

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 Проектирование системы электроснабжения механосборочного предприятия

Обучающийся

Е.А. Готовцев

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент С.В. Шаповалов

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

Тольятти 2023

Аннотация

Работа посвящена разработке проекта системы электроснабжения механосборочного предприятия на примере механосборочного завода универсального типа, который разрабатывается с целью ввода нового объекта в эксплуатацию в связи с производственной необходимостью и дефицитом производимой продукции на отечественном рынке.

Для качественной реализации основной цели работы, решены следующие поставленные задачи:

- проведён анализ исходных технических и экономических данных с рассмотрением основных теоретических положений для решения поставленных задач;
- осуществлено проектирование системы электроснабжения механосборочного завода универсального типа с конечным выбором схемы электроснабжения, а также электрических сетей и аппаратов на всех звеньях электрической сети объекта. В работе выбраны основные составляющие объекта исследования, а также его составные части (силовые трансформаторы ГПП, цеховых ТП и собственных нужд ГПП, электрические сети, аппаратура распределительных устройств), а также основные проводники питающих и распределительных сетей системы электроснабжения объекта проектирования. Принятые в работе решения проверены на термическую и динамическую стойкость по значениям максимальных токов короткого замыкания, рассчитанным в работе;
- проведён выбор устройств релейной защиты, а также молниезащиты и защитного заземления на питающей ГПП спроектированной системы электроснабжения механосборочного завода универсального типа.

Все решения подтверждены в работе расчётным и аналитическим путями с использованием принятых методик и методов.

Содержание

Введение	4
1 Характеристика технических условий на проектирование объекта.....	7
1.1 Техническая характеристика объекта проектирования	7
1.2 Анализ теоретической информации по проектированию систем электроснабжения	12
2 Проектирование системы электроснабжения механосборочного предприятия.....	16
2.1 Выбор оптимальной схемы электроснабжения механосборочного завода универсального типа	16
2.2 Расчёт электрических нагрузок предприятия	19
2.3 Выбор и проверка мощности силовых трансформаторов ГПП	23
2.4 Выбор и проверка трансформаторов цеховых подстанций с учётом компенсации реактивной нагрузки	32
2.5 Расчёт токов короткого замыкания	35
2.6 Выбор и проверка проводников системы электроснабжения	46
2.7 Выбор основного электрооборудования и его проверка	51
2.8 Выбор устройств релейной защиты и автоматики	57
3 Расчёт заземления и молниезащиты.....	64
Заключение	68
Список используемых источников.....	71

Введение

Известно, что механосборочное производство составляет одно из основных направлений машиностроительной промышленности.

Сегодня механосборочное производство испытывает в Российской Федерации значительные сложности, связанные, в первую очередь, с введением санкций, а также разрывом или значительным усложнением многих логистических цепочек, необходимых для поставки комплектующих и материалов, а также сбыта продукции.

Такая ситуация требует принятия новых решений, так как в условиях увеличивающегося спроса на производимую продукцию, снижение и сокращение производства приводит к удорожанию продукции, что, в свою очередь, влечёт снижение конкурентоспособности, сокращение персонала, снижение отчислений в бюджет и, в конечном итоге, к ликвидации предприятий путём применения процедуры банкротства.

Сегодня в Российской Федерации около двухсот предприятий механосборочного цикла, однако примерно 80% всей продукции приходится на несколько десятков самых крупных из них, где механосборочные комплексы являются одним из крупных технологических узлов.

Такая монополизация отрицательно сказывается не только на конкурентоспособности, но и на качестве продукции и конечном снижении дохода не только предприятий-производителей, но и государства в целом (за счёт снижения поступления налогов в казну).

В отечественном машиностроении заметно отставание от мирового научно-технического прогресса.

Выходом из сложившейся ситуации является проектирование и ввод в эксплуатацию качественно новых объектов современного машиностроения. В частности, это в первую очередь относится к механосборочным предприятиям и участкам машиностроительной промышленности, на которых основной производственный цикл и оборудование должны быть

современными, технически и экономически выгодными и рентабельными. Данный аспект обуславливает актуальность выполняемой работы.

Разработка системы электроснабжения одного из таких объектов механосборочного предприятия машиностроительной промышленности (на примере механосборочного завода универсального типа) является основной целью данной работы.

Объектом исследования в данной работе является электрическая часть разрабатываемой системы электроснабжения механосборочного предприятия машиностроительной промышленности (на примере механосборочного завода универсального типа).

«Предметом исследования в работе выступает электрическая принципиальная схема электроснабжения объекта исследования, а также её составные части – схема и проводники питающей и распределительной сетей высокого и низкого напряжения, силовые трансформаторы ГПП и цеховых ТП, аппаратура распределительных устройств, релейная защита, а также молниезащита и заземление» [17].

«Для качественной реализации цели работы, решаются такие задачи» [17]:

- «проводится анализ исходных технических данных с рассмотрением основных теоретических положений для решения поставленных задач» [12];
- «осуществляется проектирование системы электроснабжения механосборочного завода универсального типа с конечным выбором схемы электроснабжения, а также электрических сетей и аппаратов на всех звеньях электрической сети объекта» [12]. Для этого в работе выбираются «основные составляющие объекта исследования, а также его составные части (силовые трансформаторы ГПП, цеховых ТП и собственных нужд ГПП, электрические сети, аппаратура распределительных устройств)» [17], а также основные проводники питающих и распределительных сетей системы электроснабжения

объекта проектирования. Принятые в работе решения должны быть проверены на термическую и динамическую стойкость по значениям максимальных токов короткого замыкания, рассчитанным в работе;

- проводится выбор устройств релейной защиты, а также молниезащиты и защитного заземления, на питающей ГПП спроектированной системы электроснабжения механосборочного завода универсального типа.

Все решения должны быть подтверждены в работе расчётным и аналитическим путями с использованием принятых методик и методов.

Предлагаемая работа состоит из трёх основных разделов и выполняется согласно требованиям методических указаний с применением принятых расчётных и аналитических методик, а также с использованием нормативных положений основных документов машиностроительной отрасли и электроэнергетики Российской Федерации.

Результатом работы является разработка мероприятий, позволяющим осуществить качественное проектирование системы электроснабжения данного предприятия, с внедрением современных требований на объекте исследования.

При решении всех указанных задач, основная цель данной работы будет достигнута.

Работа может быть использована при рассмотрении и решении типичных задач проектирования систем электроснабжения классического типа отечественной машиностроительной промышленности.

1 Характеристика технических условий на проектирование объекта

1.1 Техническая характеристика объекта проектирования

В работе осуществляется разработка системы электроснабжения одного из объектов механосборочного предприятия машиностроительной промышленности – нового современного механосборочного завода универсального типа.

Ввод в эксплуатацию качественно новых объектов механосборочного предприятия машиностроительной промышленности, на которых основной производственный цикл и оборудование были бы современными и сконцентрированными на одной общей территории, технически и экономически выгодными и рентабельными.

Одним из таких предприятий должен стать рассматриваемый в работе механосборочный завод универсального типа, основная задача которого – производство высококачественных изделий для машиностроительной промышленности, а также сопутствующих товаров народного потребления.

На основании перечисленных аспектов можно сделать вывод, что современные предприятия механосборочного производства машиностроительной промышленности страны требуют комплексного и квалифицированного подхода к проектированию всех систем обеспечения жизнедеятельности, в особенности систем электроснабжения.

Поэтому разработка качественного проекта системы электроснабжения объекта исследования, является важнейшей задачей работы.

Классификация механосборочного производства по объёмам производимой продукции, представлена в работе на рисунке 1.

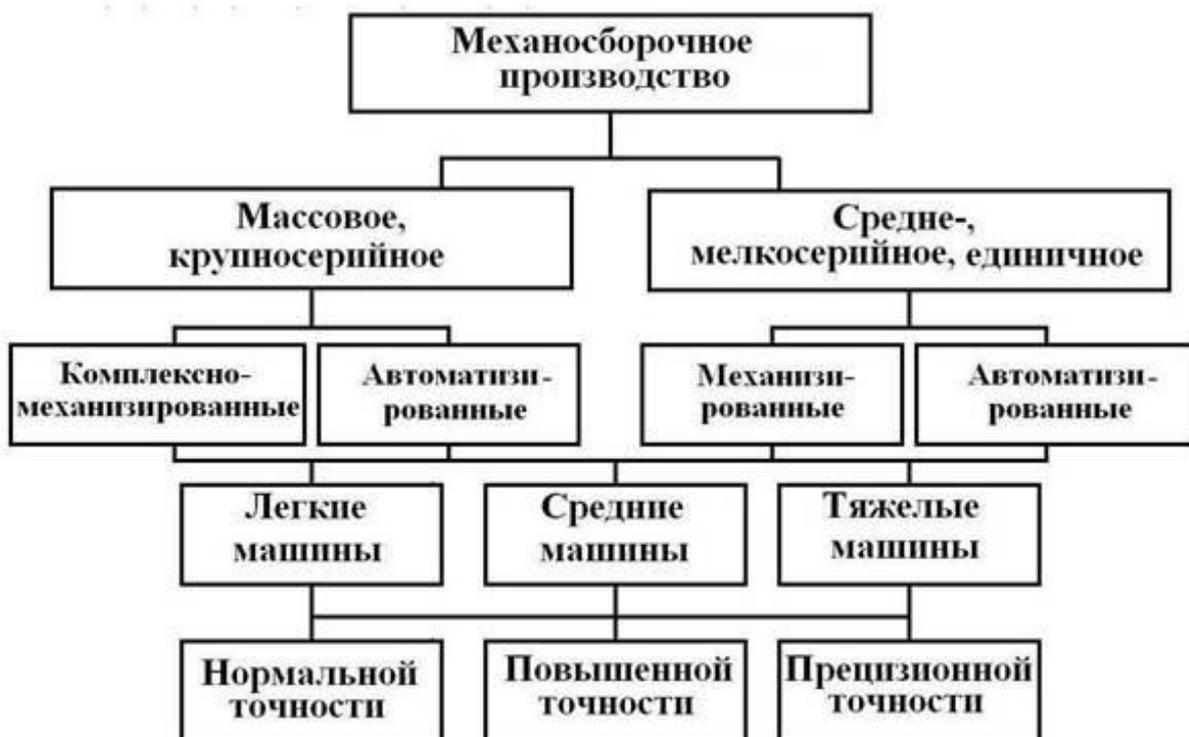


Рисунок 1 – Классификация механосборочного производства по объёмам производимой продукции

Из классификация механосборочного производства по объёмам производимой продукции, представленной на рисунке 1, можно сделать следующие выводы:

- по объёмам выпускаемой продукции механосборочное производство может быть массовым (крупносерийным), а также среднесерийным, мелкосерийным и единичным;
- по степени автоматизации и механизации механосборочное производство классифицируется на комплексно-механизированное производство, автоматизированное производство и механизированное производство;
- по типам изготавливаемой продукции, механосборочное производство может производить лёгкие, средние и тяжёлые машины;
- по точности изготовления, механосборочное производство способно производить изделия нормальной, повышенной и прецизионной точности.

В состав современного механосборочного предприятия машиностроительной промышленности входят производственные и непроизводственные участки, цеха и подразделения. Технологическая схема с указанием основных производственных и технологических узлов и подразделений проектируемого в работе механосборочного завода универсального типа, схематически представлена в работе на рисунке 2 [12].



Рисунок 2 – Технологическая схема с указанием основных производственных и технологических узлов и подразделений проектируемого механосборочного завода универсального типа

Таким образом, в результате проведённого анализа технологической схемы проектируемого в работе механосборочного завода универсального типа, установлено, что к основным технологическим подразделениям относятся:

- отделение крупных металлообрабатывающих станков;
- отделение средних металлообрабатывающих станков;
- заточные отделения;

- отделение узловой сборки;
- отделение общей сборки и испытаний.

В современной системе классификации цехов и участков, принято выделять производственные и непроизводственные системные элементы в структуре любого производственного цикла.

Непроизводственные системные элементы играют менее важную роль в технологическом процессе производства, но они важны для общего производственного цикла.

К основным непроизводственным элементам и структурным подразделениям проектируемого в работе механосборочного завода универсального типа, относятся следующие службы, узлы и коммуникации, обеспечивающие технологический процесс или общий технологический цикл производства:

- технические службы обеспечения основного производства (насосная, компрессорная, лаборатория контроля качества, автомобильная служба и гаражи, заготовительный участок, ремонтно-эксплуатационный комплекс, инструментальный участок);
- службы подготовки основного производства (участок приёма первичного сырья, участки первичной термической и механической обработки, заготовительный участок);
- складские комплексы и помещения различного назначения;
- административные и хозяйственные здания и постройки (заводоуправление, торгово-выставочный комплекс, медицинский пункт и столовая).

Все перечисленные выше основные непроизводственные элементы и структурные подразделения проектируемого в работе механосборочного завода универсального типа, рекомендуется объединять в укрупнённые блоки, таким образом, усовершенствуя технологический процесс и снижая производственные потери, а также перерасход и потери электроэнергии в сети предприятия.

При этом, на проектируемом механосборочном заводе универсального типа, также имеются по два высоковольтных электродвигателя компрессорной и насосной, которые нельзя объединить с нагрузкой напряжением ниже 1 кВ любого из основных групп подразделений, поэтому компрессорная и насосная с данными высоковольтными двигателями рассматривается как отдельное подразделение. Основные технические характеристики производственных и непроизводственных подразделений проектируемого в работе механосборочного завода универсального типа, представлены в работе в форме таблицы 1.

