

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

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

(наименование)

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки/ специальности)

Электроснабжение

(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Электроснабжение корпуса механической обработки деталей

Обучающийся

А.М. Рыбаков

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент С.В. Шаповалов

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

Консультант

к.п.н., доцент Т.С. Якушева

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

Тольятти 2022

Аннотация

Целью данной работы является проектирование системы электроснабжения корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия.

Для решения поставленной задачи, в работе выполнен анализ исходных данных, на основании которого осуществлены необходимые обоснованные мероприятия по проектированию системы электроснабжения корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия.

На основе полученных результатов расчёта нагрузок потребителей, а также расчёта токов КЗ, в работе выбрана и обоснована схема электроснабжения объекта проектирования, осуществлён выбор проводников электрических сетей, а также проведён выбор основного оборудования и его проверка в системе электроснабжения объекта проектирования.

Проанализированы и разработаны основные мероприятия для безопасного выполнения работ с последующим их внедрением на объекте проектирования.

Обоснование всех указанных мероприятий по проектированию системы электроснабжения корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия в работе подтверждено соответствующими техническими расчётами и проверками, в частности, выбором современных типов приведённого оборудования и проводников электрических сетей.

Abstract

The purpose of this work is to design a power supply system for a housing for processing parts of an industrial enterprise.

To solve the problem, the paper carried out an analysis of the initial data, on the basis of which the necessary reasonable measures were taken to design the power supply system for the housing for processing parts of an industrial enterprise.

Based on the results of the calculation of consumer loads, as well as the calculation of short-circuit currents, the work selected and justified the power supply scheme of the design object, the choice of conductors of electrical networks was carried out, and the selection of the main equipment and its verification in the power supply system of the design object was carried out.

Analyzed and developed the main measures for the safe performance of work with their subsequent implementation at the design site.

The substantiation of all these measures for the design of the power supply system for the processing of parts of an industrial enterprise in the work is confirmed by the relevant technical calculations and checks, in particular, by the choice of modern types of equipment and conductors of electrical networks.

Содержание

Введение	5
1 Анализ исходных данных	8
1.1 Общие сведения о предприятии	8
1.2 Характеристика потребителей корпуса механической обработки деталей	12
2 Разработка проекта системы электроснабжения объекта	16
2.1 Выбор схемы электроснабжения объекта	16
2.2 Расчёт электрических нагрузок	21
2.3 Выбор силовых трансформаторов на питающей подстанции	27
2.4 Компенсация реактивной мощности на питающей ТП	29
2.5 Выбор и проверка проводников	34
2.6 Расчёт токов короткого замыкания	42
2.7 Выбор основного оборудования и его проверка	52
2.8 Выбор системы учёта и контроля электроэнергии	59
3 Разработка мероприятий по технике безопасности и охране труда	63
3.1 Мероприятия по охране труда	63
3.2 Мероприятия по охране окружающей среды	64
Заключение	67
Список используемых источников	70

Введение

В настоящей работе детально рассматривается проектирование системы электроснабжения корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия, в основе производственной деятельности которого лежит непосредственное производство, обслуживание, эксплуатация и ремонт оборудования, узлов и механизмов различного рода, применяемых в различных отраслях отечественной промышленности.

Известно, что системы электроснабжения современных участков и цехов корпуса обработки деталей предприятий машиностроительной и тяжёлой промышленности, являются важным звеном энергетики регионов и страны в целом.

Обеспечивая основной производственный и эксплуатационно–ремонтный цикл механической обработки оборудования и изделий (узлов и механизмов различного типа и назначения), данный тип подразделений является одной из основных производственных единиц предприятия.

От его применяемых технологий по механической обработке узлов и механизмов различного оборудования, напрямую зависит сам основной технологический процесс на предприятии.

Система электроснабжения одного из таких корпусов обработки деталей типичного машиностроительного предприятия детально рассматривается и разрабатывается в данной работе.

Целью данной работы является проектирование системы электроснабжения корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия.

Объектом исследования в данной работе является система электроснабжения корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия.

Предметом исследования являются схема электрических соединений системы электроснабжения корпуса механической обработки деталей

типичного машиностроительного предприятия, а также элементы системы электроснабжения объекта проектирования, а именно: электрические сети питающей и распределительной сети, силовые трансформаторы, установленные на понизительной цеховой трансформаторной подстанции объекта проектирования, а также электрические аппараты и оборудование всех рассматриваемых в работе номинальных классов напряжения.

«Актуальность работы обусловлена требованиями нормативных документов к проектируемым, реконструируемым и модернизируемым системам электроснабжения объектов (цехов и участков) промышленных предприятий, которые выражаются в обеспечении необходимого уровня надёжности, экономичности и электробезопасности» [1] объектов и систем промышленности, находящихся на стадии проектирования, а также необходимой реконструкции и модернизации [1,3,7].

Для качественной реализации «основной цели работы, осуществляется решение следующих основных поставленных задач, в частности» [1]:

- анализ исходных данных с рассмотрением основных теоретических положений, необходимых для [1] решения основных задач, а также общими сведениями о предприятии. Также приводится характеристика корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия. На основе полученных данных анализа, проводится обоснование необходимости внедрения соответствующих решений в схему электрических соединений объекта проектирования с последующим выбором и проверкой принятых решений;
- непосредственное проектирование системы электроснабжения корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия (объекта). В перечень заданий входит выбор с последующей проверкой оборудования и сетей, а также схемы системы электроснабжения. В основе расчётной базы при этом лежат значения электрических нагрузок и данные о

исходных токах короткого замыкания на выводах энергосистемы, а также технические исходные данные и параметры оборудования и сетей. Кроме того, необходимо выбрать и обосновать современный тип системы контроля и учёта электроэнергии для непосредственного применения на объекте исследования;

- разработка мероприятий по обеспечению безопасности жизнедеятельности при выполнении работ в системе электроснабжения [1] корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия, в частности, электробезопасности, а также пожарной и экологической безопасности в системе электроснабжения объекта проектирования.

Все расчёты и проверки, а также выбор принятых оптимальных технических решений, в работе непосредственно согласовываются с нормативно-технической документацией, принятой в электротехнической отрасли [1,4,10,12].

1 Анализ исходных данных

1.1 Общие сведения о предприятии

«В работе объектом исследования является система электроснабжения» [1] корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия.

В качестве типичного машиностроительного предприятия в работе рассматривается типичное машиностроительное предприятие.

Типичное машиностроительное предприятие должно быть территориально расположено в промышленной зоне вне населённых пунктов и жилых кварталов.

Данные крупные промышленные объекты рекомендовано располагать вне населённых пунктов, что связано с многочисленными экологическими факторами, в частности [18]:

- прямым и косвенным загрязнением окружающей среды вредными выбросами и веществами;
- влияние на атмосферный воздух вредных выбросов промышленного производства;
- высокой опасностью прохождения по территории городской застройки воздушных линий электропередач высоких классов напряжений;
- влияние мощных шумов на здоровье и людей и экологическую систему в целом.

В связи с развитием высоких современных технологий в стране, в свете научно-технического прогресса, введения в эксплуатацию новых мощностей в условиях острого дефицита энергоресурсов, в современном обществе возникла острая необходимость в промышленных предприятиях, которые

специализируются на производстве и реализации машиностроительных изделий из материалов различного типа, а также обслуживании, монтаже и ремонте промышленного оборудования и установок, обеспечивающих технологический процесс производства.

Полученная продукция производства типичного машиностроительного предприятия, применяемых в тяжёлой и лёгкой промышленности, в металлургии, в строительстве, на электростанциях, а также в прочих сферах и отраслях промышленности страны.

К таким типам изделий и материалов типичного машиностроительного предприятия относятся [18]:

- продукты и изделия стального литья;
- продукты и изделия чугунного литья;
- продукты и изделия цветного литья;
- продукты и изделия для специальных нужд.

Все перечисленные выше изделий и материалов типичного машиностроительного предприятия, разделяются в свою очередь на множество ветвей и направлений по своему технологическому назначению, а также природе и способу их применения.

Проектирование типичного машиностроительного предприятия в современном мире в условиях жёсткой конкуренции, требует применения современных технологий производства.

Данный аспект обуславливает практическую ценность работы, так как проектирование и ввод в эксплуатацию данного предприятия с учётом инноваций в технологии производства и использованием современного энергосберегающего оборудования, способно частично решить вопросы с производством изделий и материалов типичного машиностроительного предприятия различного типа в регионе и стране в целом.

Технология производства продукции на рассматриваемом типичном машиностроительном предприятии, в состав которого входит проектируемая система электроснабжения корпуса механической обработки деталей, соответствует основным современным требованиям и нормам [18].

