«Расчёт токов КЗ при трёхфазном коротком замыкании в расчётной точке К1 проводится по выражению» [17]:

$$I_{\kappa 1}^{(3)} = \frac{E_c}{Z_{\Sigma k}} \cdot I_{\sigma}. \quad (41)$$

«Рассчитывается значение трёхфазного тока КЗ в расчётной точке К1» [17]. «Асинхронные двигатели являются местными источниками питания и учитываются при непосредственной связи с точкой КЗ» [18].

«Так как точка КЗ К1 отделена одной ступенью трансформации от двигателей, то их подпитка в схеме замещения для точки К1 не учитывается» [12].

Значит по (41):

$$I_{\kappa 1}^{(3)} = \frac{1}{0,073} \cdot 0,51 = 6,98 \text{ кА.}$$

«Определяется полное сопротивление и ток КЗ в расчётной точке К2 без учёта подпитки от АД» [13]:

$$Z_{\Sigma k 2} = \sqrt{(X_c + X_{w1} + X_{T1})^2 + R_{w1}^2}. \quad (42)$$

$$Z_{\Sigma k 2} = \sqrt{(0,05 + 0,02 + 0,59)^2 + 0,02^2} = 0,66 \text{ о.е.}$$

$$I_{\kappa 2 \text{ БП}}^{(3)} = \frac{1}{0,66} \cdot 5,5 = 8,33 \text{ кА.}$$

«Периодическая составляющая трехфазного тока подпитки при КЗ от АД в точке К2» [6]:

$$I_{\text{Д}}^{(3)} = \frac{E''}{Z'_{\Sigma k 2}} \cdot I_{\sigma}. \quad (43)$$

$$Z'_{\Sigma k 2} = \frac{1}{\sqrt{(X_{w5} + X_{\text{Д}})^2 + R_{w5}^2}}. \quad (44)$$

$$Z'_{\Sigma k 2} = \frac{1}{\sqrt{(0,01 + 0,196)^2 + 0,08^2}} = 4,76 \text{ о.е.}$$

$$I_{\text{Д}}^{(3)} = \frac{0,9}{4,76} \cdot 5,5 = 1,04 \text{ кА.}$$

«Результирующий ток трёхфазного КЗ в точке К2» [9]:

$$I_{\kappa 2}^{(3)} = I_{\kappa 2 \text{БП}}^{(3)} + I_{\text{Д}}^{(3)}, \text{ кА.}$$

$$I_{\kappa 2}^{(3)} = 8,33 + 1,04 = 9,37 \text{ кА.}$$

«Определяется полное сопротивление и ток КЗ в точках К3 – К5. Так как в работе принята радиальная схема для всех отходящих линий 10 кВ, следовательно, подпитка от АД в точках К3 – К5 не учитывается» [18]:

$$Z_{\Sigma k3} = \sqrt{(X_c + X_{w1} + X_T + X_{w2})^2 + (R_{w1} + R_{w2})^2}. \quad (45)$$

$$Z_{\Sigma k3} = \sqrt{(0,05 + 0,02 + 0,59 + 0,02)^2 + (0,02 + 0,17)^2} = 0,71 \text{ о.е.}$$

$$I_{\kappa 3}^{(3)} = \frac{1}{0,71} \cdot 5,5 = 7,75 \text{ кА.}$$

$$Z_{\Sigma k4} = \sqrt{(X_c + X_{w1} + X_T + X_{w3})^2 + (R_{w1} + R_{w3})^2}. \quad (46)$$

$$Z_{\Sigma k4} = \sqrt{(0,05 + 0,02 + 0,59 + 0,016)^2 + (0,02 + 0,11)^2} = 0,69 \text{ о.е.}$$

$$I_{\kappa 4}^{(3)} = \frac{1}{0,69} \cdot 5,5 = 7,97 \text{ кА.}$$

$$Z_{\Sigma k5} = \sqrt{(X_c + X_{w1} + X_T + X_{w4})^2 + (R_{w1} + R_{w4})^2}. \quad (47)$$

$$Z_{\Sigma k5} = \sqrt{(0,05 + 0,02 + 0,59 + 0,04)^2 + (0,02 + 0,28)^2} = 0,76 \text{ о.е.}$$

$$I_{\kappa 5}^{(3)} = \frac{1}{0,76} \cdot 5,5 = 7,24 \text{ кА.}$$

«Для точки К6 (на выводах АД)» [13]:

$$Z_{\Sigma k6} = \sqrt{(X_c + X_{w1} + X_T + X_{w5} + X_{\text{Д}})^2 + (R_{w1} + R_{w5})^2}. \quad (48)$$