Таблица 1 – Основные технические характеристики подразделений механосборочного завода универсального типа

Номер (по плану)	Наименование узла (подразделения)	Категория	Тип подразделения	P_m , кВт
1	Материальный склад	III	Непроизводственное	240
2	Склад готовой продукции	III	Непроизводственное	280
3	Заточные отделения	I	Производственное	2932
4	Отделение общей сборки и испытаний	I	Производственное	1500
5	Отделение крупных металлообрабатывающих станков	I	Производственное	1198
6	Насосная (0,4 кВ)	I	Непроизводственное	1245
	Насосная (10 кВ)			2780
7	Участок первичной термической обработки	II	Непроизводственное	870
8	Участок первичной механической обработки	II	Непроизводственное	825
9	Отделение узловой сборки	I	Производственное	1880
10	Отделение средних металлообрабатывающих станков	I	Производственное	8075
11	Лаборатория контроля качества	II	Непроизводственное	1980
12	Компрессорная (0,4 кВ)	I	Непроизводственное	1512
	Компрессорная (10 кВ)			3920
13	Ремонтно-эксплуатационный комплекс	II	Непроизводственное	2390
14	Автомобильная служба и гаражи	III	Непроизводственное	640
15	Заготовительный участок	III	Непроизводственное	685
16	Участок приёма первичного сырья	III	Непроизводственное	170
17	Заводоуправление	III	Непроизводственное	235
18	Медицинский пункт и столовая	III	Непроизводственное	75
19	Торгово-выставочный комплекс	III	Непроизводственное	95
20	Инструментальный участок	II	Непроизводственное	500
Всего по предприятию		-	-	36182

Также в работе используются следующие основные исходные данные согласно заданию на проектирование:

- проектируемое предприятие металлургической промышленности (новый механосборочный завод универсального типа), по категории надёжности районных потребителей, относится ко II категории;
- питание проектируемого механосборочного завода универсального типа от энергетической системы предполагается осуществить от узловой районной подстанции с классами напряжения 110/35/6 кВ, на которой находятся два силовых трансформатора, расстояние до данной питающей ПС составляет 20 км;
- возможны два варианта питания проектируемой системы электроснабжения механосборочного завода универсального типа: от шин 35 кВ (распределительное питание отходящими линиями от ОРУ-35 кВ районной подстанции) или от шин 110 кВ (транзитное питание от ввода 110 кВ ОРУ-110 кВ районной подстанции);
- прокладка воздушной линии электропередачи от питающей районной ПС-110/35/10 кВ энергосистемы возможна как на напряжении 110 кВ, так и на напряжении 35 кВ.

1.2 Анализ теоретической информации по проектированию систем электроснабжения

Система электроснабжения проектируемого механосборочного завода универсального типа, детально рассматриваемого в работе, относится к группе промышленно-технических объектов II категории надёжности [5].

По специфике и составу, системы электроснабжения машиностроительных предприятий (включая СЭС нового механосборочного завода универсального типа), относятся к системам электроснабжения промышленных предприятий классического типа [8].

Таким образом, к классическим системам электроснабжения

применяются следующие основные требования и нормы, обусловленные их природой:

- обеспечение питания потребителей систем электроснабжения согласно принятым и утверждённым схемам электроснабжения;
- высокое качество поставляемой электроэнергии потребителям, недопущение поступления в сеть электроэнергии с предельно-допустимыми параметрами и недопустимыми отклонениями;
- надёжность электроснабжения потребителей, отсутствие значительных аварийных режимов в системе электроснабжения;
- бесперебойность систем электроснабжения, недопущение значительного перерыва в снабжении потребителей электроэнергией (допустимый перерыв определяется категорией надёжности и детально рассмотрен в работе далее);
- применение защит, блокировок и прочих автоматических сигнализаторов для недопущения аварийного режима на всех звеньях электрической сети систем электроснабжения;
- автоматизация всех участков и звеньев электрической сети систем электроснабжения;
- обеспечение достаточного резервирования в схеме в случае потери электроснабжения, путём применения совокупности схемных решений, автоматики и новейшего быстродействующего коммутационно-защитного оборудования.

Рассматриваются требования к источникам питания СЭС.

Наибольшее распространение в качестве источника питания систем электроснабжения промышленных предприятий в современной энергетике являются понижающие трансформаторные подстанции.

Для данной цели в последние годы применяются блочные комплектные подстанции с элегазовой изоляцией.

Такие подстанции – самые перспективные с точки зрения модернизации, реконструкции и дальнейшего развития, а также самые

надёжные в силу того, что позволяют установить в своих распределительных устройствах современные блоки и модули защиты, минимизируя габариты установки в несколько раз [16].

Во внутренней системе электроснабжения промышленных предприятий к применению допускается исключительно изолированная проводка, что связано с безопасностью людей [12].

Внутренние сети передают напряжение 0,38/0,22 кВ с трансформаторных подстанций промышленных предприятий непосредственно на эти объекты, где далее происходит распределение электроэнергии для питания потребителей в зависимости от схемы электрических соединений, расположения электроприёмников, а также назначения и цикла работы отдельных элементов и всей системы в целом.

В системах электроснабжения ведётся жёсткий контроль за качеством электроэнергии. Поэтому в системах электроснабжения промышленных предприятий на всех номинальных классах напряжения отклонения напряжения, частоты, тока и гармоник должны находиться в допустимых интервалах [3].

Также контроль ведётся за величиной потребляемой реактивной мощности, так как её избыток способен вывести систему из нормального состояния в аварийное.

Нормами [3] для систем электроснабжения промышленных предприятий предусмотрена обязательная проверка последних на потребляемую реактивную мощность.

В большинстве случаев в системах электроснабжения такая проверка будет выполнена в подавляющем большинстве случаев, однако при наличии большого числа потребителей, имеющих двигательную нагрузку, а также при значительном объёме освещения, выполненного с использованием устаревших люминесцентных ламп стартерного типа, существует вероятность необходимости установки дополнительных устройств

компенсации реактивной мощности на объектах. Данный аспект необходимо также проверить в работе.

Известно, что система должна быть по возможности дешёвой и надёжной [10].

Поэтому разрабатываемый проект системы электроснабжения должен быть качественным, надёжным и экономичным, и, самое главное – безопасным [6].

Выводы по разделу.

В работе обусловлена актуальность выбора темы, с последующим анализом технических данных основных производственных и непроизводственных подразделений и узлов проектируемой системы электроснабжения нового механосборочного завода универсального типа.

Проведён анализ основных требований, предъявляемых к схемам главных электрических соединений нормального режима систем электроснабжения аналогичных объектов машиностроительной промышленности.

Показано, что разработка качественного проекта вводимой в эксплуатацию системы электроснабжения механосборочного завода универсального типа, с внедрением основных групп мероприятий по проектированию, будет способствовать значительному повышению параметров надёжности, бесперебойности, электробезопасности и экономичности на объекте исследования.

2 Проектирование системы электроснабжения механосборочного предприятия

2.1 Выбор оптимальной схемы электроснабжения механосборочного завода универсального типа

Далее в работе проводится выбор рациональных номинальных напряжений схемы электроснабжения механосборочного завода универсального типа.

Рассматриваются номинальные классы напряжения для применения во внешней и внутренней схемах электроснабжения объекта проектирования. Как было установлено в результате проведения анализа исходных данных, в «системе электроснабжения механосборочного завода универсального типа преобладают потребители I и I-й категории по надежности электроснабжения, поэтому внешнее электроснабжение данного объекта осуществляется по двухцепной ЛЭП с установкой на источнике питания системы электроснабжения объекта двух силовых трансформаторов» [2].

Как было установлено ранее, электроснабжение объекта может осуществляться от РУ-110 кВ (транзитная линия без захода на питающую районную подстанцию) или РУ-35 кВ (отходящее питание) районной ПС 110/35/10 кВ.

Исходя из этих условий, установлено, что для питания объекта исследования целесообразно использовать главную понизительную подстанцию. (далее – ГПП).

«Согласно формуле Илларионова» [15]:

$$U_n = \frac{1000}{\sqrt{500/L + 2500/P}}, \quad (1)$$

где « L – длина питающей линии, км» [10];

« P - передаваемая мощность в сети, МВт» [12].

«По условию (1) для ГПП внешней СЭС проектируемого механосборочного завода универсального типа» [1]:

$$U_n = \frac{1000}{\sqrt{500/20 + 2500/36,182}} = 103,1 \text{ кВ.}$$

Таким образом, исходя из номинальных напряжений, применяемых в электрической сети Российской Федерации, принимается ближайшее большее стандартное значение номинального напряжения внешней системы электроснабжения проектируемого механосборочного завода универсального типа, равного значению 110 кВ [3].

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

В результате проведения технического анализа, расчётным путём было установлено, что для проектируемой системы электроснабжения механосборочного завода универсального типа, наиболее рационально подходит высшее напряжение, равное 110 кВ, а для внутренней системы объекта проектирования – напряжение 10 кВ. Также было установлено, что основным и единственным источником питания во внешней системе электроснабжения проектируемого механосборочного завода универсального типа, является двухтрансформаторная ГПП, получающая питание от РУ-110 кВ районной ПС-110/35/10 кВ двумя линиями электропередачи на напряжении 110 кВ.

На основании полученных результатов, с учётом анализа нормативных документов и типичных схемных решений, в работе принимаются следующие схемы в проектируемой системе электроснабжения механосборочного завода универсального типа [4,20]:

- для применения в РУ-110 кВ питающей ГПП, принимается наиболее рациональная схема «Два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий». Достоинством данной схемы является простота и надёжность;
- для применения в РУ-10 кВ питающей ГПП, принимается наиболее рациональная схема «Одна секционированная система шин» [4,20]. Секционный выключатель в нормальном режиме работы схемы РУ-10 кВ отключён, режим работы – раздельный;
- для применения в распределительной сети 10 кВ, принимается наиболее рациональная схема «Радиальная схема с резервированием на секции шин источника питания (РУ-10 кВ ГПП)». Такая схема наиболее проста в исполнении и обладает наиболее высокой надёжностью, простотой монтажа, отстройки уставок РЗА и подходит для питания ответственных потребителей;
- для применения на однострансформаторных ЦТП, питающих потребители III категории надёжности, принимается «Радиальная схема без резервирования на секции шин РУ-10 кВ», а для применения на двухтрансформаторных ЦТП, питающих потребители I и II категории надёжности, принимается «Радиальная схема с резервированием на секции шин РУ-10 кВ и РУ-0,4 кВ». Применение таких схем обеспечит питание всех потребителей на напряжении 10/0,4 кВ, соответственно категории надёжности, с учётом степени резервирования в схеме.

Все выбранные схемы электрических соединений проектируемой системы электроснабжения механосборочного завода универсального типа отвечают требованиям нормативных документов и принимаются к использованию на объекте проектирования.

Общая схема электроснабжения объекта проектирования, составленная с учётом выбранных схем отдельных её составляющих, показана в работе на графическом листе 2.

2.2 Расчёт электрических нагрузок предприятия

Далее в работе, для достижения поставленной цели, необходимо провести расчёт электрических нагрузок потребителей системы электроснабжения механосборочного завода универсального типа, результаты которых далее будут использованы для расчёта максимальных рабочих токов с последующими выбором и проверкой силовых трансформаторов, проводников линий, сборных шин, а также нового основного оборудования распределительных устройств электрической части ГПП и цеховых ТП объекта проектирования.

Расчёт проводится с учётом коэффициента спроса, показывающий, насколько рационально используется электроэнергия в системе электроснабжения объекта [8].

По известному числу и мощности потребителей на заданном напряжении, определяется значения активной нагрузки потребителей электрической части системы электроснабжения механосборочного завода универсального типа 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 группы

подразделений проектируемого механосборочного завода универсального типа, кВт» [8];

K_c – «справочное значение коэффициента спроса группы подразделений» [8].

«Расчетная реактивная нагрузка силовых электроприёмников, квар» [6]:

$$Q_{p.} = P_{p.} \cdot tg\varphi, \quad (3)$$

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

«Расчётная нагрузка осветительных приёмников, кВт» [1]:

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

где « $K_{c.o}$ – справочный коэффициент спроса приемников освещения группы подразделений» [4];

« $P_{н.o}$ – суммарная номинальная мощность приемников освещения группы подразделений, кВт» [1].

«При этом» [1]:

$$P_{н.o} = P_{уд.o} F, \quad (5)$$

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

группы подразделений проектируемого

механосборочного завода универсального типа, кВт/м²» [4];

F – «площадь группы подразделений проектируемого

механосборочного завода универсального типа согласно генплану, м²» [1].

Полная нагрузка силовых и осветительных приёмников группы подразделений проектируемого механосборочного завода универсального типа [1]:

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

Полная расчётная силовая нагрузка силовых и осветительных приёмников группы подразделений проектируемого механосборочного завода универсального типа [13]:

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

Для всех электроприёмников групп потребителей расчёты электрической нагрузки проведены аналогично.

Полученные в работе результаты расчёта электрических нагрузок производственного освещения потребителей и электроприёмников групп подразделений системы электроснабжения механосборочного завода универсального типа сведены в таблицу 2.

Полученные в работе результаты расчёта электрических нагрузок силовой сети потребителей и электроприёмников групп подразделений системы электроснабжения механосборочного завода универсального типа также сведены в таблицу 2.

Расчёт силовой нагрузки системы электроснабжения механосборочного завода универсального типа проводится с учётом высоковольтных двигателей компрессорной и насосной.

Для них предусматривается отдельное питание по радиальной схеме от РУ-10 кВ питающей ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения внешней части объекта.

Таким образом, в форме таблицы 2, представлены суммарные результаты расчёта нагрузок групп подразделений системы электроснабжения механосборочного завода универсального типа.

Полученные данные при расчёте суммарных расчётных значений электрических нагрузок, далее в работе проводятся мероприятия по выбору основного оборудования в проектируемой системе электроснабжения механосборочного завода универсального типа.