Технологический процесс производства типичного машиностроительного предприятия представлен схематически на рисунке 1

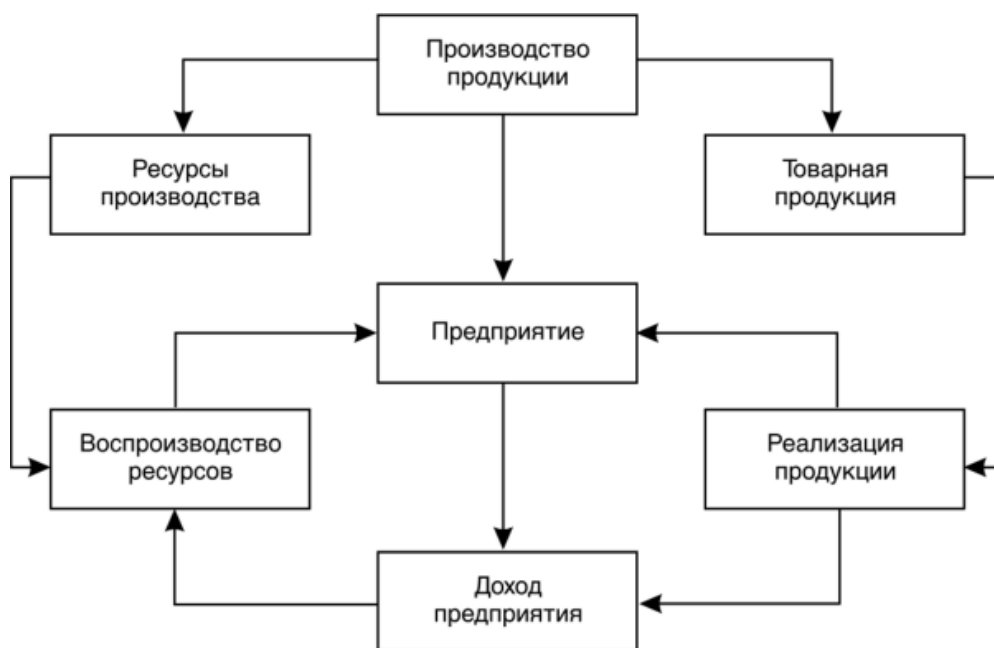


Рисунок 1 – Технологический процесс производства типичного машиностроительного предприятия

Технология производства продукции на типичном машиностроительном предприятии, включает в себя следующие основные этапы, а именно [18]:

- приём продуктов для технологического процесса – обеспечивается складскими помещениями, из которых первичный материал поставляют в производственный комплекс типичного машиностроительного предприятия;
- переработка (подготовка) первичного материала – нужна для приведения первичного материала, полученного со склада, в нужную форму. Данный этап включает в себя очистку (крупную и мелкую),

обработку (физическую и химическую) первичного материала для подготовки производства на типичном машиностроительном предприятии;

- производство изделий – осуществляется после обработки первичного материала на специальных производственных комплексах в соответствующих цехах и подразделениях типичного машиностроительного предприятия. Включает в себя следующие основные этапы: плавление исходного материала (в плавильных печах различного типа), добавление добавок, формирование, отверждение, сушка и обработка изделий (черновая и чистовая). Весь указанный технологический процесс происходит при высоких температурах с постоянным контролем параметров температуры и давления и строгой дозировкой компонентов;
- маркировка и упаковка – конечный полученный продукт требуется промаркировать и упаковать для транспортировки конечному получателю. Упаковка должна быть надёжной, механически прочной и полностью герметичной, без нарушений её целостности.

Также перед непосредственным процессом упаковки, как правило, проводится дефектация полученной продукции с проверкой качества готовой продукции, целостности, отсутствия механических повреждений, герметичности, маркировки и т.д. Полученный продукт, который не прошёл процесс дефектации, отбраковывается.

После приведённого технологического процесса, полученная продукция направляются на складские помещения, где хранятся при строго отведённых условиях.

Этот процесс должен контролироваться с помощью специальных датчиков и быть полностью автоматизирован [18].

Реализация готовой продукции осуществляется непосредственно со складских комплексов оптовым и розничным покупателям согласно

установленной финансово-экономической политике управляющей компании и сбора акционеров рассматриваемого в работе типичного машиностроительного предприятия.

Также рассматриваемое в работе промышленное предприятие выполняет функции ремонта, монтажа и эксплуатации, а также модернизации основного технологического, необходимого для производства изделий.

Структура корпоративного управления типичного машиностроительного предприятия [10,11] должно соответствовать современным требованиям, так как согласно их, включает не только административное управление (совет директоров, председатель правления, собрание акционеров), а и крайне важные и необходимые комитеты, а именно: комитет по аудиту, кадрам и вознаграждению, стратегии, инвестициям.

Всё это делает структуру управления типичного машиностроительного предприятия гибкой и эффективной. В состав типичного машиностроительного предприятия входит корпус механической обработки деталей, который детально рассматривается и проектируется в работе далее.

1.2 Характеристика потребителей корпуса механической обработки деталей

Корпус механической обработки деталей по надёжности электроснабжения, согласно технологическому циклу, относится ко II категории надёжности типичного машиностроительного предприятия, так как является одним из производственных объектов технического назначения данного предприятия, обеспечивая, в свою очередь, процесс основного производства.

Основой производственной деятельности корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия является

организация и выполнение различного рода работ по механической обработке готовой продукции, узлов и механизмов основного производства.

Также в данном корпусе обработки деталей осуществляется модернизация и предпродажная подготовка узлов и механизмов оборудования и техники.

Таким образом, можно сделать вывод, что рассматриваемый в работе корпус механической обработки деталей является многопрофильным объектом типичного машиностроительного предприятия.

Исходя из технологического процесса рассматриваемого в работе корпуса механической обработки деталей, а также от технических и финансовых возможностей типичного машиностроительного предприятия, в работе в таблице 1, приводится состав и характеристики электрооборудования потребителей корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия согласно исходным данным на выполнение работы.

Таблица 1 – Состав и характеристики потребителей корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия

Позиция	Наименование	Мощ-ть, $P_{ном}$, кВт	Кол-во, шт	Суммарная мощность, $P_{сум}$, кВт
1	Установка приемки оборудования	3,0	1	3,0
2	Насос центробежный	2,2	1	2,2
3	Станок для низкотемпературной обработки	3,0	1	3,0
4	Установка теплообменная	4,4	1	4,4
4.1	Универсально-фрезерный станок	11,0	1	11,0
5	Компрессор производственный	7,5	1	7,5
6	Вентилятор промышленный	4,0	1	4,0
7	Комплексный испытательный стенд	30,0	1	30,0
8 (8.1 – 8.2)	Заточной станок	1,1	2	2,2
9 (9.1 – 9.3)	Станок для низкотемпературной обработки	3,0	3	9,0
10 (10.1 – 10.4)	Насос роторный	3,0	4	12,0

Продолжение таблицы 1

Позиция	Наименование	Мощ-ть, Р _{ном} , кВт	Кол-во, шт	Суммарная мощность, Р _{сум} , кВт
11	Стол технологический	3,0	4	12,0
12	Инвертор сварочный	3,0	1	3,0
13	Стол дефектации оборудования	1,5	1	1,5
14	Расточной станок	1,5	1	1,5
15 (15.1 – 15.2)	Шлифовальный станок	1,5	2	3,0
16	Автоматизированная площадка	22,0	1	22,0
17 (17.1 – 17.2)	Аппарат формовочный (пресс-тележка)	5,5	2	11,0
18 (18.1 – 18.2)	Сварочный аппарат	2,2	2	4,4
19 (19.1 – 19.2)	Насос воды	2,2	2	4,4
20	Ванна мойки двухсекционная	4,5	1	4,5
21	Разрезной станок	4,5	1	4,5
22	Конвейер	2,2	1	2,2
23	Конвейер	2,2	1	2,2
24 (24.1 – 24.2)	Установка циркуляционной мойки	3,7	2	7,4
25 (25.1 – 25.2)	Токарный станок	4,5	2	9,0
26 (26.1 – 26.2)	Фрезерный станок	4,5	2	9,0
27	Автоматизированная площадка	22,0	1	22,0
Всего по корпусу механической обработки деталей		-	44	211,9

Расположение приведённых в таблице 3 потребителей корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия на территории объекта, представлено в работе на графическом листе 1.

Выводы по разделу 1.

«В результате выполнения раздела, приведён исходный анализ системы электроснабжения корпуса механической обработки деталей» [1] типичного машиностроительного предприятия, с детальным рассмотрением основных

технических, экономических и организационных характеристик данного предприятия.

Детально рассмотрены и систематизированы все потребители системы электроснабжения корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия с учётом их расположения на территории данного объекта, а также установленной проектной мощности.

Обоснована категория надёжности всех групп участков и цехов потребители системы электроснабжения корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия.

На основании приведённых исходных данных, а также нормативных сведений и источников, в разделе обоснована необходимость и целесообразность разработки качественного проекта системы электроснабжения объекта проектирования.

Поставленные задачи решаются в работе далее.

2 Разработка проекта системы электроснабжения объекта

2.1 Выбор схемы электроснабжения объекта

Выбор схемы электроснабжения корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия основывается на положениях и требованиях, приведённых в [10].

При выборе схемы электроснабжения корпуса механической обработки деталей типичного промышленного машиностроительного предприятия следует учитывать категорию надёжности как потребителей, так и всего объекта проектирования в целом, а также расположение источника питания и потребителей на территории объекта, мощность потребителей и объекта проектирования в целом [4].

Рассматриваемый в работе многопрофильный корпус механической обработки деталей по надёжности электроснабжения, согласно технологическому циклу, относится ко II категории надёжности, так как является производственным объектом технического назначения данного типичного машиностроительного предприятия, обеспечивая, в свою очередь, процесс основного производства.

Электроснабжение корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия осуществляется от вводного распределительного устройства (далее – ВРУ) на номинальном напряжении 0,38/0,22 кВ.