$$Z_{\Sigma k6} = \sqrt{(0,05 + 0,02 + 0,59 + 0,01 + 0,196)^2 + (0,02 + 0,08)^2} = 0,87 \text{ о.е.}$$

$$I_{\kappa 6 \text{БП}}^{(3)} = \frac{1}{0,87} \cdot 5,5 = 6,32 \text{ кА.}$$

$$I_{Д}^{(3)} = \frac{0,9}{4,76} \cdot 5,5 = 1,04 \text{ кА.}$$

«Результирующий ток трёхфазного КЗ в точке К6» [11]:

$$I_{к6}^{(3)} = I_{к6БП}^{(3)} + I_{Д}^{(3)}, \text{ кА.}$$

$$I_{к6}^{(3)} = 6,32 + 1,04 = 7,36 \text{ кА.}$$

«Значение ударного тока трёхфазного КЗ» [17]:

$$I_{y\partial} = \sqrt{2} \cdot K_{y\partial} \cdot I_{к}^{(3)}, \quad (49)$$

где « $K_{y\partial}$ – значение ударного коэффициента (справочные данные)» [7].

«Определяется значение ударного тока в расчётной точке К1» [17]:

$$I_{y\partial.к1} = \sqrt{2} \cdot 1,6 \cdot 6,98 = 15,71 \text{ кА.}$$

«Определяется значение ударного тока в расчётной точке К2» [17]:

$$I_{y\partial.к2} = \sqrt{2} \cdot 1,4 \cdot 9,37 = 18,55 \text{ кА.}$$

«Значение ударного тока трёхфазного КЗ в точках схемы К3-К6» [17]:

$$I_{y\partial.к3} = \sqrt{2} \cdot 1,37 \cdot 7,75 = 15,02 \text{ кА.}$$

$$I_{y\partial.к4} = \sqrt{2} \cdot 1,37 \cdot 7,97 = 15,44 \text{ кА.}$$

$$I_{y\partial.к5} = \sqrt{2} \cdot 1,37 \cdot 7,24 = 14,03 \text{ кА.}$$

$$I_{y\partial.к6} = \sqrt{2} \cdot 1,37 \cdot 7,36 = 14,26 \text{ кА.}$$

«Расчет токов двухфазного короткого замыкания» [10]:

$$I_{\kappa}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{\kappa}^{(3)}. \quad (50)$$

«Значение тока двухфазного КЗ в расчётных точках К1-К6» [10]:

$$I_{\kappa 1}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 6,98 = 6,04 \text{ кА.}$$

$$I_{\kappa 2}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 9,37 = 8,11 \text{ кА.}$$

$$I_{\kappa 3}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 7,75 = 6,71 \text{ кА.}$$

$$I_{\kappa 4}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 7,97 = 6,90 \text{ кА.}$$

$$I_{\kappa 5}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 7,24 = 6,27 \text{ кА.}$$

$$I_{\kappa 6}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 7,36 = 6,37 \text{ кА.}$$

«Полученные результаты расчётов токов КЗ в расчётных точках системы электроснабжения электроаппаратного завода приведены в таблице 12» [17].

Таблица 12 – «Результаты расчётов токов КЗ и ударных токов» [17]

Расчётная точка	U _б , кВ	I _б , кА	K _{уд}	I ⁽³⁾ , кА	I ⁽²⁾ , кА	I _{уд} , кА
К1	115	0,51	1,6	6,98	6,04	15,71
К2	10,5	5,5	1,4	9,37	8,11	18,55
К3	10,5	5,5	1,37	7,75	6,71	15,02
К4	10,5	5,5	1,37	7,97	6,90	15,44
К5	10,5	5,5	1,37	7,24	6,27	14,03
К6	10,5	5,5	1,37	7,36	6,37	14,26

Произведен расчет токов короткого замыкания.

Выбор и проверка проводников системы электроснабжения электроаппаратного завода

Все проводники в системе внешнего электроснабжения электроаппаратного завода – класса напряжения выше 1 кВ. Поэтому методика выбора для них будет применена также одинаковая.

Известно, что «выбор сечений проводников напряжением выше 1 кВ (питающей воздушной линии напряжением 110 кВ и распределительных кабельных линий 10 кВ)» [5] системы электроснабжения, осуществляется по известному условию экономической плотности тока [11]:

$$S_3 = \frac{I_p}{j_3}, \quad (51)$$

где j_3 – «экономическая плотность тока, А/мм²» [10].