Таблица 2 – Результаты расчёта суммарных расчётных электрических нагрузок системы электроснабжения механосборочного завода

Наименование подразделения	Силовая нагрузка			Осветительная нагрузка			Суммарная расчетная нагрузка		
	$P_{силь}$, кВт	$Q_{силь}$, кВар	$P_{силь}$, кВт	$P_{осв}$, кВт	$Q_{осв}$, кВар	$S_{осв}$, кВА	P_c , кВт	Q_c , кВар	S_c , кВА
Материальный склад	85	72	120	10,1	5,5	11,2	96,1	72,5	120,4
Склад готовой продукции	101	84	140	10,1	5,5	11,2	112,1	84,5	140,4
Заточные отделения	1026,2	1046,7	1465,9	59,3	28,5	65,8	1085,5	1075,2	1527,9
Отделение общей сборки и испытаний	750	660	999	27,8	13,3	30,8	777,8	673,3	1028,7
Отделение крупных металлообрабатывающих станков	599	527,1	797,9	18,1	8,7	20,1	617,1	535,8	817,2
Насосная (0,4 кВ)	622,5	547,8	829,2	74,1	35,6	82,2	2086,6	1806,6	2760
Насосная (10 кВ)	1390	1223,2	1851,6						
Участок первичной гермической обработки	435	382,8	579,5	20,4	9,8	22,6	455,4	392,6	555,2
Участок первичной механической обработки	412,5	363	549,5	21,5	10,3	23,8	434	373,3	572,5
Отделение узловой сборки	940	827,2	1252,1	20,7	9,9	23,0	960,7	837,1	1274,2
Отделение средних металлообрабатывающих станков	4037,5	3553	5378,2	370,5	177,8	411,0	4408	3730,8	5774,9
Лаборатория контроля качества	990	742,5	1237,5	11,1	5,3	12,3	1001,1	747,8	1249,6
Компрессорная (0,4 кВ)	756	665,3	1007	89,8	43,1	99,6	2805,8	2433,2	3713,9
Компрессорная (10 кВ)	1960	1724,8	2610,8						
Ремонтно-эксплуатационный комплекс	836,5	853,2	1194,9	37,3	17,9	41,4	873,8	871,1	1233,8
Автомобильная служба и гаражи	224	197,1	298,4	3,3	1,6	3,7	227,3	198,7	301,9
Заготовительный участок	239,8	211	319,4	10,7	5,1	11,9	250,5	216,1	330,8
Участок приёма первичного сырья	68	51	85	13,3	6,4	14,8	81,3	57,4	99,5
Заводоуправление	117,5	88,1	146,9	11,1	5,3	12,3	128,6	93,4	158,9
Медицинский пункт и столовая	37,5	28,1	46,9	1,6	0,8	1,8	39,1	28,9	48,6
Торгово-выставочный комплекс	47,5	22,8	52,7	4,3	2	4,7	51,8	24,8	57,4
Инструментальный участок	250	187,5	312,5	6,8	3,2	7,5	256,8	190,7	319,9
Всего по заводу							18084,4	15433,8	23775

«Результаты полученных расчётных значений электрических нагрузок учитываются в работе далее при выборе основного оборудования» [11].

2.3 Выбор и проверка мощности силовых трансформаторов ГПП

Как было указано ранее, на главной понизительной подстанции ГПП-110/10 кВ в проектируемой системе электроснабжения механосборочного завода универсального типа, 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 механосборочного завода универсального типа, проводится расчётная проверка мощности новых трансформаторов на ГПП данного предприятия.

Известно, что в системе внешнего электроснабжения предприятий необходимо предусмотреть компенсацию реактивной мощности, результаты которой влияют на выбор мощности силовых трансформаторов.

Входная реактивная мощность, которая компенсируется на шинах подстанции ГПП-110/10 кВ в проектируемой системе электроснабжения механосборочного завода универсального типа, определяется так:

$$Q_{\text{э1}} = \alpha \cdot P_{\text{сум}}, \quad (8)$$

где α - «коэффициент эквивалентности» [13].

$$Q_{\text{э1}(U=110\text{кВ})} = 0,25 \cdot 18380,9 = 4595,2 \text{ кVar}.$$

С учётом компенсации реактивной мощности, значение полной расчётной мощности на шинах ГПП-110/10 кВ в проектируемой системе электроснабжения механосборочного завода универсального типа:

$$S_{\text{м.зпт}} = \sqrt{P_{\Sigma}^2 + Q_{\text{э1}}^2} \cdot K_{\text{рм}}, \quad (9)$$

где « $K_{\text{рм}}$ —коэффициент одновременности максимума нагрузки» [15].

$$S_{м.зпп} = \sqrt{18380,9^2 + 4595,2^2} \cdot 0,95 \approx 18000 \text{ кВА}.$$

Данное значение расчётной мощности на шинах ГПП-110/10 кВ после КРМ, используется в расчётах далее.

Расчётная мощность силового трансформатора для установки на понизительной подстанции определяется по известной формуле [12]:

$$S_{ном.т} \geq \frac{S_{м.зпп}}{N \cdot K_3}, \quad (10)$$

где $S_{м.ГПП}$ – максимальное значение полной расчетной нагрузки трансформаторной подстанции ГПП-110/10 кВ в системе электроснабжения механосборочного завода универсального типа, с учётом КРМ.

По условию (10) для силовых трансформаторов, установленных на ГПП-110/10 кВ системе электроснабжения механосборочного завода универсального типа, с учётом КРМ:

$$S_{ном.т(U=110 \text{ кВ})} \geq \frac{18000}{2 \cdot 0,8} = 11250 \text{ кВА}.$$

При выборе проводится сравнение номинальной мощности выбранного силового трансформатора и полученного значения расчётной мощности трансформатора ГПП-110/10 кВ системе электроснабжения механосборочного завода универсального типа:

$$S_{ном.т} \geq S_{ном.т.р.}, \text{ МВА}, \quad (11)$$

Таким образом, предварительные условия проверки силовых трансформаторов, установленных на ГПП-110/10 кВ системе электроснабжения механосборочного завода универсального типа, по условию (11) выполняются:

$$S_{ном.т} = 16000 \text{ кВА} \geq S_{ном.т.р} = 11250 \text{ кВА}.$$

Значит, исходя из результатов предварительной проверки, «для установки на ГПП-110/10 кВ в системе электроснабжения механосборочного завода универсального типа, принимаются трансформаторы ТДН-16000/110» [7].

Для проверки трансформаторов марки ТДН-16000/110, установленных на подстанции ГПП-110/10 кВ системе электроснабжения механосборочного завода универсального типа «на загрузочную способность, в работе используется типичный упрощенный суточный трёхступенчатый график нагрузок активной нагрузки потребителей машиностроительной промышленности, представленный на рисунке 3» [9].

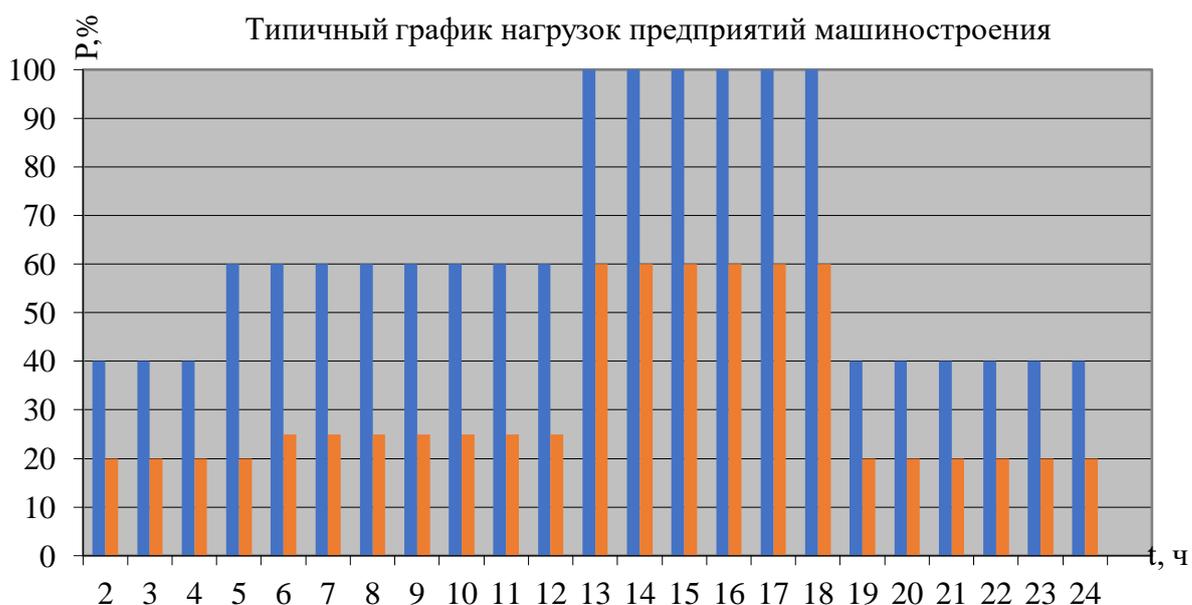


Рисунок 3 – Типичный график нагрузок предприятий машиностроения для лета (оранжевый цвет) и зимы (синий цвет)

Как видно из типичного графика нагрузки (рисунок 3), нагрузка зимних месяцев существенно больше, чем нагрузка летних месяцев.

Поэтому далее в работе все расчёты по проверке силовых трансформаторов ГПП-110/10 кВ проводятся для зимних месяцев типичного графика нагрузки.

Типичный упрощенный суточный график нагрузок потребителей машиностроительной промышленности с указанием ступеней, исходя из условий технологического процесса, представлен в работе на рисунке 4.

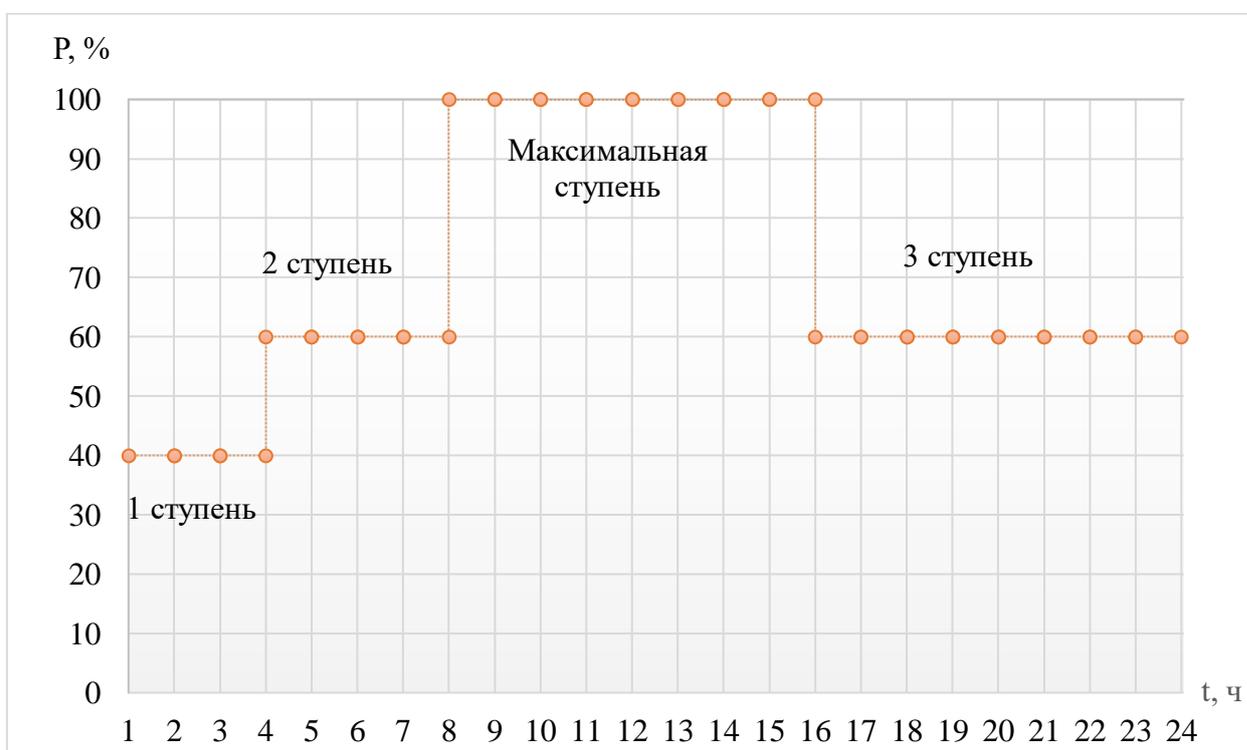


Рисунок 4 – Типичный упрощенный суточный график нагрузок потребителей машиностроительной промышленности с указанием ступеней, исходя из условий технологического процесса

Как известно, на суточных графиках нагрузки есть участки, соответствующие допустимым нагрузкам и перегрузкам.

Условия проверки силовых трансформаторов ГПП-110/10 кВ системе электроснабжения механосборочного завода универсального типа на перегрузочную способность, согласно суточному графику нагрузок [12]:

$$K_2 \leq K_{2\text{доп}}, \quad (12)$$

где K_2 – расчетный коэффициент аварийной перегрузки суточного графика нагрузки трансформатора ГПП-110/10 кВ в системе электроснабжения механосборочного завода универсального типа;
 $K_{2\text{доп}}$ – коэффициент допустимой аварийной перегрузки суточного графика нагрузки трансформатора ГПП-110/10 кВ в системе электроснабжения механосборочного завода универсального типа.