Питание ВРУ корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия осуществляется от двухтрансформаторной подстанции ТП-10/0,4 кВ, от которой также получают питание другие промышленные и административные потребители данного предприятия.

РУ-10 кВ рассматриваемой цеховой понизительной трансформаторной подстанции 10/0,4 кВ корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия, конструктивно выполнены с

применением ячеек наружной установки двухстороннего обслуживания типа КРУН-К-59 (производитель – ЗАО «Завод высоковольтного оборудования» (ЗАО «ЗВО») с установленными в них выключателями с использованием втычных контактов вместо разъединителей [12].

В виду того, что инновационные разработки оборудования КРУ(Н) предусматривают применение ячеек с наличием втычных контактов, следовательно, разъединители в ячейках КРУН-10 кВ цеховой ТП-10/0,4 кВ корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия, не устанавливаются [7]. Поэтому в РУ-10 кВ цеховой ТП-10/0,4 кВ корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия, рассматриваемой в работе, применяются блоки «линия-выключатель нагрузки» (без разъединителей) на питающей линии. Окончательное число данных блоков в принципиальной схеме РУ-10 кВ цеховой ТП-10/0,4 кВ, рассматриваемой в работе, будет определено в работе далее при выборе количества цеховых трансформаторных подстанций ТП-10/0,4 кВ корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия [7].

Исходя из рекомендаций [7,11], а также исходных данных к выполнению работы, при количестве отходящих линий $n \geq 2$, которое имеется согласно исходных данных, для РУ-10 кВ и РУ-0,4 кВ цеховой ТП-10/0,4 кВ корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия применяется схема «Одна рабочая секционированная выключателем система сборных шин». При этом секционный выключатель для РУ-10 кВ ТП-10/0,4 кВ обязательно должен быть предусмотрен в схеме на питающей главной понизительной подстанции предприятия (далее – ГПП).

В схемах РУ-10 кВ и РУ-0,4 кВ тупиковой цеховой подстанции ТП-10/0,4 кВ корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия, рассматриваемой в работе, применяется отдельный режим работы, рекомендованный [7].

Секционный выключатель 10 кВ, установленный на питающей ГПП предприятия (для схемы РУ-10 кВ), а также секционный автомат в РУ-0,4 кВ, в «нормальном режиме работы отключены, включаясь под действием устройства автоматического включения резерва (АВР) при исчезновении напряжения» [1] по каким-то причинам «на одной из секций сборных шин» [1] соответствующего класса напряжения согласно требованиям [10].

В результате проведенного в разделе описания объекта исследования и выбора схем электрических соединений цеховой ТП-10/0,4 кВ можно сделать вывод, что цеховая ТП-10/0,4 кВ, которая выступает в роли источника питания, является современной и крайне необходимой для работы и снабжения электроэнергией системы электроснабжения корпуса механической обработки деталей данного типичного машиностроительного типичного машиностроительного предприятия.

От цеховой ТП-10/0,4 кВ получает питание ВРУ рассматриваемого в работе корпуса механической обработки деталей.

Так как проектируемый корпус механической обработки деталей относится к объектам средней мощности II категории надёжности, принимается питание от ТП-10/0,4 кВ ко ВРУ корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия по радиальной схеме двумя питающими пятижильными силовыми кабелями марки ВВГнг-LS, сечение которых выбирается и проверяется в работе далее.

Кабельная линия, идущая от ТП-10/0,4 кВ до ВРУ, образует питающую сеть 0,38/0,22 кВ проектируемого корпуса механической обработки деталей.

«На объекте проектирования необходимо предусмотреть силовые распределительные шкафы (далее – СРШ) согласно требований технологического процесса, получающие питание от ВРУ по радиальной схеме» [1]. «Как правило, все СРШ располагаются у стен» [1].

Количество и расположение СРШ выбирается в работе далее на основании распределения электрических нагрузок потребителей корпуса механической обработки деталей, которые будут от них питаться.

Распределительная сеть от ВРУ до СРШ выполняется силовыми кабелями марки ВВГнг-LS, которые не горят и не поддерживают горения, поэтому рекомендованы к применению в современных системах электроснабжения [8].

От СРШ по радиальной схеме получают питание трёхфазные потребители проектируемой сети корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия.

Для защиты электрической силовой сети корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия от ненормальных режимов (токов КЗ, перегрузки и т.д.) применяются автоматические выключатели, которые в принятой схеме электроснабжения объекта проектирования разделяются на следующие виды (по месту их установки в системе электроснабжения):

- трёхфазные автоматы ввода ВРУ – «защищают всю систему электроснабжения от токов внешних токов КЗ (со стороны источника питания на ТП-10/0,4 кВ)» [1];
- трёхфазные автоматы ввода СРШ – необходимы для защиты и коммутации данных щитов и групп потребителей;
- трёхфазные автоматы (линейные автоматы) – применяются для защиты и коммутации потребителей сети корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия.

Все перечисленные автоматы выбраны и проверены в работе далее и приведены на графическом листе 2.

«Для защиты от поражения электрическим током в случае повреждения изоляции электрооборудования и электрических сетей применяется защитное заземление» [1].

«Согласно требованиям, предъявляемым [5], в работе принимается система заземления TN-C-S» [1].

Принцип действия электрической принципиальной схемы силовой сети корпуса механической обработки деталей промышленного

машиностроительного предприятия состоит в последовательной передаче напряжения от ВРУ-0,4 кВ к СРШ и далее к соответствующим потребителям объекта.

Кроме того, в системе электроснабжения проектируемого корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия «необходимо предусмотреть следующие виды освещения» [1]:

- ЩРО (щиток рабочего освещения) [1];
- ЩАО (щиток аварийного освещения) [1].

«Питание каждого щитка (ЩАО и ЩРО) осуществляется отдельно друг от друга по радиальной схеме» [1] от разных секций сборных шин ВРУ-0,4 кВ корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия, что необходимо согласно [4], по той причине, что «щитки рабочего и аварийного освещения должны иметь различные источники питания» [1] по условию резервирования питания.

Для защиты электрической осветительной сети корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия от ненормальных режимов (токов КЗ, перегрузки и т.д.) применяются автоматические выключатели, которые по назначению и месту установки делятся на следующие типы:

- трёхфазные автоматы ввода распределительных щитов: ЩРО и ЩАО [1];
- однофазные автоматы для защиты распределительных линий освещения [1].

Для питания ЩРО и ЩАО от ВРУ-0,4 кВ в работе выбираются негорючие пятижильные кабели марки ВВГнг-LS.

Принятая в работе схема электроснабжения обеспечивает бесперебойное питание силовой и осветительной сети корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия и обеспечивает необходимую надёжность потребителей, а также экономичность передачи электроэнергии и безопасность людей согласно требованиям [1-4].

Схема электроснабжения питающей и распределительной силовой сети, а также питающей осветительной сети корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия, приводится на графическом листе 2 работы.

На основании приведённых технических данных и выбранных схем электрических соединений, являющихся основой для рассматриваемой в работе системы электроснабжения корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия, далее в работе проводится детальный выбор и проверка элементов системы электроснабжения объекта проектирования.

2.2 Расчёт электрических нагрузок

Согласно приведённым и обоснованным ранее мероприятиям по проектированию схемы электрических соединений системы электроснабжения корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия, осуществляемую путём внедрения основных положений нормативных документов, в работе необходимо провести расчёт электрических нагрузок системы электроснабжения объекта проектирования, на основании чего далее провести выбор и проверку электрических сетей, аппаратов и проводников.

Кроме того, в связи с применением выбранной схемы электрических соединений системы электроснабжения корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия, необходимо также учитывать условия резервирования на сторонах 10 кВ и 0,4 кВ, которые осуществлены путём дополнительного подключения кабельных линий в послеаварийном режиме (по резервированию).

Основой для расчёта электрических нагрузок системы электроснабжения корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия является проектная установленная

номинальная нагрузка потребителей, которая принимается равной расчётной активной нагрузке. В работе проводится расчёт нагрузок потребителей корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия, «который включает непосредственное определение расчетных силовой, осветительной и суммарной нагрузок по методу коэффициента спроса» [1].

«Расчётная активная нагрузка силовых потребителей до 1 кВ потребителей корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия, кВт» [1]:

$$P_{p.} = K_c P_n, \quad (1)$$

где P_n – «значение суммарной номинальной активной мощности корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия, кВт» [1];

K_c – «справочное значение коэффициента спроса» [1]

проектируемой системы электроснабжения корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия.

Расчетная реактивная нагрузка силовых электроприёмников до 1 кВ потребителей корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия, квар:

$$Q_{p.} = P_{p.} \cdot \operatorname{tg}\varphi, \quad (2)$$

где $\operatorname{tg}\varphi$ – значение коэффициента реактивной мощности, о.е.

Значение расчётных активной и реактивной нагрузки силовых электроприёмников напряжением до 1 кВ корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия определяется по (1) и (2), а полная мощность определяется так:

$$S_{p.} = \sqrt{P_{p.}^2 + Q_{p.}^2}. \quad (3)$$

Расчетный ток потребителей корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия, с учётом приведённых и определённых условий и расчётных данных по (1) – (3), определяется так:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, A. \quad (4)$$

«В работе рассматривается расчет силовых электрических нагрузок на примере потребителя №1 по плану (таблица 1)» [1].