«При этом расчетное значение рабочего тока нормального режима» [19]:

$$I_n = \frac{P_p}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ} \cdot \cos \varphi} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ}}, \quad (52)$$

«где S_p – расчётная полная нагрузка линии, кВА» [20].

«Расчетное значение рабочего тока послеаварийного режима» [19]:

$$I_a = 1,4 \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ}} = 1,4 \cdot I_n. \quad (53)$$

После выбора проводников воздушных и кабельных линий системы электроснабжения электроаппаратного завода, необходимо провести их проверку на работоспособность в нормальном и послеаварийном режимах работы.

«Проверка проводников воздушных и кабельных линий системы электроснабжения в нормальном режиме работы» [11]:

$$I_{\text{доп}} \geq I_p, \quad (54)$$

где $I_{\text{доп}}$ – «предельно – допустимое справочное значение тока выбранного проводника линии, А» [10].

Проверка проводников воздушных и кабельных линий системы электроснабжения электроаппаратного завода в послеаварийном режиме работы [11]:

$$I_{\text{доп}} \geq I_{p.\text{max}}, \quad (55)$$

где $I_{p.\text{max}}$ – максимальный ток послеаварийного режима работы линии с учётом условий резервирования в схеме, А.

Кроме того, «по механической прочности проводники воздушных линий должны быть не меньшего сечения чем стандартное минимально-допустимое сечение для условий местности по гололёду и ветру, с учётом типа опор и количества цепей линии, а также» [5] коронирующего разряда (для ВЛ-110 кВ и выше).

Выполнение данного условия проверяется по следующему соотношению:

$$S_{\text{ст}} \geq S_{\text{мин}}, \text{ мм}^2. \quad (56)$$

На основе приведённых расчётных формул согласно принятой методики выбора и проверки проводов воздушных линий электропередач, проводится выбор и проверка сечения провода питающей воздушной линии ВЛ-110 кВ ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения электроаппаратного завода.

Питание ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения электроаппаратного завода от источника питания, осуществляется двухцепной воздушной линией электропередачи.

В работе, для большей надежности функционирования воздушных линий, с учетом климатических условий, для установки на новой питающей ВЛ-110 кВ, выбирается уникальный по своей конструкции компактный провод марки АССS – провод с жилами из алюминиевой стали, укрепленный стальными тросами. Такой провод способен нести значительную механическую нагрузку линии.

Также данный тип провода отличается от своих аналогов повышенной прочностью и пропускной способностью, а также высокой степенью устойчивости к гололедообразованию [7].

Ток нормального режима для питающей ВЛ-110 кВ ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения электроаппаратного завода (нормальная нагрузка, приходящаяся на каждую цепь линии):

$$I_p = 1,4 \frac{6851,8}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 110} = 25,2 \text{ A.}$$

Ток послеаварийного режима для питающей ВЛ-110 кВ ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения электроаппаратного завода:

$$I_{p.\max} = 1,4 \frac{6851,8}{\sqrt{3} \cdot 110} = 50,4 \text{ A.}$$

Расчётное сечение питающей ВЛ-110 кВ ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения электроаппаратного завода по условию экономической плотности тока:

$$S_9 = \frac{25,2}{1,1} = 22,9 \text{ мм}^2.$$

Из ряда стандартных наименьших значений сечения новых проводов марки АССС, с учётом минимального сечения по условиям механической прочности и коронирующего разряда, равного 120 мм^2 , выбирается ближайшее большее стандартное сечение провода – 148 мм^2 .

Согласно дальнейшей перспективе по развитию системы электроснабжения электроаппаратного завода, выбирается для питающих ВЛ-110 кВ провод марки АССС148-1Z с сечением токоведущей жилы 148 мм^2 и допустимой токовой нагрузкой $I_{дон} = 425 \text{ А}$.

Проверка предварительно выбранного провода марки АССС148-1Z для применения на питающей воздушной линии 110 кВ по току нормального режима выполняется:

$$425 \text{ А} \geq 25,2 \text{ А}.$$

Проверка предварительно выбранного провода марки АССС148-1Z для воздушной линии 110 кВ электроаппаратного завода по максимальному рабочему току ПАВ режима выполняется:

$$425 \text{ А} \geq 50,4 \text{ А}.$$

Проверка предварительно выбранного провода марки АССС148-1Z выполняется:

$$148 \text{ мм}^2 \geq 120 \text{ мм}^2.$$

Окончательно для применения на питающей ВЛ-110 кВ, в работе выбран современный провод марки АССS148-1Z с сечением токоведущей жилы – 148 мм² и допустимой токовой нагрузкой $I_{дон} = 425$ А.