В конечном итоге, с учётом допустимых коэффициентов и мощности (расчётной и номинальной) трансформаторов, установленных на ГПП-110/10 кВ системе электроснабжения механосборочного завода универсального типа:

$$S_{\text{max}} \leq S_{\text{ном.Т}} \cdot K_{2\text{доп}}. \quad (13)$$

Исходный суточный график нагрузки силовых трансформаторов ГПП-110/10 кВ системе электроснабжения механосборочного завода универсального типа задан для значений активной нагрузки (рисунок 4).

Таким образом:

$$S_{\text{max}} = \frac{P_{\text{max}}}{\cos \varphi}, \text{ МВА}. \quad (14)$$

Принимается условное равенство нагрузки на ГПП-110/10 кВ. Исходя из этого допущения, на один силовой трансформатор ГПП приходится половина суммарной расчётной нагрузки всей системы электроснабжения механосборочного завода универсального типа (с учётом КРМ):

$$P_{\max} = \frac{P_{\text{ПС}}}{n}, \text{ MВт}, \quad (15)$$

где n – количество рабочих силовых трансформаторов на ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения механосборочного завода универсального типа.

По условию (15):

$$P_{\max} = \frac{18,084}{2} = 9,042 \text{ MВт}.$$

Для трансформатора ГПП-110/10 кВ механосборочного завода универсального типа, максимальное значение полной мощности с учётом КРМ, по типичному суточному графику нагрузки по (13):

$$S_{\max} = \frac{9,042}{0,92} = 9,83 \text{ MВА}.$$

Для всех остальных ступеней суточного графика нагрузки силового трансформатора ГПП-110/10 кВ в системе электроснабжения механосборочного завода универсального типа, используется следующая пропорция по (14):

$$9,83 \text{ MВА} = 100 \% .$$

$$S_{i.cm} = x \% .$$

Исходя из соотношения пропорции, определяется пропорциональная нагрузка ступеней типичного суточного графика нагрузок ГПП-110/10 кВ системе электроснабжения механосборочного завода универсального типа.

Для первой ступени суточного графика нагрузки силового трансформатора ГПП-110/10 кВ системе электроснабжения механосборочного завода универсального типа по (14):

$$S_{1ст.} = \frac{9,83 \cdot 30}{100} \approx 2,95 \text{ МВА.}$$

Для второй и третьей ступеней нагрузки силового трансформатора ГПП-110/10 кВ системе электроснабжения механосборочного завода универсального типа по (14):

$$S_{2,3ст.} = \frac{9,83 \cdot 60}{100} \approx 5,90 \text{ МВА.}$$

Осуществляется преобразование типичного суточного графика нагрузки силового трансформатора ГПП-110/10 кВ системе электроснабжения механосборочного завода универсального типа, в эквивалентный график нагрузки.

Для этой цели определяются коэффициенты нормальной нагрузки и допустимой перегрузки силового трансформатора, установленного на ГПП-110/10 кВ.

Значение коэффициента начальной нагрузки K_1 эквивалентного графика нагрузки силового трансформатора ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения механосборочного завода универсального типа, определяется так:

$$K_1 = \frac{1}{S_{ном}} \sqrt{\frac{S_1^2 \Delta t_1 + S_2^2 \Delta t_2 + \dots + S_m^2 \Delta t_m}{\Delta t_1 + \Delta t_2 + \dots + \Delta t_m}}, o.e. \quad (16)$$

По условию (16) для силового трансформатора ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения механосборочного завода универсального типа:

$$K_1 = \frac{1}{16} \sqrt{\frac{2,95^2 \cdot 4 + 5,9^2 \cdot 4 + 5,9^2 \cdot 8}{16}} \approx 0,33.$$

Таким образом, систематическая нагрузка силового трансформатора, установленного на ГПП-110/10 кВ, составит 33 % (5,28 МВА).

Значение расчётного коэффициента допустимой аварийной перегрузки K'_2 эквивалентного графика нагрузки силового трансформатора ГПП-110/10 кВ в системе электроснабжения механосборочного завода универсального типа определяется, исходя из условия:

$$K'_2 = \frac{1}{S_{ном}} \sqrt{\frac{(S'_1)^2 \Delta h_1 + (S'_2)^2 \Delta h_2 + \dots + (S'_p)^2 \Delta h_p}{\Delta h_1 + \Delta h_2 + \dots + \Delta h_p}}, \text{ о.е.} \quad (17)$$

По условию (17) для силового трансформатора ГПП-110/10 кВ в системе электроснабжения механосборочного завода универсального типа:

$$K'_2 = \frac{1}{16} \sqrt{\frac{9,83^2 \cdot 8}{8}} \approx 0,61.$$

Таким образом, в режиме максимальных перегрузок, загрузка выбранного типа трансформатора ГПП-110/10 кВ составит 61% (9,76 МВА).

Все полученные числовые значения эквивалентного графика нагрузки силового трансформатора ГПП-110/10 кВ в системе электроснабжения механосборочного завода универсального типа, включая значения расчётных коэффициентов нормальной нагрузки K_1 и допустимой перегрузки K_2 , показаны на рисунке 5.

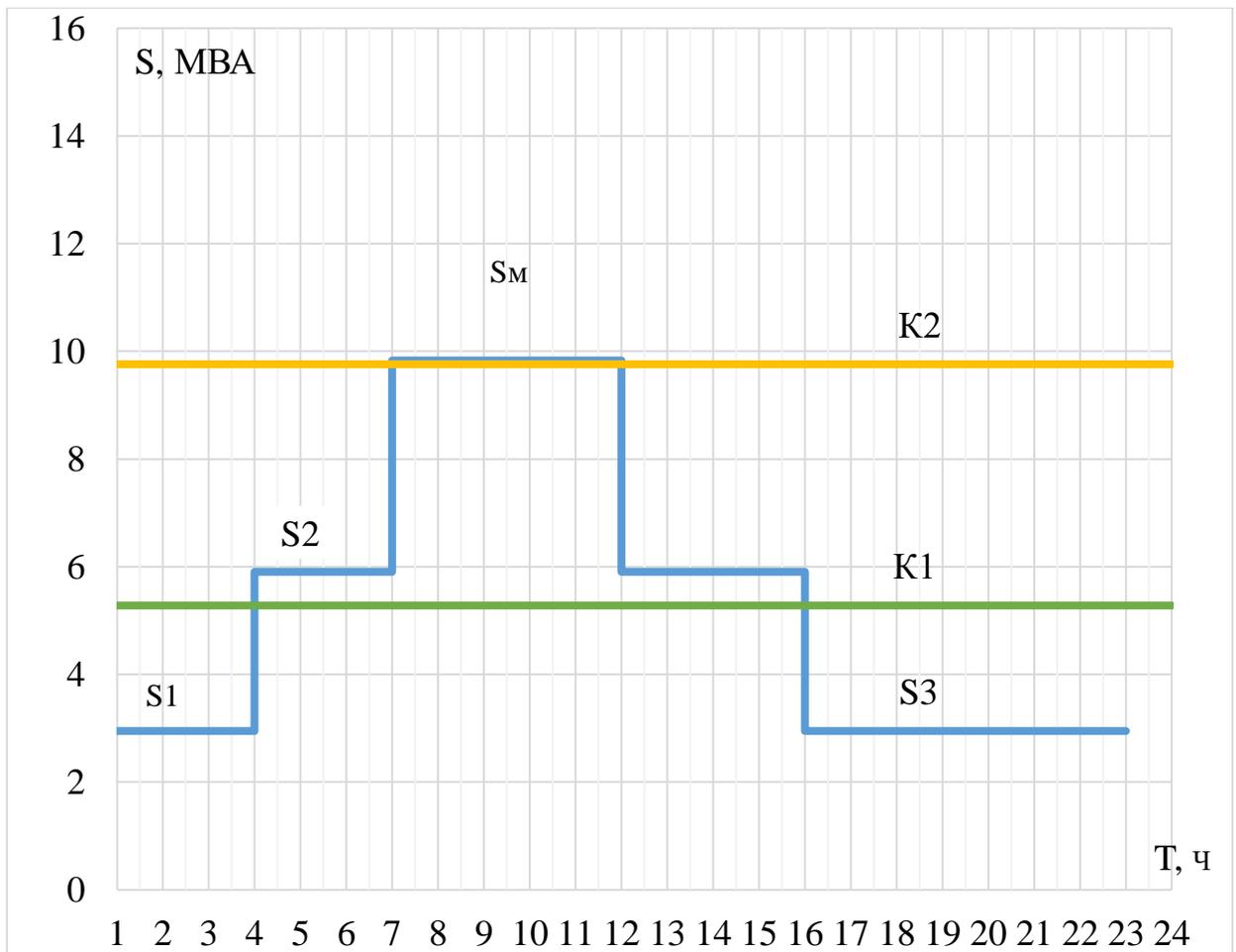


Рисунок 5 – Значения эквивалентного графика нагрузки силового трансформатора ГПП-110/10 кВ в системе электроснабжения механосборочного завода универсального типа

«Для допустимых аварийных перегрузок силового трансформатора при системе охлаждения типа Д, $\theta_{охл} = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$, $K_1 = 0,33$, $h = 8\text{ ч}$ [12] определяется $K_{2\text{дон}} \approx 1,25$, что превышает значение расчётного коэффициента фактической перегрузки» [17] силового трансформатора $K_2 = 0,66$.

Условие проверки соблюдается.

Проверка условия (13) для силовых трансформаторов подстанции ГПП-110/10 кВ в системе электроснабжения механосборочного завода универсального типа:

$$S_{\max} = 9,83\text{ МВА} \leq 16 \cdot 1,25 = 20\text{ МВА}.$$

Условие проверки соблюдается.

Следовательно, оба однотипных силовых трансформатора марки ТДН-16000/110, рекомендуемые к установке на ГПП-110/10 кВ в системе электроснабжения механосборочного завода универсального типа, «удовлетворяют условиям всех требуемых проверок, согласно данным суточного графика нагрузки подстанции» [6].

Таким образом, они окончательно принимаются в работе.

2.4 Выбор и проверка трансформаторов цеховых подстанций с учётом компенсации реактивной нагрузки

«Номинальная полная «мощность силовых трансформаторов для установки на цеховых ТП-10/0,4 кВ» [12]:

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{\sum P_{\text{р.}}}{N\beta_{\text{т}}}, \quad (18)$$

где « $S_{\text{ном.т.р}}$ – расчетная мощность силового трансформатора, кВА» [12];

« $\sum P_{\text{р.}}$ – активная нагрузка объектов, питающихся от ЦТП, кВт» [12];

« N – количество трансформаторов цеховой ТП, шт.» [12].

С учётом неравномерности распределения нагрузки на территории предприятия, в работе предлагается:

- выбрать все цеховые ТП-10/0,4 кВ двухтрансформаторными, что значительно упростит подключение всех потребителей и уменьшит количество подстанций и промежуточных звеньев;
- в первую очередь, предусмотреть питание потребителей I и II категорий надёжности от каждой цеховой ТП-10/0,4 кВ двумя линиями от разных трансформаторов, потребители III категории подключать к существующим ТП-10/0,4 кВ с учётом близости и максимальной допустимой нагрузки на трансформаторы подстанций.

С учётом приведённых предложений, в работе принимается к установке восемь цеховых ТП-10/0,4 кВ.

«По условию (18)» [3]:

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{1788,7}{2 \cdot 0,7} = 1277,6 \text{ кВА.}$$

«На цеховой ТП-1 приняты два силовых трансформатора марки ТМЗ-1250/10» [12]. «Выбор остальных трансформаторов цеховых ТП-10/0,4 кВ проведён аналогично и результаты приведены в таблице 3» [16].

Таблица 3 – Выбор числа и мощности трансформаторов на цеховых ТП-10/0,4 кВ внутренней СЭС механосборочного завода универсального типа

№ ТП	n×S _{ном} , кВА	Номер цеха, по плану	S _{рΣ} , кВА	Категория надёжности
ТП № 1	2×1250	1	1788,7	III
		2		III
		3		I
ТП № 2	2×630	4	1028,7	I
ТП № 3	2×1250	5	1944,9	I
		7		II
		8		II
ТП № 4	2×1000	9	1274,2	I
ТП № 5	2×1600	6	2760	I
ТП № 6	2×2500	12	4446,1	I
		14		III
		15		III
		16		III
ТП № 7	2×3200	10	5774,9	I
ТП № 8	2×1600	11	2868,2	II
		13		II
		17		III
		18		III
		19		III
		20		II

При выборе силовых трансформаторов цеховых ТП-10/0,4 кВ, следует также провести проверку целесообразности компенсации реактивной

составляющей мощности в электрической сети, которую питают трансформаторы ЦТП.

Проверка начинается с определения целесообразной реактивной мощности через ЦТП и проводится по следующему условию:

$$Q_{\max,m} = \sqrt{(N_{\text{отт}} \beta_{\text{норм},m} S_{\text{ном}})^2 - P_{\text{см}}^2}. \quad (19)$$

На всех ЦТП-10/0,4 кВ проектируемой системы электроснабжения механосборочного завода универсального типа, устанавливаются компенсирующие батареи конденсаторов с напряжением 0,4 кВ. Их реактивная мощность определяется так:

$$Q_{\text{НБК}} = Q_p - Q_{\max,m}. \quad (20)$$

Для трансформаторов, предварительно выбранных для установки на цеховой ТП-1:

$$Q_{\max,m} = \sqrt{(2 \cdot 0,8 \cdot 1250)^2 - 1317,9^2} = 1504,4 \text{ квар.}$$

$$Q_{\text{НБК}} = 1232,2 - 1504,4 = -172,2 \text{ квар.}$$

Величина реактивной мощности батарей конденсаторов для установки на цеховой ТП-1 меньше нуля, значит, на шинах 0,4 кВ ТП-1 компенсирующие устройства устанавливать не нужно.