«Активная и реактивная нагрузки потребителя №1 по плану» [1]

$$P_p = 3,0 \cdot 1 = 3,0 \text{ кВт.}$$

$$Q_p = 3,0 \cdot 0,33 = 0,99 \approx 1 \text{ квар.}$$

«Определяется полная расчётная нагрузка потребителя №1» [1]

$$S_p = \sqrt{3^2 + 1^2} = 3,2 \text{ кВА.}$$

«Расчетный ток потребителя №1 по плану» [1]

$$I_p = \frac{3,2}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 4,9 \text{ А.}$$

«Аналогично рассчитаны нагрузки для других потребителей проектируемой» [1] электрической сети корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия (таблица 2).

Таблица 2 – Результаты расчёта электрических нагрузок потребителей корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия

Позиция	Наименование	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА	I_p , А
1	Установка приемки оборудования	3,0	1,0	3,2	4,9
2	Насос центробежный	2,2	0,7	2,3	3,6
3	Станок для низкотемпературной обработки	3,0	1,0	3,2	4,9
4	Установка теплообменная	4,4	1,5	4,6	7,1
4.1	Универсально-фрезерный станок	11,0	3,6	11,6	17,8
5	Компрессор производственный	7,5	2,5	7,9	12,2
6	Вентилятор промышленный	4,0	1,3	4,2	6,5
7	Комплексный испытательный стенд	30,0	9,9	31,6	48,6
8 (8.1 – 8.2)	Заточной станок	1,1	0,4	1,2	1,8
9 (9.1 – 9.3)	Станок для низкотемпературной обработки	3,0	1,0	3,2	4,9
10 (10.1 – 10.4)	Насос роторный	3,0	1,0	3,2	4,9
11	Стол технологический	3,0	1,0	3,2	4,9
12	Инвертор сварочный	3,0	1,0	3,2	4,9
13	Стол дефектации оборудования	1,5	0,5	1,6	2,4
14	Расточной станок	1,5	0,5	1,6	2,4
15(15.1 – 15.2)	Шлифовальный станок	1,5	0,5	1,6	2,4
16	Автоматизированная площадка	22,0	7,3	23,2	35,6
17(17.1 – 17.2)	Аппарат формовочный (пресс-тележка)	5,5	1,8	5,8	8,9
18(18.1 – 18.2)	Сварочный аппарат	2,2	0,7	2,3	3,6
19(19.1 – 19.2)	Насос воды	2,2	0,7	2,3	3,6
20	Ванна мойки двухсекционная	4,5	1,5	4,7	7,3
21	Разрезной станок	4,5	1,5	4,7	7,3
22	Конвейер	2,2	0,7	2,3	3,6
23	Конвейер	2,2	0,7	2,3	3,6
24(24.1 – 24.2)	Установка циркуляционной мойки	3,7	1,2	3,9	6,0
25(25.1 – 25.2)	Токарный станок	4,5	1,5	4,7	7,3
26(26.1 – 26.2)	Фрезерный станок	4,5	1,5	4,7	7,3
27	Автоматизированная площадка	22,0	7,3	23,2	35,6

Результаты расчёта нагрузок для отдельных потребителей корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного

предприятия используются в работе далее при выборе аппаратов и проводников к ним.

Также далее полученные результаты используются при расчёте токов короткого замыкания.

Исходя из этого, далее в работе проводится расчёт суммарной нагрузки всех СРШ отдельно, а также нагрузки всего корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия с учётом коэффициента одновременности включения нагрузки всех его конечных потребителей.

При этом в работе принимается следующие значения коэффициента одновременности K_o [19]:

- для силовых щитов (СРШ) – $K_o=0,9$;
- для щитов освещения (ЩРО, ЩАО) – $K_o=1$.

Условно принимается, что осветительная нагрузка включается автоматически при достижении минимума освещения во всех производственных помещениях, а силовая нагрузка работает в максимальном режиме [1].

При этом в работе необходимо также предусмотреть распределительные щиты:

- СРШ 1 – СРШ 5 – силовые распределительные шкафы для силовой нагрузки;
- ЩРО – щит рабочего освещения (определяется по удельной плотности нагрузки освещения, лампы – светодиодные) [4];
- ЩАО – щит аварийного освещения (принимается 10% от нагрузки рабочего освещения) [4].

Также проведены расчёты нагрузки секций шин ВРУ с учётом выбранной в работе схемы.

Результаты расчёта электрических нагрузок СРШ и всего корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия представлены в форме таблицы 3.

Таблица 3 – Результаты расчёта электрических нагрузок СРШ корпуса механической обработки деталей машиностроительного предприятия

Позиция	Наименование СРШ/ потребителя, питающегося от СРШ	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА	I_p , А
СРШ1					
4	Установка теплообменная	4,4	1,5	4,6	7,1
5	Компрессор производственный	7,5	2,5	7,9	12,2
6	Вентилятор промышленный	4,0	1,3	4,2	6,5
7	Комплексный испытательный стенд	30,0	9,9	31,6	48,6
8.1	Заточной станок	1,1	0,4	1,2	1,8
8.2	Заточной станок	1,1	0,4	1,2	1,8
11	Стол технологический	3,0	1,0	3,2	4,9
20	Ванна мойки двухсекционная	4,5	1,5	4,7	7,3
21	Разрезной станок	4,5	1,5	4,7	7,3
22	Конвейер	2,2	0,7	2,3	3,6
Всего по СРШ1 (с учётом $K_0=0,9$)		56,1	18,6	59,1	90,9
СРШ2					
15.1	Шлифовальный станок	1,5	0,5	1,6	2,4
15.2	Шлифовальный станок	1,5	0,5	1,6	2,4
16	Автоматизированная площадка	22,0	7,3	23,2	35,6
17.1	Аппарат формовочный (пресс-тележка)	5,5	1,8	5,8	8,9
17.2	Аппарат формовочный (пресс-тележка)	5,5	1,8	5,8	8,9
18.1	Сварочный аппарат	2,2	0,7	2,3	3,6
18.2	Сварочный аппарат	2,2	0,7	2,3	3,6
19.1	Насос воды	2,2	0,7	2,3	3,6
19.2	Насос воды	2,2	0,7	2,3	3,6
Всего по СРШ2 (с учётом $K_0=0,9$)		40,3	13,2	42,4	65,2
СРШ3					
24.1	Установка циркуляционной мойки	3,7	1,2	3,9	6,0
24.2	Установка циркуляционной мойки	3,7	1,2	3,9	6,0
25.1	Токарный станок	4,5	1,5	4,7	7,3
25.2	Токарный станок	4,5	1,5	4,7	7,3
26.1	Фрезерный станок	4,5	1,5	4,7	7,3
26.2	Фрезерный станок	4,5	1,5	4,7	7,3
27	Автоматизированная площадка	22,0	7,3	23,2	35,6
Всего по СРШ3 (с учётом $K_0=0,9$)		42,7	14,1	45,0	69,2
СРШ4					
9.1	Станок для низкотемпературной обработки	3,0	1,0	3,2	4,9
9.2	Станок для низкотемпературной обработки	3,0	1,0	3,2	4,9
9.3	Станок для низкотемпературной обработки	3,0	1,0	3,2	4,9
10.1	Насос роторный	3,0	1,0	3,2	4,9
10.2	Насос роторный	3,0	1,0	3,2	4,9
10.3	Насос роторный	3,0	1,0	3,2	4,9
10.4	Насос роторный	3,0	1,0	3,2	4,9
12	Инвертор сварочный	3,0	1,0	3,2	4,9
Всего по СРШ4 (с учётом $K_0=0,9$)		21,6	7,2	22,8	35,0
СРШ5					
1	Установка приемки оборудования	3,0	1,0	3,2	4,9
2	Насос центробежный	2,2	0,7	2,3	3,6

Продолжение таблицы 3

Позиция	Наименование СРШ/ потребителя, питающегося от СРШ	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА	I_p , А
3	Станок для низкотемпературной обработки	3,0	1,0	3,2	4,9
4.1	Универсально-фрезерный станок	11,0	3,6	11,6	17,8
13	Стол дефектации оборудования	1,5	0,5	1,6	2,4
14	Расточной станок	1,5	0,5	1,6	2,4
23	Конвейер	2,2	0,7	2,3	3,6
Всего по СРШ5 (с учётом $K_0=0,9$)		22,0	7,4	23,2	35,7
ЩРО (с учётом $K_0=1$)		8,6	2,8	9,1	13,9
ЩАО (с учётом $K_0=1$)		0,9	0,3	0,9	1,4
Всего по 1 СШ ВРУ (СРШ1, СРШ2, освещение)		101,0	33,2	106,3	163,6
Всего по 2 СШ ВРУ (СРШ3, СРШ4, СРШ5, освещение)		91,2	30,4	96,1	147,9
Всего по корпусу механической обработки деталей		192,2	63,6	202,5	311,5

Полученные в работе результаты расчёта электрических нагрузок потребителей системы электроснабжения корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия используются в работе далее при проверке силовых трансформаторов питающей цеховой ТП-10/0,4 кВ на допустимую загрузку, а также при выборе и проверке электрических аппаратов и проводников спроектированной системы электроснабжения корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия.

Все поставленные задачи решаются в работе далее.