«Результаты выбора кабельных линий 10 кВ системы электроснабжения электроаппаратного завода представлены в таблице 13» [1].

Таблица 13 – Результаты выбора кабельных линий 10 кВ системы электроснабжения электроаппаратного завода

Линия	Назначение линии	S_p , кВА	N , шт	I_p , А	$I_{p.max}$, А	F_ω , мм	Марка кабеля	$I_{дон}$, А
Л1	ГПП-ТП 1	1600	2	46,2	92,49	38,54	АСБ-10(3x50)	132
Л2	ГПП-ТП 2	1600	2	46,2	92,49	38,54	АСБ-10(3x50)	132
Л3	ГПП-ТП 3	1600	2	46,2	92,49	38,54	АСБ-10(3x50)	132
Л4	ГПП-РП1	754,3	2	20,4	40,81	17,00	АСБ-10(3x25)	84

«Результаты выбора кабельных линий напряжением 0,38/0,22 кВ приводятся в таблице 14» [6].

Таблица 14 – «Выбор кабельных линий напряжением 0,38/0,22 кВ» [6]

Линия	Назначение линии	N , шт	I_p , А	$I_{p.max}$, А	Марка кабеля	$I_{дон}$, А
Л5	ТП1-СП1	2	700,9	981,3	3ВВГнг-LS (4x150)	1074
Л6	ТП1-СП2	2	426,9	597,6	2ВВГнг-LS (4x120)	634
Л7	ТП2-СП10	1	442,7	-	ВВГнг-LS (4x240)	471
Л8	ТП2-СП11	1	172,2	-	ВВГнг-LS (4x50)	187
Л9	ТП2-СП12	1	184,1	-	ВВГнг-LS (4x50)	187
Л10	ТП2-СП13	2	67,2	94,1	ВВГнг-LS (4x16)	102
Л11	ТП3-СП5	2	181,2	253,7	ВВГнг-LS (4x95)	279
Л12	ТП3-СП6	2	141,6	198,2	ВВГнг-LS (4x70)	231
Л13	ТП3-СП8	1	1364,4	-	3ВВГнг-LS (4x240)	1413
Л14	ТП3-СП9	1	348,8	-	ВВГнг-LS (4x150)	358

«Все выбранные в работе проводники (воздушная линия 110 кВ питающей сети внешнего электроснабжения и силовые кабели напряжением 10 кВ распределительной сети внутреннего электроснабжения) электроаппаратного завода, удовлетворяют всем условиям выбора и проверки» [1], следовательно, могут быть рекомендованы для установки на объекте.

Выбор и проверка электрических аппаратов на ГПП системы электроснабжения электроаппаратного завода

Выбор и проверка электрических аппаратов системы электроснабжения электроаппаратного завода – это очень важный процесс, который требует внимательного и профессионального подхода.

При выборе и проверке электрических аппаратов необходимо учитывать следующие факторы:

- технические характеристики аппаратов: мощность, напряжение, номинальный ток, частота и другие параметры, которые должны соответствовать требованиям системы электроснабжения и спецификации проекта;
- соответствие стандартам и нормам безопасности: электрические аппараты должны соответствовать действующим нормам и стандартам безопасности, чтобы гарантировать надежную и безопасную работу системы электроснабжения;
- качество и надежность: электрические аппараты должны быть изготовлены из качественных материалов и иметь высокую степень надежности, чтобы обеспечить стабильную работу системы электроснабжения и избежать простоев в производственном процессе;
- стоимость и доступность: при выборе электрических аппаратов необходимо учитывать бюджет проекта и выбирать оптимальные по соотношению цена-качество варианты.

Для проверки электрических аппаратов необходимо провести соответствующие проверки, чтобы убедиться в их соответствии требованиям спецификации проекта и действующим нормам безопасности.

Как было указано ранее, одним из важнейших мероприятий по проектированию системы электроснабжения электроаппаратного завода, является выбор нового оборудования для установки в распределительных устройствах высокого напряжения на ГПП-110/10 кВ.

РУ-10 кВ ТП-10/0,4 кВ выполняется по упрощённой схеме и коммутируется с соответствующих ячеек РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ. Такая схема удобная, надёжная и практичная.

Все выбранные аппараты проверяются на соответствие условиям цепи в максимальном режиме по значениям максимального рабочего тока и тока трёхфазного КЗ.