На других ЦТП внутренней СЭС механосборочного завода универсального типа выбор силовых трансформаторов с учётом компенсации реактивной составляющей нагрузки аналогичен (таблица 4).

Таблица 4 – Выбор компенсации реактивной составляющей нагрузки на шинах 0,4 кВ цеховых ТП-10/0,4 кВ

ТП	$P_{р.ц},$ кВт	$S_{ном.тп},$ кВА	$Q_T,$ кВАр	$Q_{р.т},$ кВАр	$Q_{н.к},$ кВАр	Типономинал КУ	$n \times Q_{КУ},$ <i>шт</i> \times <i>квар</i>
ТП1	1317,9	2×1250	1504,4	1232,2	-172,2	-	-
ТП2	794,4	2×630	620,5	673,3	52,8	УКРП-0,4-25-20УЗ	2 × 25
ТП3	1533,7	2×1250	1283,7	1301,7	18	-	-
ТП4	977,6	2×1000	1266,7	837,1	-429,6	-	-
ТП5	2123,6	2×1600	1429,7	1806,6	376,9	УКРП-0,4-150-20УЗ	2 × 150
ТП6	3414,2	2×2500	2084	2905,4	821,4	УКРП-0,4-400-20УЗ	2 × 400
ТП7	4469,5	2×3200	2497,6	3730,8	1233,2	УКРП-0,4-600-20УЗ	2 × 600
ТП8	2390,3	2×1600	916,6	1956,7	1040,1	УКРП-0,4-500-20УЗ	2 × 500
Всего					3545,9	-	2450

Выбранные в работе устройства компенсации реактивной составляющей нагрузки на шинах 0,4 кВ цеховых ТП-10/0,4 кВ, детально описаны в нормативной литературе [8]. Схема КУ для установки на цеховых ТП СЭС механосборочного завода универсального типа выбор силовых трансформаторов также приведена в материалах [6].

2.5 Расчёт токов короткого замыкания

В работе проводится расчёт значения максимального тока трёхфазного короткого замыкания на сборных шинах ГПП-110/10 кВ проектируемой внешней системы электроснабжения механосборочного завода универсального типа, по которому будут проверены на термическую и электродинамическую стойкость электрические аппараты и шинные конструкции, выбранные для установки в соответствующих распределительных устройствах ГПП-110/10 кВ и цеховых ТП-10/0,4 кВ.

Кроме того, по минимальным значениям тока КЗ на шинах всех РУ проектируемой внешней системы электроснабжения механосборочного завода универсального типа проверяются уставки релейной защиты на надёжность срабатывания. Для расчета токов КЗ на шинах проектируемой внешней системы электроснабжения механосборочного завода универсального типа, составляется схема замещения (рисунок 6) [14].

В исходной схеме представлены все три класса напряжения: 110 кВ, 10 кВ и 0,4 кВ.

Они преобразуются с помощью трансформаторов, показанных на данной схеме:

- T1 – трансформатор ГПП-110/10 кВ;
- T2 – трансформатор ЦТП-10/0,4 кВ.

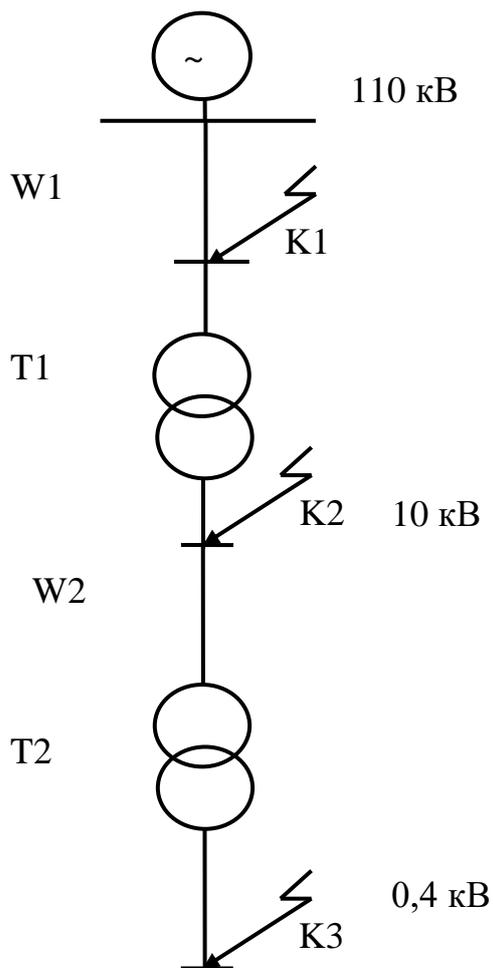


Рисунок 6 – Исходная расчётная схема для расчёта токов КЗ в системе электроснабжения механосборочного завода универсального типа

Для составления схемы замещения, каждый элемент замещается эквивалентным сопротивлением.

В сети выше 1 кВ, значение тока КЗ нужно рассчитать на выводах силового трансформатора ГПП (напряжения, соответственно, 110 кВ и 10

кВ), в сети 0,4 кВ – на выводах силового трансформатора ЦТП-10/0,4 кВ с низкой стороны.

Как правило, в сети напряжением выше 1 кВ решающее значение имеют индуктивные сопротивления элементов.

Значениями активных сопротивлений при расчёте токов КЗ в таком случае можно пренебречь [17].

Составляется исходная схема замещения по расчётной схеме электрической сети.

«Исходная схема замещения для расчёта токов КЗ в системе электроснабжения механосборочного завода универсального типа в работе представлена на рисунке 7» [19].

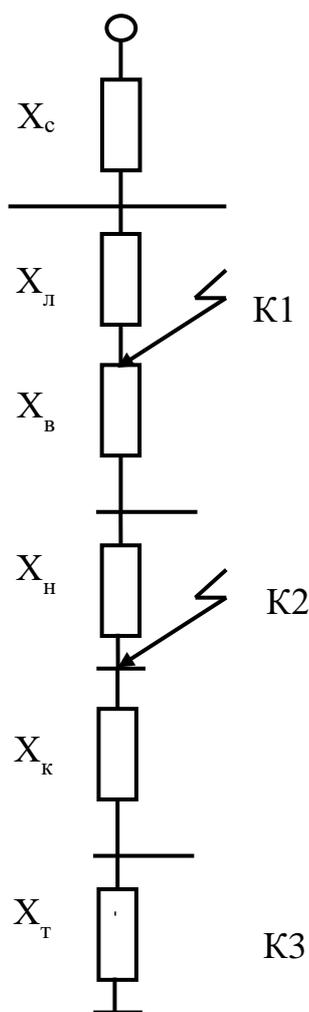


Рисунок 7 – Исходная схема замещения для расчёта токов КЗ в системе электроснабжения механосборочного завода универсального типа

В исходной схеме для расчёта токов КЗ необходимо учесть все основные элементы, которые влияют на результаты расчёта своими индуктивными сопротивлениями, которые необходимо учитывать в данных схемах в первую очередь [12].

В качестве основной базисной ступени для расчёта в работе выбирается ступень высшего напряжения – 110 кВ.

Вторая ступень 10 кВ и третья ступень 0,4 кВ, будут неосновными ступенями напряжения.

Базисная мощность принимается равной номинальной мощности силового трансформатора системы электроснабжения механосборочного завода универсального типа, оставшегося в работе в послеаварийном режиме (при этом второй трансформатор подстанции отключён, что отображено в расчётной схеме и схеме замещения, а также учтено при расчётах далее) [12]:

$$S_{\sigma} = 16000 \text{ кВА} = 16 \text{ МВА}.$$

Базисные напряжения для двух ступеней трансформации схемы (110 кВ и 10 кВ) системы электроснабжения механосборочного завода универсального типа, принимаются равными напряжениям на шинах ГПП в максимальном режиме работы. Они определены ниже с учётом данного факта.

Базисное напряжение для ступени напряжения 110 кВ (основная ступень):

$$U_{\sigma 1} = 115 \text{ кВ}.$$

Базисное напряжение для ступени напряжения 10 кВ (неосновная ступень):

$$U_{\delta 2} = 10,5 \text{ кВ.}$$

Базисное напряжение для ступени напряжения 0,38/0,22 кВ (неосновная ступень):

$$U_{\delta 3} = 0,4 \text{ кВ.}$$

Базисный ток на ступенях системы электроснабжения механосборочного завода универсального типа рассчитывается по известной формуле:

$$I_{\delta} = \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3}U_{\delta}}. \quad (21)$$

Базисный ток для всех ступеней трансформации схемы (110 кВ, 10 и 0,4 кВ) системы электроснабжения механосборочного завода универсального типа определён ниже по условию (21).

Базисный ток для ступени напряжения 110 кВ (основная ступень):

$$I_{\delta 1} = \frac{16}{\sqrt{3} \cdot 115} = 0,08 \text{ кА.}$$

Базисный ток для ступени напряжения 10 кВ (неосновная ступень):

$$I_{\delta 2} = \frac{16}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 0,88 \text{ кА.}$$

Базисный ток для ступени напряжения 0,38 кВ (неосновная ступень):

$$I_{\delta 3} = \frac{16}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 23,1 \text{ кА.}$$

Далее проводится расчёт параметров схемы замещения в системе электроснабжения механосборочного завода универсального типа в относительных единицах, с последующим приведением их к именованным.

Сопrotивление энергетической системы в работе определяется по формуле:

$$x_{c*} = \frac{S_{\delta}''}{S_{\kappa}}, \text{ о.е.}, \quad (22)$$

где S_{κ}'' - полная мощность трёхфазного КЗ на шинах энергосистемы.

По условию (22):

$$x_{c*} = \frac{16}{500} = 0,032 \text{ о.е.}$$

Сопrotивление питающей ВЛ-110 кВ системы электроснабжения механосборочного завода универсального типа с учётом её длины, в относительных единицах, при приведении к базисным условиям:

$$x_{l*} = x_0 \cdot L \cdot \frac{S_{\delta}}{U_{\delta}^2}, \text{ о.е.}, \quad (23)$$

где « x_0 - удельное индуктивное сопротивление ВЛ, Ом/км» [10];

« L - суммарная длина ВЛ, км» [15].

Согласно условия (33), индуктивное значение сопротивления для питающей ВЛ-110 кВ:

$$x_{*l} = 0,4 \cdot 20 \cdot \frac{10}{115^2} = 0,006 \text{ о.е.}$$

Аналогично для питающей КЛ-10 кВ (к ЦТП-1):

$$x_{*k} = 0,4 \cdot 1 \cdot \frac{10}{10^2} = 0,04 \text{ о.е.}$$

Далее проводится расчёт индуктивных сопротивлений силового трансформатора ГПП системы электроснабжения механосборочного завода универсального типа с учётом паспортных данных, в относительных единицах, при приведении к базисным условиям [12].

Для обмотки ВН (110 кВ) трансформатора, оставшегося в работе на ГПП механосборочного завода универсального типа:

$$X_{\epsilon} = \frac{0,125 \cdot U_{\text{квн}\%} S_{\epsilon}}{100 \cdot S_{\text{н.т.}}} \quad (24)$$

Согласно условия (24):

$$X_{\epsilon} = \frac{0,125 \cdot 10,5 \cdot 16}{100 \cdot 16} = 0,01 \text{ о.е.}$$

Для обмотки НН (10 кВ) трансформатора, оставшегося в работе на ГПП механосборочного завода универсального типа в результате ПАВ режима:

$$X_{\text{н}} = \frac{1,75 \cdot U_{\text{квн}\%} S_{\epsilon}}{100 \cdot S_{\text{н.т.}}} \quad (25)$$

Согласно условия (25):

$$X_n = \frac{1,75 \cdot 10,5 \cdot 16}{100 \cdot 16} = 0,18 \text{ o.e.}$$

Для трансформатора ЦТП-1 (2500 кВА), при приведении к базисным условиям:

$$X_m = \frac{1,75 \cdot 7,5 \cdot 10}{100 \cdot 2,5} = 0,525 \text{ o.e.}$$

«Начальное значение периодической составляющей тока трёхфазного КЗ, при приведении к базисным условиям, в именованных единицах» [12]:

$$I'' = \frac{E''}{x_{рез}^*} \cdot I_{б.} \quad (26)$$

Далее, исходя из определённых ранее индуктивных сопротивлений всех основных элементов схемы замещения, определяются результирующие (эквивалентные) сопротивления к каждой точке КЗ.

«Результирующее сопротивление к точке К1 в относительных расчётных единицах» [17]:

$$x_{рез}^* = x_c^* + x_l^*, \text{ o.e.}, \quad (27)$$

$$x_{рез}^* = 0,032 + 0,006 = 0,038 \text{ o.e.}$$

«Начальное значение периодической составляющей тока короткого замыкания в расчётной точке К1, при приведении к базисным условиям, в именованных единицах по (26)» [12]:

$$I''_{к1} = \frac{1}{0,038} \cdot 0,16 = 4,21 \text{ кА.}$$

«Результирующее сопротивление к точке К2 в относительных расчётных единицах» [1]:

$$x_{рез} = x_c + x_l + x_b + x_n, \text{ о.е.}, \quad (28)$$

* * * *

$$x_{рез} = 0,032 + 0,006 + 0,01 + 0,18 \approx 0,228 \text{ о.е.}$$

*

«Начальное значение периодической составляющей тока короткого замыкания в расчётной точке К2, при приведении к базисным условиям, в именованных единицах по (26)» [14]:

$$I''_{к2} = \frac{1}{0,228} \cdot 0,88 = 3,86 \text{ кА.}$$

«Результирующее сопротивление к точке К3 в относительных расчётных единицах» [17]:

$$x_{рез} = x_c + x_l + x_b + x_n + x_k + x_m, \text{ о.е.} \quad (29)$$

* * * * * *

«Согласно условия (29)» [17]:

$$x_{рез} = 0,032 + 0,006 + 0,01 + 0,18 + 0,04 + 0,525 \approx 0,993 \text{ о.е.}$$

*

«Начальное значение периодической составляющей тока короткого замыкания в расчётной точке К3, при приведении к базисным условиям, в именованных единицах по (26)» [10]:

$$I''_{к3} = \frac{1}{0,993} \cdot 23,1 = 23,24 \text{ кА.}$$

«Значение «ударного тока в расчётных точках схемы» [12] или начального значения апериодической составляющей тока КЗ в максимальном режиме» [8]:

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot k_{уд} \cdot I''_K, \text{ кА,} \quad (30)$$

где $k_{уд}$ – «ударный коэффициент» [12].