2.3 Выбор силовых трансформаторов на питающей подстанции

С учётом разработанной и обоснованной схемы электрических соединений проектируемой системы электроснабжения корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия, далее в работе необходимо провести выбор и проверку силовых трансформаторов цеховой ТП-10/0,4 кВ на допустимую загрузку активной мощностью как в нормальном, так и послеаварийном режиме работы системы.

Так как понизительные трансформаторы корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия питают

также другие «потребители, большинство из которых относится ко II категории надёжности, следовательно, на данной понизительной подстанции устанавливаются два силовых трансформатора» [4].

При выборе трансформаторов на питающей подстанции необходимо также учесть нагрузку сторонних потребителей, которых питает эта ТП-10/0,4 кВ.

«Выбор и проверка силовых трансформаторов на питающей ТП-10/0,4 кВ в работе проводится по условию» [17]

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{P_{\text{р.}} + P_{\text{см.}}}{N\beta_{\text{т}}}, \quad (5)$$

где $S_{\text{ном.т}}$ – «номинальная (паспортная) мощность силового

трансформатора, установленного на питающей ТП-10/0,4 кВ» [17];

$S_{\text{ном.т.р}}$ – «расчетная мощность силового трансформатора, установленного на питающей ТП-10/0,4 кВ, кВА» [17];

$P_{\text{р.}}$ – «суммарная активная нагрузка корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия, которые получают питание от ТП-10/0,4 кВ, кВт» [17];

$P_{\text{см.}}$ – «суммарная активная нагрузка сторонних потребителей, которые получают питание от данной ТП-10/0,4 кВ, кВт» [17];

N – «число силовых трансформаторов, шт» [17];

$\beta_{\text{т}}$ – «коэффициент загрузки трансформатора» [4].

Для цеховой ТП-10/0,4 кВ, питающей потребители корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия, а также стороннюю нагрузку, расчётная мощность силового трансформатора с резервированием по (5):

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{192,2 + 120}{2 \cdot 0,8} = 195,1 \text{ кВА.}$$

По полученным результатам расчёта, для установки на цеховой ТП-10/0,4 кВ, питающей потребителя корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия, а также стороннюю нагрузку, в работе выбраны два силовых трансформатора марки ТМ-250/10 У1 [12].

Данный тип силового трансформатора выполнен с наличием расширительного бака и хорошо зарекомендовал себя при эксплуатации и ремонте. Он имеет две обмотки и выбран для применения в условиях умеренного климата.

Конструкция выбранного типа силового трансформатора представлена в графической части работы на листе 4.

«Кроме того, проводится проверка силовых трансформаторов на перегрузочную способность как в нормальном, так и в максимальном (послеаварийном) режиме работы» [9], которая выполняется в работе далее после выбора компенсирующих устройств на ТП-10/0,4 кВ.

«Конструктивно питающая ТП-10/0,4 кВ корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия выполнена в виде комплектной подстанции с применением комплектных распределительных» [8] устройств номинальных классов напряжения 10 кВ и 0,4 кВ (далее – КТП).

Конструкция питающей ТП-10/0,4 кВ корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия представлена в графической части работы на листе 3.

2.4 Компенсация реактивной мощности на питающей ТП

Согласно методике [11], после предварительного выбора количества и марки силовых трансформаторов на ТП-10/0,4 кВ, следует проверить условия компенсации реактивной мощности в рассматриваемой системе

электроснабжения, и, если это необходимо, установить компенсирующие устройства (далее – КУ) в узлах системы электроснабжения.

Как правило, установка КУ в данном случае предполагается на шинах низкого напряжения 0,4 кВ ТП. Таким образом, будет компенсирована реактивная мощность во всей системе электроснабжения как потребителей, так и СРШ и ВРУ.

На питающей ТП-10/0,4 кВ корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия (с учётом нагрузки сторонних потребителей), необходимо рассчитать и «выбрать компенсирующие устройства» [1].

«Реактивная мощность, которую способен пропустить через себя силовой трансформатор на питающей ТП-10/0,4 кВ» [1] корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия с учётом нагрузки сторонних потребителей

$$Q_T = \sqrt{(N\beta_T S_{\text{ном.т}})^2 - (P_p + P_{\text{ст.}})^2}, \quad (6)$$

где N – «число трансформаторов на ТП-10/0,4 кВ, шт» [8];

β_T – «коэффициент загрузки трансформаторов ТП-10/0,4 кВ» [8].

«Расчётная мощность КУ на питающей ТП-10/0,4 кВ» [12]:

$$Q_{\text{н.к}} = (Q_p + Q_{\text{ст.}}) - Q_T, \quad (7)$$

где Q_p – «реактивная нагрузка, квар» [12];

$Q_{\text{ст}}$ – «реактивная нагрузка сторонних потребителей, квар» [12].

«Суммарная расчетная мощность КУ» [12]:

$$Q_{\text{КУ}} = n \cdot Q_{\text{н.к.}} \quad (8)$$

«Значит» [13]

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + (Q_p - Q_{КУ})^2}. \quad (9)$$

«Проверка выбранных трансформаторов в нормальном режиме с учётом выбранных КУ по допустимому коэффициенту загрузки» [12]

$$K_3^H = \frac{0,5 \cdot S_p}{S_{ном.т}} \leq 0,85. \quad (10)$$

«Проверка выбранных ранее трансформаторов на ТП-10/0,4» [12]

$$K_3^{n.ав} = \frac{S_p}{S_{ном.т}} \leq 1,7. \quad (11)$$

Согласно (6)

$$Q_T = \sqrt{(2 \cdot 0,8 \cdot 250)^2 - (192,2 + 120)^2} = 250,1 \text{ квар.}$$

Согласно (7)

$$Q_{н.к} = (63,6 + 39,6) - 250,1 = -146,9 \text{ квар.}$$

Поскольку в результате расчётов получилось отрицательное число мощности КУ, следовательно, конденсаторные установки напряжением 0,4 кВ на питающей ТП-10/0,4 кВ не устанавливаются.

Значит, расчётная нагрузка питающей ТП-10/0,4 кВ корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия с учётом сторонних потребителей будет определяться так:

$$S_p = \sqrt{(P_p + P_{ст.})^2 - (Q_p + Q_{ст.})^2}, \text{ кВА.} \quad (12)$$

$$S_p = \sqrt{(192,2 + 120)^2 - (63,6 + 39,6)^2} = 328,8 \text{ кВА.}$$

Проверка выбранных трансформаторов питающей ТП-10/0,4 кВ корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия с учётом сторонних потребителей в нормальном режиме [12]:

$$K_3^H = \frac{0,5 \cdot S_p}{S_{ном.т}} \leq 0,8. \quad (13)$$

Проверка трансформаторов питающей цеховой ТП выполняется

$$K_3^H = \frac{0,5 \cdot 328,8}{250} = 0,66 \leq 0,8.$$

Далее в работе осуществляется проверка этого же силового трансформатора в послеаварийном режиме работы, с учётом подключения дополнительной нагрузки сторонней секции сборных шин 10 кВ в случае выхода в аварийный режим второй питающей линии или трансформатора по каким-либо причинам (условия резервирования) [11].

Проверка проводится при условии работы, когда один из силовых трансформаторов ГПП по какой-либо причине вышел из строя и требуется автоматическое переключение его нагрузки на другой трансформатор, оставшийся в работе.

Проверяется выбранный трансформатор по перегрузочной способности при аварийном отключении второго трансформатора. Проверка выбранных ранее трансформаторов питающей ТП-10/0,4 кВ корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия с учётом сторонних потребителей в ПАВ режиме [12] корпуса механической обработки

деталей типичного машиностроительного предприятия проводится таким образом (принимается максимальное значение коэффициента резервирования, равное 1,4, потому что выбираемый силовой трансформатор для установки на цеховой ТП-10/0,4 кВ – новый, следовательно, износ его отсутствует и не учитывается в работе) [12]:

$$K_3^{n.av} = \frac{S_p}{S_{ном.т}} \leq 1,7. \quad (14)$$

Проверка трансформаторов ТП-10/0,4 кВ в ПАВ режиме выполняется

$$K_3^{n.av} = \frac{328,8}{250} = 1,3 \leq 1,6.$$

Условие проверки силовых трансформаторов на цеховой ТП-10/0,4 кВ в послеаварийном режиме работы, с учётом подключения дополнительной нагрузки потребителей второй сторонней секции сборных шин 0,4 кВ, в работе выполняется.

Следовательно, выбранные в работе силовые трансформаторы марки ТМ-250/10, питающие нагрузку первой и второй секций сборных шин напряжением системы электроснабжения корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия, удовлетворяет условиям проверки на допустимую загрузку в нормальном и послеаварийном режимах работы.

Поэтому данные трансформаторы выдержит указанную фактическую проектную нагрузку и могут быть окончательно приняты для установки на цеховой ТП-10/0,4 кВ проектируемой системы электроснабжения корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия.

Согласно полученных результатов расчёта, в работе можно сделать

следующие выводы:

- поскольку в результате расчётов получилось отрицательное число мощности КУ, следовательно, конденсаторные установки напряжением 0,4 кВ на питающей цеховой ТП-10/0,4 кВ не устанавливаются и расчётное значение электрических нагрузок остаётся неизменным и принимается равным значениям, полученным до проведения выбора КУ;
- с учётом расчёта компенсации реактивной мощности на ТП-10/0,4 кВ, окончательно принимается на питающей ТП-10/0,4 кВ корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия с учётом сторонних потребителей, два трансформатора ТМ-250/10.