Выбору и проверке в работе подлежат такие аппараты системы электроснабжения:

- высоковольтные выключатели – устанавливаются во всех распределительных устройствах питающей ГПП-110/10 кВ (110 кВ, 10 кВ);
- разъединители – применяются только в ОРУ-110 кВ на ГПП-110/10 кВ (в РУ-10 кВ заменяются втычными контактами ячеек типа КРУН);
- ограничители перенапряжения устанавливаются во всех РУ ГПП-110/10 кВ;
- измерительные трансформаторы тока и напряжения – применяются в ОРУ-110 кВ и КРУ-10 кВ ГПП по мере необходимости (зависит от схемы и мощности вторичных цепей).

Известно, что выключатели высокого напряжения – это основные аппараты для защиты и коммутации электрической сети и единственные аппараты на подстанции, которыми можно отключать сеть под нагрузкой, а также они отключают сеть при возникновении ненормальных режимов (в частности, токов КЗ).

Поэтому к выключателям предъявляются повышенные требования по коммутационной способности, а также по стойкости к сквозным токам КЗ и ударным токам.

Таким образом, выключатели высокого напряжения являются неотъемлемой частью системы электроснабжения и играют важную роль в обеспечении безопасной, надёжной и эффективной работы подстанций.

«Выбор выключателей высокого напряжения производится, исходя из следующих условий» [18]:

– «по номинальному напряжению» [18]:

$$U_{уст} \leq U_n. \quad (57)$$

где « $U_{уст}$, $U_{ном}$ – соответственно напряжения установки и номинальное напряжение выключателя (параметр завода-изготовителя)» [18];

– «по максимальному рабочему току» [18]:

$$I_{раб.макс} \leq I_n. \quad (58)$$

где « $I_{раб.макс}$, I_n – соответственно, максимальный рабочий ток ПАВ режима электроустановки и номинальное значение тока выключателя (параметр завода-изготовителя)» [18];

– «проверка выключателя на симметричный ток отключения» [18]:

$$I_{пт} \leq I_{откн}. \quad (59)$$

где « $I_{пт}$ – значение периодической составляющей тока короткого замыкания в момент начала расхождения дугогасительных контактов» [18];

« $I_{откн.н}$ – номинальный ток отключения выключателя, кА» [18];

– «проверка выключателя на отключение асимметричного тока» [7]:

$$(\sqrt{2} \cdot I_{пт} + i_{ат}) \leq \sqrt{2} \cdot I_{откн.н} (1 + \beta_n), \quad (60)$$

где « $i_{ат}$ – значение аperiodической составляющей тока короткого замыкания в момент расхождения контактов» [18];

« β_n – номинальное значение относительного содержания аperiodической составляющей в отключаемом токе КЗ» [18];

« τ – наименьшее время от начала короткого замыкания до момента расхождения дугогасительных контактов, определяется так» [18]:

$$t = t_{з.мин} + t_{с.в}, \quad (61)$$

где « $t_{з.мин}$ – минимальное время действия релейной защиты, с» [18];

« $t_{с.в}$ – собственное время отключения выключателя, с» [18];

– «на электродинамическую устойчивость выбранный выключатель проверяется по значению предельного сквозного тока КЗ» [18]:

$$i_y \leq i_{нр.с}, \quad (62)$$

где « $i_{нр.с}$ – действующее значение предельного сквозного тока КЗ» [18];

« i_y – ударный ток короткого замыкания в цепи выключателя» [18];

– «проверка выключателя на термическую стойкость по значению теплового импульса» [18]:

$$B_k \leq I_T^2 t_T, \quad (63)$$

где « B_k – тепловой импульс по расчёту, $A^2 \cdot c$ » [18];

« I_T – предельный ток термической устойчивости, $A^2 \cdot c$ » [18];

« t_T – длительность протекания тока устойчивости, с» [18].

«При этом тепловой импульс с учётом токов КЗ и отключения цепи» [18]:

$$B_k = I_k^2 (t_{отк} + T_a). \quad (64)$$

Выбор и проверка высоковольтных выключателей для установки во всех распределительных устройствах ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения электроаппаратного завода, проводится по приведённым выше условиям).