По условию (30) для расчётных точек схемы К1 и К2, значение ударных токов (начального значения апериодической составляющей тока КЗ) в именованных единицах:

– в точке К1:

$$i_{уд1} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 4,21 = 10,72 \text{ кА.}$$

– в точке К2:

$$i_{уд2} = \sqrt{2} \cdot 1,4 \cdot 3,86 = 7,64 \text{ кА.}$$

– в точке К3:

$$i_{уд3} = \sqrt{2} \cdot 1,1 \cdot 23,24 = 36,15 \text{ кА.}$$

Значение двухфазного тока КЗ, необходимое для определения надёжности РЗА:

$$I_{no(\min)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I''_K, \text{ кА.} \quad (31)$$

Значение двухфазного тока КЗ, необходимое для определения надёжности РЗиА, по условию (31):

– в точке К1:

$$I_{no(min)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 4,21 = 3,65 \text{ кА.}$$

– в точке К2:

$$I_{no(min)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 3,86 = 3,34 \text{ кА.}$$

– в точке К3:

$$I_{no(min)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 23,24 = 20,13 \text{ кА.}$$

Все полученные в работе результаты расчёта токов короткого замыкания в максимальном режиме на шинах 110 кВ, 10 кВ и 0,4 кВ в максимальном режиме работы системы электроснабжения механосборочного завода универсального типа, представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Результаты расчёта токов короткого замыкания на шинах 110 кВ и 10 кВ в максимальном режиме работы СЭС механосборочного завода универсального типа

Параметр	Расчётная точка КЗ		
	Точка К1	Точка К2	Точка К3
$I_K^{(3)}$, кА	4,21	3,86	23,24
$I_K^{(2)}$, кА	3,65	3,34	20,13
$K_{y\delta}$	1,8	1,4	1,1
$i_{y\delta}$, кА	10,72	7,64	36,15

Полученные в работе результаты расчёта токов КЗ используются для соответствующих проверок современного оборудования ГПП и ЦТП.

2.6 Выбор и проверка проводников системы электроснабжения

Все проводники в системе внешнего электроснабжения механосборочного завода универсального типа – класса напряжения выше 1 кВ. Поэтому методика выбора для них будет одинаковая.

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

$$S_p = \frac{I_p}{j_p}, \quad (32)$$

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

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

$$I_n = \frac{P_p}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ} \cdot \cos \varphi} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ}}, \quad (33)$$

где S_p – расчётная полная нагрузка линии, кВА.

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

$$I_a = 1,4 \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ}} = 1,4 \cdot I_n. \quad (34)$$

После выбора проводников воздушных и кабельных линий СЭС механосборочного завода универсального типа, необходимо провести их

проверку на работоспособность в нормальном и послеаварийном режимах работы.

«Проверка проводников воздушных и кабельных линий СЭС механосборочного завода универсального типа в нормальном режиме работы» [11]:

$$I_{доп} \geq I_p, \quad (35)$$

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

Проверка проводников воздушных и кабельных линий СЭС механосборочного завода универсального типа в послеаварийном режиме работы [11]:

$$I_{доп} \geq I_{p,max}, \quad (36)$$

где $I_{p,max}$ – 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).

Выполнение данного условия проверяется по следующему соотношению:

$$S_{ст} \geq S_{мин}, \text{ мм}^2. \quad (37)$$

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 СЭС механосборочного завода универсального типа.

Питание ГПП-110/10 кВ СЭС механосборочного завода универсального типа от источника питания, осуществляется двухцепной воздушной линией электропередачи с применением провода марки АС.

В работе, для большей надежности функционирования воздушных линий, для установки на новой питающей ВЛ-110 кВ, выбирается классический сталеалюминевый провод марки АС [7].

Ток нормального режима для питающей ВЛ-110 кВ ГПП-110/10 кВ СЭС механосборочного завода универсального типа, с учётом того, что на каждую цепь двухцепной линии приходится половина нагрузки и питание осуществляется от силового трансформатора мощностью 16 МВА:

$$I_p = \frac{16000}{\sqrt{3} \cdot 110} \approx 84 \text{ А.}$$

Ток послеаварийного режима для питающей ВЛ-110 кВ ГПП-110/10 кВ СЭС механосборочного завода универсального типа (по одной цепи линии проходит вся нагрузка ГПП):

$$I_{p.\max} = 1,4 \frac{16000}{\sqrt{3} \cdot 110} = 117,6 \text{ А.}$$

Расчётное сечение питающей ВЛ-110 кВ ГПП-110/10 кВ СЭС механосборочного завода универсального типа по условию экономической плотности тока:

$$S_9 = \frac{84}{1,1} = 76,4 \text{ мм}^2.$$

Из ряда стандартных наименьших значений сечения сталеалюминевых проводов марки АС, выбирается ближайшее стандартное сечение – 70 мм².

Согласно дальнейшей перспективе по развитию системы электроснабжения механосборочного завода универсального типа, выбирается для питающих ВЛ-110 кВ провод марки АС-70/11с сечением токоведущей жилы 95 мм² и допустимой токовой нагрузкой $I_{дон} = 265 \text{ А}$.

Проверка предварительно выбранного провода марки АС-70/11 для воздушной линии 110 кВ по току нормального режима:

$$265 \text{ А} \geq 84 \text{ А}.$$

Условия проверки выполняются.

Проверка предварительно выбранного провода марки АС-70/11 для воздушной линии 110 кВ по максимальному рабочему току ПАВ режима:

$$265 \text{ А} \geq 117,6 \text{ А}.$$

Условие проверки выполняется.

«Проверка по условию механической прочности провода» [20]:

$$70 \text{ мм}^2 = 70 \text{ мм}^2.$$

Окончательно для применения на питающей ВЛ-110 кВ, в работе выбран современный провод марки АС-70/11с сечением токоведущей жилы – 70 мм² и допустимой токовой нагрузкой $I_{дон} = 265 \text{ А}$.

«По аналогичной методике выбора и проверки проводу питающей ВЛ-110 кВ, в работе проведён выбор кабельных линий напряжением 10 кВ, питающих цеховые ТП-10/0,4 кВ (таблица 6)» [6].

Таблица 6 – Результаты выбора кабельных линий 10 кВ системы электроснабжения механосборочного завода универсального типа

Назначение	n , шт.	I_p, A	$I_{p.max.}, A$	$F_{э}, мм^2$	Марка силового кабеля линии	$I_{дон}, A$	$\Delta U, \%$
ТП-1	2	52,1	104,2	37,2	АСБ-10 (3×50)	140	2,1
ТП-2	2	30,1	60,2	21,5	АСБ-10 (3×25)	90	3,8
ТП-3	2	58,1	116,2	41,5	АСБ-10 (3×50)	140	1,4
ТП-4	2	37,2	74,4	26,6	АСБ-10 (3×35)	115	2,0
ТП-5	2	80,5	161,0	57,5	АСБ-10 (3×70)	165	1,7
ТП-6	2	129,4	258,8	92,4	АСБ-10 (3×95)	205	3,2
ТП-7	2	168,0	336,0	120,0	АСБ-10 (3×120)	240	3,7
ТП-8	2	89,2	178,4	63,7	АСБ-10 (3×70)	165	1,9
Насосная (АД-10 кВ)	2	53,5	107,0	38,2	АСБ-10 (3×50)	140	2,2
Компрессорная (АД-10 кВ)	2	75,4	150,8	53,9	АСБ-10 (3×70)	165	2,3

Выбор ошиновки для применения в ОРУ-110 кВ и ЗРУ-10 кВ ГПП СЭС механосборочного завода универсального типа осуществляется по значению максимального рабочего тока с последующей проверкой по минимально-допустимому сечению (режим КЗ).

В работе применяется для ОРУ-110 кВ гибкая ошиновка с применением ранее выбранного провода питающей ВЛ-110 кВ марки АС-70/11.

Для закрытого типа РУ-10 кВ применяется жёсткая ошиновка, выполненная современными изолированными коробчатыми шинами прямоугольного типа марки Аи.

Результаты выбора и проверки ошиновки для установки в соответствующих РУ ГПП механосборочного завода универсального типа представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Результаты выбора и проверки ошиновки для применения в ОРУ-110 кВ и РУ-10 кВ ГПП СЭС механосборочного завода универсального типа

Наименование РУ ГПП	Тип/марка ошиновки	Длительный режим		Проверка по режиму КЗ
		$I_n \geq I_{p,max}$, А	Сечение q_n , мм ²	$q_n \geq q_{min}$, мм ²
ОРУ – 110 кВ	Гибкая/АС – 70/11	$70 \geq 117,6$	70	$70 \geq 50$
ЗРУ – 10 кВ	Жёсткая/Аи-80×10	$1520 \geq 1294,8$	800	$800 \geq 200$

Все выбранные проводники 110 кВ и 10 кВ для применения в СЭС механосборочного завода универсального типа, удовлетворяют условиям выбора и нормативных требуемых проверок [18].

2.7 Выбор основного электрооборудования и его проверка

Одним из важнейших мероприятий по проектированию системы электроснабжения механосборочного завода универсального типа, является выбор нового оборудования для установки в распределительных устройствах высокого напряжения на ГПП-110/10 кВ.

РУ-10 кВ ЦТП-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 они 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.

Известно, что выбор выключателей высокого напряжения производится, исходя из следующих условий двух основных условий [18]:

- по номинальному напряжению:

$$U_{уст} \leq U_n. \quad (38)$$

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

- по максимальному рабочему току:

$$I_{раб.макс} \leq I_n. \quad (39)$$

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

Проверка выключателя предполагает выполнение следующих обязательных условий [18]:

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

$$I_{пт} \leq I_{откн}. \quad (40)$$

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

« $I_{откн.н}$ – номинальный ток отключения выбранного выключателя, кА (параметр завода-изготовителя)» [18];

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

$$(\sqrt{2} \cdot I_{пт} + i_{ат}) \leq \sqrt{2} \cdot I_{откн.н} (1 + \beta_n), \quad (41)$$

где « $i_{ат}$ – значение аperiodической составляющей тока короткого замыкания в момент расхождения контактов» [7];

« β_n – номинальное значение относительного содержания аperiodической составляющей в отключаемом токе КЗ» [7];

« τ – наименьшее время от начала короткого замыкания до момента расхождения дугогасительных контактов, определяется так» [7]:

$$t = t_{з.мин} + t_{с.в}, \quad (42)$$

где « $t_{з.мин}$ – минимальное время действия релейной защиты, с» [7];

« $t_{с.в}$ – собственное время отключения выключателя, с» [7];

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

$$i_y \leq i_{np.c}, \quad (43)$$

где « $i_{np.c}$ – 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]:

$$B_k \leq I_T^2 t_T, \quad (44)$$

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 термической устойчивости, с» [18].

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

$$B_k = I_k^2 (t_{отк} + T_a). \quad (45)$$

Исходя из расположения в схеме ГПП-110/10 кВ СЭС механосборочного завода универсального типа, высоковольтные выключатели напряжением 110 кВ и 10 кВ подразделяются на следующие типы:

- высоковольтные выключатели ввода (вводные высоковольтные выключатели) – служат для приёма электроэнергии от энергосистемы с последующей её передачей на два силовых трансформатора подстанции (сеть 110 кВ), а также приёма и передачи электроэнергии от силового трансформатора на напряжении 10 кВ, в распределительную сеть РУ-10 кВ (сеть 10 кВ);
- высоковольтный выключатель секционного соединения (секционный выключатель) – необходим для обеспечения резервирования в схеме

РУ-10 кВ на ГПП-110/10 кВ, автоматически включая питание оборудования от второй системы сборных шин 10 кВ;

- высоковольтные выключатели отходящих линий (линейные выключатели) – необходимы для обеспечения защиты и коммутации отходящих линий 10 кВ.

Исходя из этого, необходимо учесть расположение выключателей в схеме, так как параметры сети в различных узлах ГПП-110/10 кВ СЭС механосборочного завода универсального типа будут также различными.

Предварительно принимается для установки на объекте проектирования выключатели высокого напряжения новых образцов и модификаций следующих марок:

- в РУ-110 кВ – выключатели марки ВРС-110-31,5 УХЛ1;
- в РУ-10 кВ – выключатели марки ВВ/TEL-10-20-1600-У2-48 (вводные) и ВВ/TEL-10-20-630-У2-48 (линейные).

Выбор и проверка высоковольтных выключателей для установки во всех распределительных устройствах ГПП-110/10 кВ СЭС механосборочного завода универсального типа, проводится по приведённым выше условиям (таблица 8). Выключатели 10 кВ выбраны в таблице 9.

Также проводится выбор разъединителей для установки в РУ-110 кВ ГПП-110/10 кВ СЭС механосборочного завода универсального типа.

Разъединитель – это аппарат для обеспечения видимого разрыва с целью безопасного проведения работ в электроустановках.