2.5 Выбор и проверка проводников

Проводится выбор и проверка сечения проводников напряжением 10 кВ и 0,38/0,22 кВ системы электроснабжения корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия.

Выбору подлежат следующие проводники напряжением 10 кВ и 0,38/0,22 кВ согласно разработанной схеме электрических соединений системы электроснабжения корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия:

- питающая сеть 10 кВ – кабельная линия напряжением 10 кВ от ГПП предприятия до РУ-10 кВ цеховой ТП-10/0,4 кВ;
- питающая сеть 0,38/0,22 кВ – кабельные линии напряжением 0,38/0,22 кВ от шин 0,4 кВ цеховой ТП до ВРУ-0,4 кВ цеха;
- распределительная сеть 0,38/0,22 кВ – от секций сборных шин напряжением 0,4 кВ ВРУ-0,4 кВ до СРШ цеха, и от СРШ до конечных потребителей цеха.

«Проводится определение и выбор сечений кабельной линии напряжением 10 кВ (для питания ТП-10/0,4 кВ)» [12].

Данная линия состоит из двух кабелей (по количеству трансформаторов, установленных на ТП-10/0,4 кВ).

«Известно, что кабельные линии напряжением выше 1 кВ подлежат выбору по экономической плотности тока в нормальном режиме работы» [1]:

$$F_{\text{э}} = \frac{I_{\text{р.}}}{j_{\text{э}}}, \quad (15)$$

где $j_{\text{э}}$ – «экономическая плотность тока, А/мм²» [12].

Для кабельных линий 10 кВ системы электроснабжения корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия, в работе при проведении расчётов принято значение экономической плотности тока «кабельной линии $j_{\text{э}} = 1,6$ А/мм²» [11].

«Значение рабочего тока кабельной линии» [14]

$$I_{\text{р.}} = \frac{S_{\text{р}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном.}}} \quad (16)$$

«Максимальный расчётный ток кабеля с учётом резервирования» [12]

$$I_{\text{р.макс}} = 1,4 I_{\text{р.макс}} \quad (17)$$

«Условие проверки кабеля по току нормального режима» [14]:

$$I_{\text{дол}} \geq I_{\text{р.}}, \quad (18)$$

где $I_{\text{дол}}$ – «длительно – допустимый ток выбранного кабеля» [1].

«Условие проверки кабеля по току послеаварийного режима» [14]:

$$I_{\text{дон}} \geq I_{p.\text{max}}, \quad (19)$$

где $I_{p.\text{max}}$ – «максимальный расчётный ток линии, А» [12].

«Потеря напряжения для выбранного сечения кабельных линий» [12]

$$\Delta U \% = \frac{S_p \cdot l \cdot (r_0 \cdot \cos \varphi + x_0 \cdot \sin \varphi)}{U_n^2} \cdot 100, \quad (20)$$

где S_p – «значение расчётной полной нагрузки ТП-10/0,4 кВ, кВА» [12];

l – «длина кабельной линии, км» [12].

«Для питающего кабеля ТП-10/0,4 кВ»

$$I_{p.} = \frac{250}{\sqrt{3} \cdot 10} = 14,5 \text{ A.}$$

$$F_9 = \frac{14,5}{1,6} = 9 \text{ мм}^2.$$

«Принимается кабель марки АСБ-10 (3×16) с предельно-допустимым током $I_{\text{дон}}=75 \text{ A}$ » [1]. Прокладка – в железобетонных кабельных лотках стандартных конструкций. Данный способ прокладки является современным и имеет значительные преимущества перед «классическим» способом монтажа кабельных линий в траншеях (удобство монтажа, обслуживания и ремонта кабелей, улучшенный способ охлаждения кабелей, доступ к кабелям для проведения ревизии и ремонтных работ и т.д.).

Проводится проверка выбранного сечения кабеля 10 кВ:

– на допустимый нагрев в нормальном режиме работы [12]:

$$75 \text{ A} \geq 14,5 \text{ A.}$$

– с учётом перегрева в максимальном режиме [12]:

$$I_{p.\max} = 1,4 \cdot 14,5 = 20,3 \text{ A.}$$

$$75 \text{ A} \geq 20,3 \text{ A.}$$

– на допустимую потерю напряжения в нормальном режиме [12]:

$$\Delta U_n = \frac{\sqrt{3} \cdot 328,8 \cdot 0,5 \cdot (1,17 \cdot \cos 0,95 + 0,066 \cdot \sin 0,95)}{6000} \cdot 100\% = 1,12\%.$$

Условие проверки выполняется

$$1,12 \% < 5\%.$$

«В работе проводится выбор кабельных линий» [12] напряжением 0,38/0,22 кВ по допустимому нагреву по условию [1]

$$I'_{\text{доп}} \geq I_p. \quad (21)$$

где $I'_{\text{доп}}$ - длительно допустимый ток кабеля с учётом отклонений от нормальных условий прокладки [3], А.

В работе «принимаются к использованию в сети 0,38/0,22 кВ силовые кабели, с медной жилой, с изоляцией из сшитого полиэтилена, оболочкой из ПВХ» [17], марки ПвВГ.

Выбранные сечения кабеля проверяются на допустимый нагрев в послеаварийном режиме работы по условию [1]

$$I'_{\text{доп}} \geq I_{p.\max}, \quad (22)$$

где $I_{p.\max}$ – максимальный расчётный ток линии, А [12].

Также выбранное сечение кабеля подлежит проверке на допустимую потерю напряжения аналогично кабелю 10 кВ.

Проводится выбор питающей линии от ТП-10/0,4 кВ до ВРУ (первая секция шин – СШ1). Расчётный ток для СШ1 ВРУ определён в работе ранее при расчёте электрических нагрузок и равен $I_p = 163,6$ А. Предусматривается прокладка данного кабеля в железобетонных кабельных лотках стандартных конструкций.

«Предварительно выбирается кабель марки ПвВГ (5×50) с $I_{\text{дон}} = 190$ А» [1]. Допустимый ток данного кабеля с учётом отклонений от стандартных условий прокладки равен:

$$I'_{\text{дон}} = 1 \cdot 190 = 190 \text{ А.}$$

«Условие проверки кабеля по нагреву током нормального режима» [12] выполняются

$$I'_{\text{дон}} = 190 \text{ А} \geq 163,6 \text{ А.}$$

Условие проверки кабеля по нагреву в послеаварийном режиме не выполняется

$$I_{p.\text{max}} = 1,4 \cdot 163,6 = 229,1 \text{ А.}$$

$$190 \text{ А} \leq 229,1 \text{ А.}$$

Следовательно, необходимо принять кабель большего сечения.

Принимается кабель марки ПвВГ (5×70) с $I_{\text{дон}} = 235$ А [1]

Условие «проверки кабеля по нагреву в послеаварийном режиме выполняется» [12]

$$235 A \geq 229,1 A.$$

«Потери напряжения в кабельной линии» [12]:

$$\Delta U_{\%} = \frac{\sqrt{3} \cdot 106,3 \cdot 0,1 \cdot (0,28 \cdot \cos 0,95 + 0,042 \cdot \sin 0,95)}{380} \cdot 100\% = 2,62\%.$$

Для принятого сечения кабеля, условие проверки по допустимой потере напряжения выполняется

$$2,62 \% < 5\%.$$

Окончательно принимается в качестве кабеля для питающей линии «ТП-10/0,4 кВ – СШ1 ВРУ» современный тип силового кабеля марки ПвВГ (5×70) с $I_{доп} = 235 A$ (прокладка – в железобетонных кабельных лотках стандартных конструкций).

«Аналогично проводятся расчёты для остальных кабельных линий питающей сети корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия и результаты приводятся в таблице 4» [12].

Таблица 4 – Результаты выбора кабельных линий питающей сети 0,38/0,22 кВ корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия

Наименование	I_p , A	$I_{p,max}$, A	Марка кабеля	$I'_{доп}$, A
Питающая сеть «ТП-10/0,4 кВ – ВРУ»				
СШ1 ВРУ	163,6	229,1	ПвВГ (5×70)	235
СШ2 ВРУ	147,9	207,1	ПвВГ (5×70)	235
Питающая сеть «ВРУ – СРШ (ЩРО, ЩАО)»				
СРШ1	90,9	127,3	ПвВГ (5×25)	133
СРШ2	65,2	91,3	ПвВГ (5×16)	104
СРШ3	69,2	96,9	ПвВГ (5×16)	104
СРШ4	35,0	49,0	ПвВГ (5×6)	59
СРШ5	35,7	50,0	ПвВГ (5×6)	59
ЩРО	13,9	19,5	ПвВГ (5×2,5)	37
ЩАО	1,4	2,0	ПвВГ (5×2,5)	37

Результаты выбора кабельных линий питающей сети 0,38/0,22 кВ корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия говорят о том, что все выбранные кабели удовлетворяют всем условиям проверок.

Аналогично выбирается сечение кабелей распределительной сети 0,38/0,22 кВ (от СРШ к потребителям) корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия (таблица 5).

В работе для кабелей распределительной сети до 1 кВ (0,38/0,22 кВ) корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия также выбираются современные пожаростойкие силовые кабели силовые кабели, с медной жилой, с изоляцией из сшитого полиэтилена, оболочкой из ПВХ, марки ПвВГ с наличием пяти жил (в зависимости от режима нейтрали, а также количества фаз потребителей).