«Предварительно выбирается выключатель для установки в ОРУ 110 кВ ГПП типа ЛТВ-145D1/В-31,5/2000» [8]:

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

$$I_{ном} = 1000 \text{ А} > I_{расч} = 46,3 \text{ А.}$$

$$I_{откл} = 20 \text{ кА} > I_{к1} = 6,98 \text{ кА.}$$

$$i_{пр.скв} = 52 \text{ кА} > i_{ук1} = 15,71 \text{ кА.}$$

$$I_k^2 t = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} > I_k^2 (t_{откл} + T_a) = 6,98^2 \cdot (0,1 + 0,02) = 5,85 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$$

$$\sqrt{2} \cdot I_k (1 + \beta_{ном} / 100) = \sqrt{2} \cdot 20(1 + 0,25) = 35 > \sqrt{2} \cdot 15,71 \cdot (1 + e^{-\frac{-(0,05 + 0,1)}{0,007}}) = 24,8 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$$

Аналогично выбраны выключатели для установки в РУ-10 кВ ГПП завода (таблица 15).

Таблица 15 – Выбор высоковольтных выключателей в РУ-10 кВ

Условия	Параметры электрической сети	Каталожные данные выключателя марки ВВ/TEL-10-20/630-У2-48
$U_{ном} \geq U_{сети}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ.}$	$U_{ном.} = 10 \text{ кВ.}$
$I_{ном} \geq I_{расч}$	$I_{расч} = 364,2 \text{ А.}$	$I_{ном.} = 630 \text{ А.}$
$I_{пр.с} \geq i_{уд.}$	$i_{уд.} = 18,55 \text{ кА.}$	$I_{пр.с} = 80 \text{ кА.}$
$B_k \leq I_T^2 t_T$	$B_k = 9,37^2 \cdot 0,1 =$ $= 8,77 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$	$I_T^2 t_T = 4000 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$
$I_{откл} \geq I_k$	$I_k = 9,37 \text{ кА.}$	$I_{откл.} = 20 \text{ кА.}$

Предварительно выбирается разъединитель марки РГ-110/1000У1, который удовлетворяет условиям выбора и проверок (таблица 16).

Таблица 16 – Результаты выбора разъединителей в ОРУ 110 кВ

Условия	Параметры электрической сети	Каталожные данные разъединителя марки РГ-110/1000У1
$U_{ном} \geq U_{сети}$	$U_{сети} = 110 \text{ кВ.}$	$U_{ном.} = 110 \text{ кВ.}$
$I_{ном} \geq I_{расч.}$	$I_{расч} = 46,3 \text{ А.}$	$I_{ном.} = 1000 \text{ А.}$
$I_{пр.с} \geq i_{уд.}$	$i_{уд.} = 15,71 \text{ кА.}$	$I_{пр.с} = 20 \text{ кА.}$
$B_{к} \leq I_T^2 t_T$	$B_{к} = 6,98^2 \cdot 0,12 =$ $= 5,85 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$	$I_T^2 t_T = 2000 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$

Выбирается трансформатор тока 110 кВ марки ТВТ-110 (таблица 17).

Таблица 17 – Выбор трансформатора тока в ОРУ 110 кВ

Условия	Параметры электрической сети	Каталожные данные ТТ марки ТВТ-110
$U_{ном} \geq U_{сети}$	$U_{сети} = 110 \text{ кВ.}$	$U_{ном.} = 110 \text{ кВ.}$
$I_{ном} \geq I_{расч.}$	$I_{расч} = 46,3 \text{ А.}$	$I_{ном.} = 80 \text{ А.}$
$I_{пр.с} \geq i_{уд.}$	$i_{уд.} = 15,71 \text{ кА.}$	$I_{пр.с} = 62 \text{ кА.}$
$B_{к} \leq I_T^2 t_T$	$B_{к} = 6,98^2 \cdot 0,12 =$ $= 5,85 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$	$I_T^2 t_T = 2000 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$

Выбирается трансформатор тока 10 кВ марки ТЛО-10 (таблица 18).

Таблица 18 – Выбор трансформатора тока 10 кВ

Условия	Параметры электрической сети	Каталожные данные ТТ марки ТЛО-10
$U_{ном} \geq U_{сети}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ.}$	$U_{ном.} = 10 \text{ кВ.}$
$I_{ном} \geq I_{расч.}$	$I_{расч} = 364,2 \text{ А.}$	$I_{ном.} = 400 \text{ А.}$
$I_{пр.с} \geq i_{уд.}$	$i_{уд.} = 18,55 \text{ кА.}$	$I_{пр.с} = 80 \text{ кА.}$
$B_{к} \leq I_T^2 t_T$	$B_{к} = 8,77 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$	$I_T^2 t_T = 4000 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$

Выбирается трансформатор напряжения 10 кВ НАМИ-10 (таблица 19).