В работе для установки в сети 110 кВ на ГПП-110/10 кВ СЭС механосборочного завода универсального типа выбираются современные разъединители. Так как разъединители не отключают цепь под нагрузкой, они, в отличие от выключателей высокого напряжения, не проверяются на коммутационную способность при отключении токов КЗ согласно [12].

В ячейках КРУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ СЭС механосборочного завода универсального типа разъединители не устанавливаются, их заменяют втычные контакты.

Также необходимо выбрать новые трансформаторы тока и напряжения (измерительные трансформаторы) для их непосредственной установки на ГПП-110/10 кВ СЭС механосборочного завода универсального типа.

Выбор новых измерительных трансформаторов тока и напряжения в работе чрезвычайно важна, так они питают приборы учёта, контроля и управления электроэнергией, а также цепи релейной защиты, автоматики, сигнализации и телеметрии.

Известно, что выбор и проверка измерительных трансформаторов осуществляется по номинальному напряжению, максимальному рабочему току и допустимой мощности питания вторичных цепей (установленная вторичная мощность)

Результаты выбора и проверки новых трансформаторов напряжения для установки в ОРУ-10 кВ и ЗРУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ СЭС внешнего снабжения механосборочного завода универсального типа, представлены, соответственно, в таблицах 8 и 9.

Таблица 8 – Результаты выбора и проверки основного электрооборудования высокого напряжения для установки в РУ-110 кВ ГПП-110/10 кВ СЭС механосборочного завода универсального типа

Условия выбора	Расчетные данные сети	Выбранные аппараты			
		Разъединитель РГ-110/1000	Выключатель ВРС-110-31,5	Трансформатор тока ТОГФ-110	Трансформатор напряжения НКФ-110
$U_{\text{сном}} \leq U_{\text{ном}}$	$U_{\text{сном}} = 110 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} = 110 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} = 110 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} = 110 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} = 110 \text{ кВ}$
$I_{\text{расч}} \leq I_{\text{ном}}$	$I_{\text{расч}} = 117,6 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 1000 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 1000 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 1000 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 1000 \text{ А}$
$I_{\text{к}} \leq I_{\text{откл}}$	$I_{\text{к}} = 4,21 \text{ кА}$	-	$I_{\text{откл}} = 40 \text{ кА}$	-	-
$i_{\text{у}} \leq i_{\text{дин}}$	$i_{\text{уд}} = 10,72 \text{ кА}$	$i_{\text{дин}} = 63 \text{ кА}$	$i_{\text{дин}} = 31,5 \text{ кА}$	$i_{\text{дин}} = 63 \text{ кА}$	$i_{\text{дин}} = 31,5 \text{ кА}$
$B_{\text{к}} \leq I_{\text{нр}}^2 \cdot t_{\text{м}}$	$B_{\text{к}} = 85,8 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{\text{нр}}^2 \cdot t_{\text{м}} = 1875 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{\text{нр}}^2 \cdot t_{\text{м}} = 468,75 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{\text{нр}}^2 \cdot t_{\text{м}} = 1875 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{\text{нр}}^2 \cdot t_{\text{м}} = 468,75 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$
$P_{\text{расч}} \leq P_{\text{ном}}$	$P_{\text{расч}} = 12,0 \text{ кВА}$	-	-	$P_{\text{ном}} = 40 \text{ кВА}$	$P_{\text{ном}} = 64 \text{ кВА}$

Таблица 9 – Результаты выбора и проверки основного электрооборудования высокого напряжения для установки в РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ СЭС механосборочного завода универсального типа

Условия выбора	Расчетные данные сети	Выключатель ВВЭ-М-10-20	Выключатель нагрузки ВНА-10/16000	Трансформатор тока ТПЛ-Э-12
$U_{\text{сном}} \leq U_{\text{ном}}$	$U_{\text{сном}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$
$I_{\text{расч}} \leq I_{\text{ном}}$	$I_{\text{расч}} = 924,8 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 1000 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 1600 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 2500 \text{ А}$
$I_{\text{кп}} \leq I_{\text{пр.с}}$	$I_{\text{кп}} = 3,86 \text{ кА}$	$I_{\text{пр.с}} = 20 \text{ кА}$	$I_{\text{пр.с}} = 20 \text{ кА}$	$I_{\text{пр.с}} = 20 \text{ кА}$
$I_{\text{к}} \leq I_{\text{откл}}$	$I_{\text{к}} = 3,86 \text{ кА}$	$I_{\text{откл}} = 40 \text{ кА}$	-	-
$i_{\text{у}} \leq i_{\text{дин}}$	$i_{\text{у}} = 7,64 \text{ кА}$	$i_{\text{дин}} = 52 \text{ кА}$	$i_{\text{дин}} = 30 \text{ кА}$	$i_{\text{дин}} = 50 \text{ кА}$
$I_{\text{пт}} \leq I_{\text{откл.ном}}$	$I_{\text{пт}} = 2,48 \text{ кА}$	$I_{\text{откл.ном}} = 20 \text{ кА}$	$I_{\text{откл.ном}} = 20 \text{ кА}$	$I_{\text{откл.ном}} = 40 \text{ кА}$
$P_{\text{расч}} \leq P_{\text{ном}}$	$P_{\text{расч}} = 12,0 \text{ кВА}$	-	-	$P_{\text{ном}} = 16 \text{ кВА}$

Всё новое выбранное оборудование распределительных устройств ГПП-110/10 кВ СЭС механосборочного завода универсального типа удовлетворяет всем требуемым условиям и принимается для установки на объекте.

2.8 Выбор устройств релейной защиты и автоматики

Известно, что устаревшее и изношенное оборудование электромеханической релейной защиты не обеспечивает требуемый уровень защит элементов ГПП-110/10 кВ и отходящих линий СЭС механосборочного завода универсального типа [12]. Требуется обеспечить микропроцессорную РЗ на основе специализированных терминалов, имеющую надлежащий уровень быстрействия, надежности и селективности.

Сравнительная техническая характеристика современных терминалов РЗ силовых трансформаторов приведена в таблице 10.

Таблица 10 – Сравнительная техническая характеристика терминалов релейной защиты

Сравнительные величины	Сириус-Т	БМРЗ-153-УЗТ	RET 521
Назначение	Защита силовых трансформаторов		
Интерфейсы связи	2xRS-485, 2xEthernet RJ45	RS-485, Ethernet RJ45	RS-485, Ethernet RJ45
Емкость памяти архива событий, Мб	1000	512	512
Емкость памяти архива срабатываний, Мб	75	25	25
Потребляемая мощность, Вт, не более	25	30	28
Масса не более, кг	7	7,8	7,4

Выбираются терминалы Сириус-Т производства ЗАО «Радиус-Автоматика», внешний вид показан на рисунке 8.



Рисунок 8 – Внешний вид терминала Сириус-Т

Функции защиты терминала Сириус-Т:

- двухступенчатая дифференциальная токовая защита (ДТЗ);
- цифровое выравнивание параметров фазы токов плечей ДТЗ;
- компенсация токов небаланса от РПН;
- контроль небаланса в плечах ДТЗ;
- возможность подключения газового реле и устройства РПН;
- ненаправленная двухступенчатая максимальная токовая защита (МТЗ) и токовая отсечка (ТО) со стороны ВН;
- цифровая сборка токовых цепей ВН в треугольник;

- программная блокировка защит по гармоникам;
- защита от перегрузки.

Схема РЗ силовых трансформаторов ГПП-110/10 кВ показана в графической части.

Газовая защита трансформатора выполняется на газовом реле bf-80/q. Газовое реле предназначено для контроля состояния масла в баке, который производится путем анализа наличия выделяющихся при разложении масла (например, при перегреве) различных газов. Своевременное выявление газообразования в баке трансформатора позволяет предотвратить критические повреждения обмоток и других элементов, исключить опасность для персонала ТП.

Предусмотренные виды защит силовых трансформаторов и токи, выставляемые в блоках защиты, приведены в таблице 11.

Таблица 11 – Предусмотренные виды защит силовых трансформаторов и токи, выставляемые в блоках защиты

Тип защиты	Назначение	Токи, выставляемые в блоках защиты
Дифференциальная защита	Основная защита	$I''=4,21$ кА (трехфазный ток КЗ, ввод ВН) $I''=3,86$ кА (трехфазный ток КЗ, ввод НН)
Максимальная токовая защита (МТЗ)	Резервная защита	$I''=3,86$ кА (трехфазный ток КЗ, ввод НН)
Токовая отсечка (ТО)	Резервная защита	$I''=3,86$ кА (трехфазный ток КЗ, ввод НН)
Защита от перегрузки	Основная защита	$I_{ном}=117,6$ А (номинальный ток трансформатора, ввод ВН)
Газовая защита	Резервная защита	-

Релейная защита отходящих линий также выполняется на современных микропроцессорных терминалах. Сравнительная техническая характеристика некоторых современных терминалов РЗ отходящих линий приведена в таблице 12.

Таблица 12 - Сравнительная техническая характеристика терминалов релейной защиты отходящих линий 10 кВ

Сравнительные величины	Сириус-2Л-02	БМРЗ-101-Д-КЛ-01	ТОР 200 Л
Назначение	Универсальный, защита любых присоединений	Защита КЛ	Защита КЛ и ВЛ
Сравнительные величины	Сириус-2Л-02	БМРЗ-101-Д-КЛ-01	ТОР 200 Л
Интерфейсы связи	2xRS-485, 2xEthernet RJ45	RS-485, Ethernet RJ45	RS-485
Ёмкость памяти архива событий, Мб	1000	512	512
Ёмкость памяти архива срабатываний, Мб	50	25	25
Потребляемая мощность, Вт, не более	25	32	30
Масса не более, кг	7	7,4	7,6

Выбираются терминалы Сириус-2Л-02 производства ЗАО «Радиус-Автоматика», внешний вид показан на рисунке 9.



Рисунок 9 – Внешний вид терминала Сириус-2Л-02

Функции защиты терминала Сириус-2Л-02:

- дуговая защита;
- МТЗ;
- ТО;

- от обрыва фазы;
- от замыканий на землю (ЗНЗ);
- защита минимального напряжения;
- защита от повышения напряжения;
- возможность подключения газового реле;
- автоматическая частотная разгрузка;
- частотное автоматическое включение;
- контроль наличия напряжения;
- автоматика управления выключателем;
- автоматическое повторное включение линий;
- определение расстояния до места повреждения в линии.

Предусмотренные виды защит отходящих линий 10 кВ и 110 кВ и токи, выставяемые в блоках защиты, приведены в таблице 13.

Таблица 13 – Предусмотренные виды защит отходящих линий 10 кВ и питающей линии 110 кВ, а также токи, выставяемые в блоках защиты

Тип защиты	Назначение	Токи, выставяемые в блоках защиты
Отходящие линии 10 кВ		
Максимальная токовая защита (МТЗ)	Основная защита	$I''=3,86$ кА (трехфазный ток КЗ, фидеры НН) $I^{(2)}=3,34$ кА двухфазный ток КЗ, фидеры НН)
Токовая отсечка (ТО)	Резервная защита	$I''=3,86$ кА (трехфазный ток КЗ, фидеры НН) $I^{(2)}=3,34$ кА двухфазный ток КЗ, фидеры НН)
Защита от замыканий на землю (ЗНЗ)	Резервная защита	$I^{(1)}=2,58$ кА (однофазный ток КЗ, фидеры НН)
Питающая линия 110 кВ		
Максимальная токовая защита (МТЗ)	Основная защита	$I''=4,21$ кА (трехфазный ток КЗ, линия ВН) $I^{(2)}=3,65$ кА двухфазный ток КЗ, линия ВН)
Токовая отсечка (ТО)	Резервная защита	$I''=4,21$ кА (трехфазный ток КЗ, линия ВН) $I^{(2)}=3,65$ кА двухфазный ток КЗ, линия ВН)
Защита от замыканий на землю (ЗНЗ)	Резервная защита	$I^{(1)}=3,12$ кА (однофазный ток КЗ, фидеры НН)

Выводы по разделу.

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

Обосновано, что для обеспечения питания внешней системы электроснабжения механосборочного завода универсального типа, в работе необходимо применять главную понизительную подстанцию с высшим классом напряжения 110 кВ и низшим классом напряжения 10 кВ с установкой двух силовых трансформаторов.

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

- для применения в РУ-110 кВ питающей ГПП, принимается наиболее рациональная схема «Два блока с выключателями и неавтоматической переемычкой 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 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».

Рассчитаны электрические нагрузки и токи короткого замыкания в максимальном режиме работы системы электроснабжения механосборочного завода универсального типа. На основании полученных результатов, установлено, что для питания проектируемой внешней системы электроснабжения механосборочного завода универсального типа, на ГПП-110/10 кВ объекта проектирования целесообразно установить два силовых трансформатора номинальной мощностью 16000 кВА каждый (марки ТДН-16000/110). Выбраны и проверены номинальные мощности трансформаторов цеховых ТП-10/0,4 кВ внутренней СЭС механосборочного завода универсального типа (всего предусмотрено восемь ЦТП).

Согласно дальнейшей перспективе по развитию системы электроснабжения механосборочного завода универсального типа, для питающих ВЛ-110 кВ принята марка провода АС-70/11с сечением токоведущей жилы 70 мм² и допустимой токовой нагрузкой $I_{дон} = 265$ А.

Для питания ЦТП от РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ, выбраны и проверены сечения всех кабельных линий с использованием марки кабелей современного типа АСБ-10. Выбрана и проверена ошиновка для применения в РУ-110 кВ и РУ-10 кВ на ГПП СЭС механосборочного завода универсального типа: для применения в ОРУ-110 кВ выбрана гибкая ошиновка из проводов марки АС-70/11, для РУ-10 кВ закрытого типа – жёсткая ошиновка марки Аи-80×10.