Все потребители предприятия – трёхфазные, поэтому выбор пятижильных кабелей оправдан. Такие кабели рекомендуются современными требованиями технически-нормативной документацией [1,7,12].

Таблица 5 – Результаты выбора кабельных линий распределительной сети 0,38/0,22 кВ корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия

Номер потребителя, п/п	I_p, A	$I_{p,max}, A$	Марка кабеля	$I'_{доп}, A$
Потребители СРШ1				
4	7,1	9,9	ПвВГ (5×2,5)	37
5	12,2	17,1	ПвВГ (5×2,5)	37
6	6,5	9,1	ПвВГ (5×2,5)	37
7	48,6	68,1	ПвВГ (5×10)	79
8.1	1,8	2,5	ПвВГ (5×2,5)	37
8.2	1,8	2,5	ПвВГ (5×2,5)	37
11	4,9	6,9	ПвВГ (5×2,5)	37
20	7,3	10,2	ПвВГ (5×2,5)	37
21	7,3	10,2	ПвВГ (5×2,5)	37
22	3,6	2,1	ПвВГ (5×2,5)	37
Потребители СРШ2				
15.1	2,4	3,4	ПвВГ (5×2,5)	37
15.2	2,4	3,4	ПвВГ (5×2,5)	37
16	35,6	49,7	ПвВГ (5×6)	59
17.1	8,9	12,5	ПвВГ (5×2,5)	37

Продолжение таблицы 5

Номер потребителя, п/п	I_p, A	$I_{p,max}, A$	Марка кабеля	$I'_{доп}, A$
17.2	8,9	12,5	ПвВГ (5×2,5)	37
18.1	3,6	2,1	ПвВГ (5×2,5)	37
18.2	3,6	2,1	ПвВГ (5×2,5)	37
19.1	3,6	2,1	ПвВГ (5×2,5)	37
19.2	3,6	2,1	ПвВГ (5×2,5)	37
Потребители СРШЗ				
24.1	6,0	8,4	ПвВГ (5×2,5)	37
24.2	6,0	8,4	ПвВГ (5×2,5)	37
25.1	7,3	10,2	ПвВГ (5×2,5)	37
25.2	7,3	10,2	ПвВГ (5×2,5)	37
26.1	7,3	10,2	ПвВГ (5×2,5)	37
26.2	7,3	10,2	ПвВГ (5×2,5)	37
27	35,6	49,7	ПвВГ (5×6)	59
Потребители СРШ4				
9.1	4,9	6,9	ПвВГ (5×2,5)	37
9.2	4,9	6,9	ПвВГ (5×2,5)	37
9.3	4,9	6,9	ПвВГ (5×2,5)	37
10.1	4,9	6,9	ПвВГ (5×2,5)	37
10.2	4,9	6,9	ПвВГ (5×2,5)	37
10.3	4,9	6,9	ПвВГ (5×2,5)	37
10.4	4,9	6,9	ПвВГ (5×2,5)	37
12	4,9	6,9	ПвВГ (5×2,5)	37
Потребители СРШ4				
1	4,9	6,9	ПвВГ (5×2,5)	37
2	3,6	5,1	ПвВГ (5×2,5)	37
3	4,9	6,9	ПвВГ (5×2,5)	37
4.1	17,8	24,9	ПвВГ (5×2,5)	37
13	2,4	3,4	ПвВГ (5×2,5)	37
14	2,4	3,4	ПвВГ (5×2,5)	37
23	3,6	5,1	ПвВГ (5×2,5)	37

Все выбранные в работе силовые кабели напряжением 10 кВ и 0,338/0,22 кВ питающей и распределительной сети системы электроснабжения корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия удовлетворяют всем требуемым условиям выбора и проверки по допустимому нагреву в нормальном и послеаварийном режимах работы, а также по допустимой потере напряжения в выбранной кабельной линии.

Выбранные кабельные линии в работе показаны в предложенной разработанной схеме электроснабжения корпуса механической обработки

деталей типичного машиностроительного предприятия, представленной на графическом листе 2.

Кроме того, узлы монтажа кабельных линий питающей сети 10 кВ и 0,38/0,22 кВ в железобетонных кабельных лотках стандартных конструкций, в работе показаны на графическом листе 5.

2.6 Расчёт токов короткого замыкания

Для расчёта токов короткого замыкания (далее – КЗ) в рассматриваемой системе электроснабжения корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия, по принятой в работе схеме электроснабжения (графический лист 2) составляется расчётная схема сети и схема замещения для данного участка сети, а также для всей схемы в целом по методике [12].

Для наглядности, все схемы, применяемые для расчёта токов КЗ, приведены в работе последовательно.

Так как в предложенной в работе схеме электрических соединений системы электроснабжения корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия каждый силовой трансформатор цеховой ТП-10/0,4 кВ работает на свою секцию шин 10 кВ отдельно (применяется раздельный режим работы), с целью упрощения, для расчёта токов КЗ рассматривается один из участков сети «линия – трансформатор – шины 10 кВ – нагрузка», по которой составляется схема замещения.

Для остальных участков (вторая часть системы электроснабжения объекта) схемы типичных участков сети «линия – трансформатор – шины 10 кВ – нагрузка», результаты полученных токов КЗ в системе электроснабжения корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия, будут отличаться незначительно, находясь в допустимых пределах принятых погрешностей [12].

«Составляется расчётная схема (рисунок 2) и нумеруется на ней точки КЗ» [12]. «На рисунке 2 показаны расчётные точки, в которых необходимо определить токи короткого замыкания (КЗ)» [12].

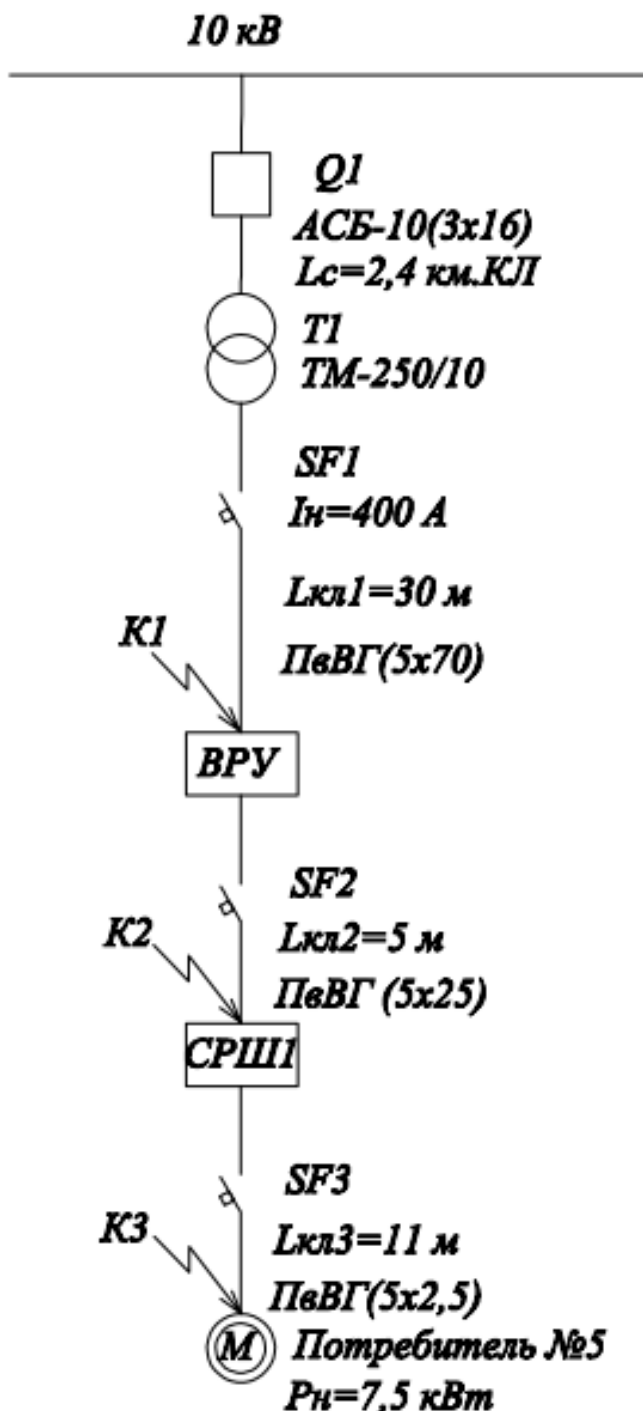


Рисунок 2 – Расчётная схема КЗ

«Исходя из расчётной схемы, составляется исходная схема замещения, на которую наносятся все рассчитанные параметры (рисунок 3)» [12].