Таблица 19 – Выбор трансформатора напряжения 10 кВ

Условия	Параметры электрической сети	Каталожные данные ТН марки НАМИ-10
$U_{ном} \geq U_{сети}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ.}$	$U_{ном.} = 10 \text{ кВ.}$
$I_{ном} \geq I_{расч.}$	$I_{расч.} = 364,2 \text{ А.}$	$I_{ном.} = 630 \text{ А.}$
$I_{пр.с} \geq i_{уд.}$	$i_{уд.} = 18,55 \text{ кА.}$	$I_{пр.с} = 60 \text{ кА.}$
$B_k \leq I_T^2 t_T$	$B_k = 9,37^2 \cdot 0,1 =$ $= 8,77 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$	$I_T^2 t_T = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$

«Поскольку на ОРУ 110 кВ требуется ОПН внешней установки, выбираются для защиты ВЛ-110 кВ ограничители перенапряжений типа ОПН-У/TEL-110/84-УХЛ1» [20].

«На стороне 10 кВ в работе используются ОПН внутренней установки типа ОПН-КР/TEL-10/12 УХЛ1, которые устанавливаются в шкафах КРУ 10 кВ совместно с ранее выбранными вакуумными выключателями типа ВВ/TEL-10» [9].

Выводы по разделу.

В работе проведён детальный практический расчёт и последующее обоснование технических мероприятий и решений по проектированию системы электроснабжения электроаппаратного завода.

Рассчитаны токи короткого замыкания в максимальном режиме работы системы электроснабжения электроаппаратного завода.

На основании полученных результатов, установлено, что для питания проектируемой внешней системы электроснабжения электроаппаратного завода, на ГПП-110/10 кВ объекта проектирования целесообразно установить два силовых трансформатора номинальной мощностью 6300 кВА каждый (марки ТМН-6300/110).

Выбраны и проверены номинальные мощности трансформаторов цеховых ТП-10/0,4 кВ внутренней системы электроснабжения электроаппаратного завода (всего предусмотрено три цеховых ТП).

Все цеховые ТП-10/0,4 кВ устанавливаются в цехах, относящихся к I категории надёжности.

Таким образом, будет реализовано резервирование при их питании и снижение потерь мощности и напряжения со значительной экономии проводникового материала.

Для питающих ВЛ-110 кВ принята марка инновационного провода АССS148-1Z с сечением токоведущей жилы 148 мм² и допустимой токовой нагрузкой $I_{дон} = 425$ А.

Для питания цеховых ТП от РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ, выбраны и проверены сечения всех кабельных линий с использованием марки кабелей современного типа АСБ-10.

«Выбраны новые современные электрические аппараты для установки в РУ-110 кВ и РУ-10 кВ ГПП системы электроснабжения электроаппаратного завода» [1].

Заключение

В результате выполнения работы, проведена разработка проекта системы электроснабжения электроаппаратного завода, согласно исходным данным на выполнение работы.

Технологическая схема процесса изготовления готовой продукции и основные производственные объекты КЭАЗ, приведённые в работе, принимаются в качестве основы для разработки системы электроснабжения проектируемого электроаппаратного завода. Показано, что разработка качественного проекта системы электроснабжения электроаппаратного завода, с внедрением основных групп мероприятий, будет способствовать значительному повышению параметров надёжности, бесперебойности, электробезопасности и экономичности на объекте исследования.

В результате выбора схемы электроснабжения электроаппаратного завода, установлено, что для питания внешней системы электроснабжения проектируемого электроаппаратного завода, целесообразно использовать главную понизительную подстанцию с двумя силовыми трансформаторами и классами напряжения 110 кВ (номинальное высшее напряжение) и 10 кВ (номинальное низшее напряжение). Исходя из результатов проведённого сравнительного анализа, проведено аргументированное обоснование и выбраны рациональные схемы электрических соединений системы электроснабжения электроаппаратного завода:

- для применения в РУ-110 кВ питающей ГПП, принимается наиболее рациональная схема «Два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий»;
- для применения в РУ-10 кВ питающей ГПП, принимается наиболее рациональная схема «Одна секционированная система шин»;
- для применения в распределительной сети 10 кВ, принимается наиболее рациональная схема «Радиальная схема с резервированием на секции шин источника питания (РУ-10 кВ ГПП)»;

- для применения на всех двухтрансформаторных ЦТП, питающих потребители 1 и 2 категории надёжности, принимается «Радиальная схема с резервированием на секции шин РУ-10 кВ и РУ-0,4 кВ».

Проведён расчёт силовых, осветительных и суммарных расчётных электрических нагрузок проектируемого электроаппаратного завода с использованием рекомендуемого метода коэффициента спроса.