Выбраны новые современные электрические аппараты для установки в РУ-110 кВ и РУ-10 кВ ГПП системы электроснабжения механосборочного завода универсального типа:

- в ОРУ-110 кВ: разъединители РГ-110/1000, выключатели ВРС-110-31,5, трансформаторы тока ТОГФ-110, трансформаторы напряжения НКФ-110;
- в РУ-10 кВ: выключатели ВВЭ-М-10-20, выключатели нагрузки ВНА-10/16000 (для установки в РУ-10 кВ ЦТП), трансформаторы тока ТПЛ-Э-12.

Выбраны современные терминалы релейной защиты силовых трансформаторов, а также питающей линии 110 кВ и отходящих линий 10 кВ схемы ЭС завода.

Все выбранные и проверенные в работе аппараты соответствуют требуемым техническим нормативам и могут быть окончательно рекомендованы для установки в соответствующих распределительных устройствах СЭС механосборочного завода универсального типа.

3 Расчёт заземления и молниезащиты

Далее в работе необходимо провести расчёт молниезащиты ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения механосборочного завода универсального типа.

Молниезащита рассчитывается для применения на ГПП-110/10 кВ с целью защиты данного объекта от прямых ударов молнии, приводящим к атмосферным перенапряжениям и, как следствие, авариям в сети и на основном оборудовании. Для молниезащиты ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения механосборочного завода универсального типа принимается четыре стержневых молниеотвода, установленные по периметру понизительной подстанции.

Радиус окружности защиты, образуемые четырьмя вертикальными молниеотводами, определяется по известному выражению [17]:

$$r_X = h_a \cdot \left[1,6 / \left(1 + (h_X / h) \cdot p \right) \right]. \quad (46)$$

$$h_a = h - h_X. \quad (47)$$

Ширина зоны защиты, образуемые четырьмя вертикальными молниеотводами [17]:

$$b_X = 4 \cdot r_X \cdot \left[(7 \cdot h_a - a) / (14 \cdot h_a - a) \right], \quad (48)$$

где a – фактическое расстояние между молниеотводами, м.

Для проектируемой молниезащиты также должно соблюдаться условие проверки на минимальную защищаемую зону, образуемую четырьмя вертикальными молниеотводами [17]:

$$D \leq 8 \cdot h_a \cdot p, \quad (49)$$

где D – наибольшая диагональ четырёхугольника, м.

Зона защиты четырёх вертикальных молниеотводов спроектированной молниезащиты ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения механосборочного завода универсального типа, включая радиус круга защиты, а также расстояние по длине, ширине и высоте защиты, определяется по приведённым выше условиям:

$$r_X = (19 - 11) \cdot \left[1,6 / \left(1 + (11/19) \cdot 1 \right) \right] = 8,11 \text{ м.}$$

$$b_X^I = 4 \cdot 8,11 \cdot \left[(7 \cdot 8 - 21) / (14 \cdot 8 - 21) \right] = 12,48 \text{ м.}$$

$$b_X^{II} / 2 = 2,96 \text{ м.}$$

$$b_X^I / 2 = 6,24 \text{ м.}$$

$$b_X^{II} = 4 \cdot 8,11 \cdot \left[(7 \cdot 8 - 43,5) / (14 \cdot 8 - 43,5) \right] = 5,92 \text{ м.}$$

$$D_1 \leq 8 \cdot 8 \cdot 1 = 64 \text{ м.}$$

$$D_1 = \sqrt{21^2 + 43,5^2} = 48,3 \leq 64 \text{ м.}$$

Таким образом, в работе осуществлён расчёт молниезащиты основных объектов данной главной понизительной подстанции 110/10 кВ системы внешнего электроснабжения механосборочного завода универсального типа с применением основных четырёх вертикальных молниеотводов, способных обеспечить защиту объектов подстанции от прямых ударов молнии и отвести возникшее атмосферное перенапряжение через заземление в грунт.

Схема спроектированной молниезащиты главной понизительной подстанции 110/10 кВ системы внешнего электроснабжения механосборочного завода универсального типа, которая выполнена с применением основных четырёх вертикальных молниеотводов, представлена в графической части работы.

Далее проводится расчёт контура защитного заземления питающей ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения механосборочного завода универсального типа согласно методике [18]. К данному контуру заземления подключаются все электроустановки ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения механосборочного завода универсального типа.

Устройство защитного контура заземления выполняется в соответствии с учётом требований и норм [17]. Контур заземления планируется установить на ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения объекта проектирования.

Предполагается выполнение контура заземления с использованием вертикальных стержневых электродов и горизонтальных полосовых соединителей, форма – в виде замкнутой сетки. Расчётное удельное сопротивление грунта на ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения механосборочного завода универсального типа (грунт – суглинок):

$$\rho_p = \rho_{zp} \cdot K_u, \quad (50)$$

$$\rho_p = 7,5 \cdot 1,6 = 120 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

Определяется расчётное сопротивление контура заземления, с учётом применения вертикальных стержневых электродов и горизонтальных полосовых соединителей, форма – в виде замкнутой сетки:

$$R_3 = 0,366 \cdot \frac{\rho_p}{l} \left(\lg \frac{2 \cdot l}{0,95 \cdot d} + 0,5 \lg \frac{4t + 3l}{4t + l} \right), \text{ Ом}. \quad (51)$$

где h – расстояние от поверхности земли до середины электрода, м.

$$R_3 = 0,366 \cdot \frac{120}{2,5} \left(\lg \frac{2 \cdot 5}{0,07} + 0,5 \lg \frac{4 \cdot 1,95 + 2,5}{4 \cdot 1,95 - 2,5} \right) = 132,2 \text{ Ом}.$$

Расчётное число одиночных стержневых электродов, с учётом того, что контур заземления будет также использован для электроустановок напряжением до 1 кВ (нормируемое сопротивление в этом случае не должно превышать 4 Ом):

$$N_3 = \frac{R_3}{R_{3.н}}, шт. \quad (52)$$
$$N_3 = \frac{132,2}{4} = 33,05 шт.$$

Принимается ближайшее большее целое число вертикальных стержневых электродов $N_3 = 34$ шт. Таким образом, окончательно принимается к установке в контуре заземления рассматриваемой в работе ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения механосборочного завода универсального типа, тридцать четыре вертикальных заземлителей (электродов). Конструктивное выполнение контура заземления ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения механосборочного завода универсального типа показано в графической части работы.

Выводы по разделу.

В разделе осуществлён расчёт молниезащиты ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения механосборочного завода универсального типа, выполненной с использованием четырёх вертикальных молниеотводов, обеспечивающих достаточный радиус защиты от прямых ударов молнии.

Рассмотрено обеспечение безопасности жизнедеятельности на объекте проектирования с расчётом защитного заземления с применением вертикальных стержневых электродов и горизонтальных полосовых соединителей, форма – в виде замкнутой сетки. Установлено, что для обеспечения безопасности обслуживающего персонала подстанции, контур защитного заземления необходимо выполнить с использованием тридцати четырёх вертикальных электродов, соединённых между собой, а также с горизонтальными заземлителями, сварочным соединением внахлест.

Заключение

«В результате выполнения работы проведена разработка проекта системы электроснабжения механосборочного завода универсального типа, осуществляемая с целью ввода нового объекта в эксплуатацию в связи с производственной необходимостью» [4].

Обусловлена актуальность выбора темы, с последующим анализом технических данных основных производственных и непроизводственных подразделений и узлов проектируемой системы электроснабжения нового механосборочного завода универсального типа.

Проведён анализ основных требований, предъявляемых к схемам главных электрических соединений нормального режима систем электроснабжения аналогичных объектов машиностроительной промышленности.

Проведён детальный практический расчёт и последующее обоснование технических мероприятий и решений по проектированию системы электроснабжения механосборочного завода универсального типа.

Обосновано, что для обеспечения питания внешней системы электроснабжения механосборочного завода универсального типа, в работе необходимо применять главную понизительную подстанцию с высшим классом напряжения 110 кВ и низшим классом напряжения 10 кВ с установкой двух силовых трансформаторов. Исходя из результатов проведённого сравнительного анализа, проведено аргументированное обоснование и выбраны рациональные схемы электрических соединений системы электроснабжения механосборочного завода универсального типа:

- 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 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».

Рассчитаны электрические нагрузки и токи короткого замыкания в максимальном режиме работы системы электроснабжения механосборочного завода универсального типа. На основании полученных результатов, установлено, что для питания проектируемой внешней системы электроснабжения механосборочного завода универсального типа, на ГПП-110/10 кВ объекта проектирования целесообразно установить два силовых трансформатора номинальной мощностью 16000 кВА каждый (марки ТДН-16000/110). Выбраны и проверены номинальные мощности трансформаторов цеховых ТП-10/0,4 кВ внутренней СЭС механосборочного завода универсального типа (всего предусмотрено восемь ЦТП).

Согласно дальнейшей перспективе по развитию системы электроснабжения механосборочного завода универсального типа, для питающих ВЛ-110 кВ принята марка провода АС-70/11с сечением токоведущей жилы 70 мм² и допустимой токовой нагрузкой $I_{don} = 265$ А.

Для питания ЦТП от РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ, выбраны и проверены сечения всех кабельных линий с использованием марки кабелей современного типа АСБ-10. Выбрана и проверена ошиновка для применения в РУ-110 кВ и РУ-10 кВ на ГПП СЭС механосборочного завода универсального типа: для применения в ОРУ-110 кВ выбрана гибкая ошиновка из проводов марки АС-70/11, для РУ-10 кВ закрытого типа – жёсткая ошиновка марки Аи-80×10.

Выбраны новые современные электрические аппараты для установки в РУ-110 кВ и РУ-10 кВ ГПП системы электроснабжения механосборочного завода универсального типа:

- в ОРУ-110 кВ: разъединители РГ-110/1000, выключатели ВРС-110-31,5, трансформаторы тока ТОГФ-110, трансформаторы напряжения НКФ-110;
- в РУ-10 кВ: выключатели ВВЭ-М-10-20, выключатели нагрузки ВНА-10/16000 (для установки в РУ-10 кВ ЦТП), трансформаторы тока ТПЛ-Э-12.

Выбраны современные терминалы релейной защиты силовых трансформаторов, а также питающей линии 110 кВ и отходящих линий 10 кВ схемы ЭС завода.

Осуществлён расчёт молниезащиты ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения механосборочного завода универсального типа, выполненной с использованием четырёх вертикальных молниеотводов, обеспечивающих достаточный радиус защиты от прямых ударов молнии.

Рассмотрено обеспечение безопасности жизнедеятельности на объекте проектирования с расчётом защитного заземления с применением вертикальных стержневых электродов и горизонтальных полосовых соединителей, форма – в виде замкнутой сетки. Установлено, что для обеспечения безопасности обслуживающего персонала подстанции, контур защитного заземления необходимо выполнить с использованием тридцати четырёх вертикальных электродов, соединённых между собой, а также с горизонтальными заземлителями, сварочным соединением внахлёт.

Все принятые в работе решения соответствуют требуемым техническим нормативам и могут быть рекомендованы для применения в системе электроснабжения механосборочного завода универсального типа.

Список используемых источников

1. АС – провод неизолированный для воздушных линий. [Электронный ресурс]: URL: <http://electro.narod.ru/tables/4.1.9.htm> (дата обращения: 27.02.2023).
2. 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: 26.02.2023).
3. 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: 26.02.2023).
4. Кадомская К.П., Лавров Ю.А. Электрооборудование высокого напряжения нового поколения. Вологда: Инфра-Инженерия, 2018. 343 с.
5. Механосборочное производство (МСП). [Электронный ресурс]: URL: <https://www.belcard-grodno.com/about/struktura/mekhanosborochnoe-proizvodstvo-msp/> (дата обращения: 26.02.2023).
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. Оборудование электрических станций и подстанций. [Электронный ресурс]: URL: <https://www.elektro-expo.ru/ru/ui/17138/> (дата обращения: 26.02.2023).
8. 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: 20.02.2023).

9. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. 6-е изд., перераб. и доп. М: Энергоатомиздат, 2019. 174 с.
10. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. 4-е изд., перераб. и доп. М: Энергоатомиздат, 2018. 392 с.: ил.
11. Правила устройства электроустановок. 7-е изд., перераб. и доп. М.: Главгосэнергонадзор России, 2018. 692 с.
12. Проектирование предприятия, здания и сооружения механосборочного производства. [Электронный ресурс]: URL: https://studref.com/576889/prochie/proektirovanie_predpriyatiya_zdaniya_sooruzheniya_mehanosborochnogo_proizvodstva (дата обращения: 26.02.2023).
13. Рогалев Н.Д. Энергосбережение: учебное пособие для ВУЗов. Москва: МЭИ, 2020. 242 с.
14. Рожкова Л.Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций: Учебник для студентов учреждений среднего профессионального образования. М.: ИЦ Академия, 2018. 448 с.
15. Самарин О. Д. Энергосбережение. Энергоэффективность. Москва: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2019. 296 с.
16. Сибикин Ю.Д. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий и установок. Вологда: Инфра-Инженерия, 2019. 464 с.
17. Сибикин Ю.Д. Электроснабжение. Вологда: Инфра-Инженерия, 2017. 328 с.
18. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д.Л. Файбисовича. 4-е изд., перераб. и доп. М.: ЭНАС, 2018. 312 с.
19. Типовые схемы РУ ПС 35-750 кВ. [Электронный ресурс]: URL: http://powersystem.info/index.php/Типовые_схемы_РУ_35-750_кВ (дата обращения: 27.02.2023).
20. Фролов Ю. М. Основы электроснабжения / Ю.М. Фролов, В.П. Шелякин. М.: Лань, 2019. 480 с.