Определены координаты условного центра электрических нагрузок объектов и всего электроаппаратного завода. Осуществлён расчёт картограммы электрических нагрузок объекта проектирования.

Рассчитаны токи короткого замыкания в максимальном режиме работы системы электроснабжения электроаппаратного завода. На основании полученных результатов, установлено, что для питания проектируемой внешней системы электроснабжения электроаппаратного завода, на ГПП-110/10 кВ объекта проектирования целесообразно установить два силовых трансформатора номинальной мощностью 6300 кВА каждый (марки ТМН-6300/110). Выбраны и проверены номинальные мощности трансформаторов цеховых ТП-10/0,4 кВ внутренней системы электроснабжения электроаппаратного завода (всего предусмотрено три цеховых ТП). Все цеховые ТП-10/0,4 кВ устанавливаются в цехах, относящихся к I категории надёжности. Таким образом, было реализовано резервирование при их питании и снижение потерь мощности и напряжения со значительной экономии проводникового материала. Для питающих ВЛ-110 кВ принята марка инновационного провода АССS148-1Z с сечением токоведущей жилы 148 мм² и допустимой токовой нагрузкой $I_{дон} = 425$ А. Для питания цеховых ТП от РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ, выбраны и проверены сечения всех кабельных линий с использованием марки кабелей современного типа АСБ-10.

«Выбраны новые современные электрические аппараты для установки в РУ-110 кВ и РУ-10 кВ ГПП системы электроснабжения электроаппаратного завода» [1]. Разработанная система электроснабжения электроаппаратного завода соответствует нормативным требованиям основных документов.

Список используемых источников

1. ГОСТ 32144-2013. «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения». [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200104301> (дата обращения: 02.04.2023).
2. ГОСТ Р 59279-2020 «Схемы принципиальные электрические распределительных устройств от 35 до 750 кВ подстанций». [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200177281> (дата обращения: 02.04.2023).
3. Кадомская К.П., Лавров Ю.А. Электрооборудование высокого напряжения нового поколения. Вологда: Инфра-Инженерия, 2018. 343 с.
4. Компания «КЭАЗ» [Электронный ресурс]: URL: <https://keaz.ru/company> (дата обращения: 02.04.2023).
5. Курский электроаппаратный завод [Электронный ресурс]: URL: <https://keaz.ru/company/about/production> (дата обращения: 02.04.2023).
6. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: Учеб. пособие для ВУЗов. 5-е издание, перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 2018. 608 с.
7. Постановление Правительства РФ от 16.02.2008 N 87 (ред. от 01.12.2021) «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию» [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/902087949> (дата обращения: 02.04.2023).
8. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. 6-е изд., перераб. и доп. М: Энергоатомиздат, 2019. 174 с.
9. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. 4-е изд., перераб. и доп. М: Энергоатомиздат, 2018. 392 с.: ил.
10. Правила устройства электроустановок. 7-е изд., перераб. и доп. М.:

Главгосэнергонадзор России, 2018. 692 с.

11. Роголев Н.Д. Энергосбережение: учебное пособие для ВУЗов. Москва: МЭИ, 2020. 242 с.

12. Рожкова Л.Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций: Учебник для студентов учреждений среднего профессионального образования. М.: ИЦ Академия, 2018. 448 с.

13. Самарин О. Д. Энергосбережение. Энергоэффективность. Москва: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2019. 296 с.

14. Сибикин Ю.Д. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий и установок. Вологда: Инфра-Инженерия, 2019. 464 с.

15. Сибикин Ю.Д. Электроснабжение. Вологда: Инфра-Инженерия, 2017. 328 с.

16. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д.Л. Файбисовича. 4-е изд., перераб. и доп. М.: ЭНАС, 2018. 312 с.

17. Технология и оборудование производства электрической аппаратуры [Электронный ресурс]: URL: <https://leg.co.ua/knigi/oborudovanie/tehnologiya-i-oborudovanie-proizvodstva-elektricheskoy-apparatury.html> (дата обращения: 02.04.2023).

18. Типовые схемы электроснабжения промышленных предприятий [Электронный ресурс]: URL: <http://electricalschool.info/main/electroshemy/2422-tipovye-shemy-elektrosnabzheniya.html> (дата обращения: 02.04.2023).

19. Фролов Ю. М. Основы электроснабжения / Ю.М. Фролов, В.П. Шелякин. М.: Лань, 2019. 480 с.

20. Шеховцов В. П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению / В.П. Шеховцов. М.: Форум, Инфра-М, 2019. 136 с.