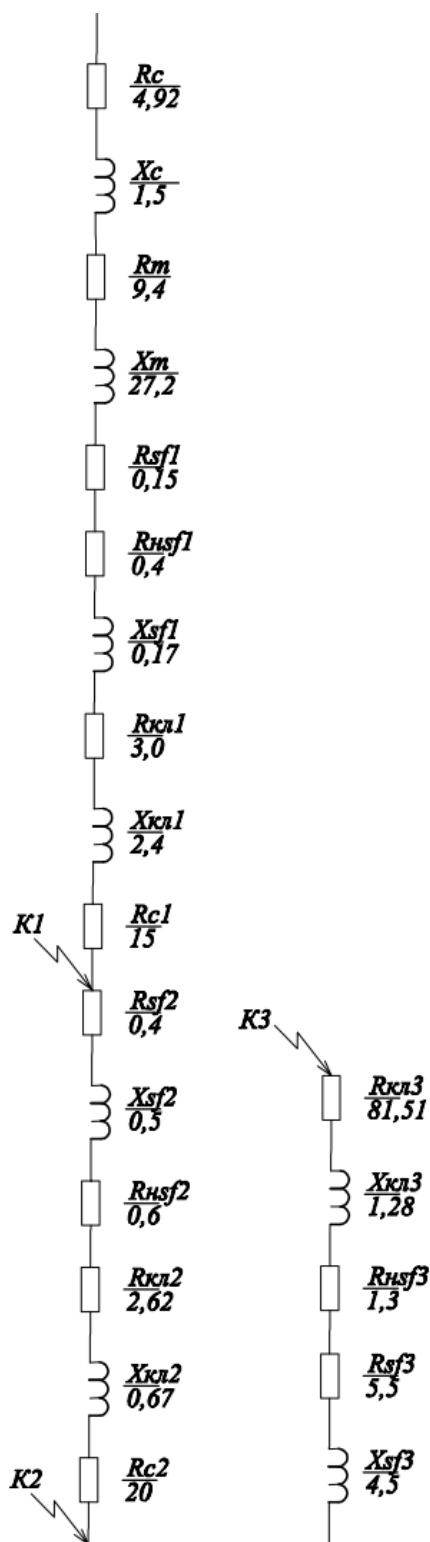


Рисунок 3 – Исходная схема замещения для расчётов токов КЗ

«Задача расчёта токов КЗ – рассчитать токи трёхфазного, двухфазного и величину ударных токов КЗ в сети 10 кВ и на вводе 0,4 кВ» [12].

Это будут максимальные токи КЗ, которые будут использованы в работе далее при выборе и проверке оборудования.

«Величина базисного напряжения принимается выше номинального напряжения сети на 5%» [12].

«Исходные данные для проведения расчёта» [12]:

- $L_c = 2,4$ км; где L_c – длина линии от ГПП до ТП-10/0,4 кВ [12];
- $L_{кл1} = 30$ м, где $L_{кл1}$ – длина линии от ТП-10/0,4 кВ до ВРУ-0,4 кВ [12];
- $L_{кл2} = 5$ м, где $L_{кл2}$ – длина линии от ВРУ-0,4 кВ до СРШ1 [12];
- $L_{кл3} = 11$ м, где $L_{кл3}$ – длина линии от СРШ1 до потребителя [12] номер 5 по плану расположения потребителей объекта.

Далее в работе «вычисляются сопротивления элементов и наносятся на схему замещения» [12].

«Системы» [12]

$$I_c = \frac{S_T}{\sqrt{3} \cdot U_c}, \text{ А.} \quad (23)$$

$$I_c = \frac{250}{\sqrt{3} \cdot 10} = 14,4 \text{ А.}$$

По [8, с. 71] удельное индуктивное сопротивление КЛ марки АСБ-10(3×16): $x_0 = 0,4$ Ом/км; $r_0 = 1,28$ Ом/км.

$$X'_c = x_0 L_c, \text{ Ом}; \quad (24)$$

$$R'_c = r_0 L_c, \text{ Ом}; \quad (25)$$

$$X'_c = 0,4 \cdot 2,4 = 0,96 \text{ Ом};$$

$$R'_c = 1,28 \cdot 2,4 = 3,07 \text{ Ом.}$$

Сопротивления приводятся к низкому напряжению (НН):

$$R_c = R'_c \left(\frac{U_{НН}}{U_{ВН}} \right)^2, \text{ МОм}; \quad (26)$$

$$X_c = X'_c \left(\frac{U_{НН}}{U_{ВН}} \right)^2, \text{ МОм.} \quad (27)$$

$$R_c = 3,072 \cdot (0,4 / 10)^2 \cdot 10^3 = 4,92 \text{ мОм};$$

$$X_c = 0,96 \cdot (0,4 / 10)^2 \cdot 10^3 = 1,5 \text{ мОм}.$$

«Для трансформатора ТМ-250/10: $R_T = 9,4 \text{ мОм}$, $X_T = 27,2 \text{ мОм}$; $Z_T^{(1)} = 312 \text{ мОм}$; $Z_T = 28,7 \text{ мОм}$ » [12].

«Для автоматов схемы: SF₁: $R_{SF1} = 0,15 \text{ мОм}$; $X_{SF1} = 0,17 \text{ мОм}$; $R_{HSF1} = 0,4 \text{ мОм}$; SF₂: $R_{SF3} = 0,4 \text{ мОм}$; $X_{SF3} = 0,5 \text{ мОм}$; $R_{HSF3} = 0,6 \text{ мОм}$; SF₃: $R_{SF5} = 5,5 \text{ мОм}$; $X_{SF5} = 4,5 \text{ мОм}$; $R_{HSF5} = 1,3 \text{ мОм}$ » [12].

«Для кабельных линий: КЛ1 (ПВВГ (5×70)): $r_{01} = 0,1 \text{ мОм/м}$; $x_{01} = 0,08 \text{ мОм/м}$ » [12].

«При этом

$$R_{кЛ1} = r_{01} \cdot L_{кЛ1}, \text{ мОм}, \quad (28)$$

где « $R_{кЛ1}$ – активное сопротивление КЛ» [12].

$$X_{кЛ1} = x_{01} \cdot L_{кЛ1}, \text{ мОм}, \quad (29)$$

где « $X_{кЛ1}$ – индуктивное сопротивление КЛ» [12].

Для КЛ в работе:

$$R_{кЛ1} = 0,1 \cdot 30 = 3,0 \text{ мОм}.$$

$$X_{кЛ1} = 0,08 \cdot 30 = 2,4 \text{ мОм}.$$

КЛ2 (ПВВГ (5×25)): $r_{02} = 0,524 \text{ мОм/м}$; $x_{02} = 0,133 \text{ мОм/м}$.

Значит, для КЛ2:

$$R_{кЛ2} = 0,524 \cdot 5 = 2,62 \text{ мОм}.$$

$$X_{кЛ2} = 0,133 \cdot 5 = 0,67 \text{ мОм}.$$

КЛЗ (ПВВГ (5×2,5)): $r_{03} = 7,41$ мОм; $x_{03} = 0,144$ мОм.

Значит, для КЛЗ:

$$R_{\text{клз}} = 7,41 \cdot 11 = 81,51 \text{ мОм.}$$

$$X_{\text{клз}} = 0,116 \cdot 11 = 1,28 \text{ мОм.}$$

«Принимается для ступеней распределения: $R_{c1} = 5$ мОм; $R_{c2} = 20$ мОм по» [12].

«Упрощается исходная схема замещения путём расчёта эквивалентных сопротивлений схемы на участках между точками КЗ» [12]. «Полученные результаты наносятся на схему (рисунок 4)» [12].

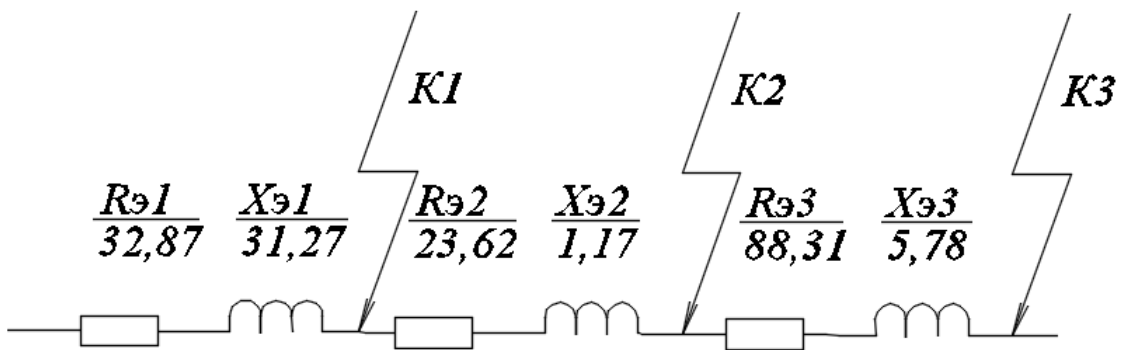


Рисунок 4 – Схема замещения упрощенная

«Выполняется расчёт эквивалентных сопротивлений для упрощённой схемы замещения» [12]

$$R_{\text{э}1} = R_c + R_T + R_{\text{SF1}} + R_{\text{H}_{\text{SF1}}} + R_{c1} + R_{\text{кл1}}, \text{ мОм.} \quad (30)$$

$$R_{\text{э}1} = 4,92 + 9,4 + 0,15 + 0,4 + 15 + 3 = 32,87 \text{ мОм.}$$

$$X_{\text{э}1} = X_c + X_T + X_{\text{SF1}} + X_{\text{кл1}}, \text{ мОм.} \quad (31)$$

$$X_{\text{э}1} = 1,5 + 27,2 + 0,17 + 2,4 = 31,27 \text{ мОм.}$$

$$R_{\text{э}2} = R_{\text{SF2}} + R_{\text{H}_{\text{SF2}}} + R_{\text{кл2}} + R_{c2}, \text{ мОм.} \quad (32)$$

$$R_{\text{э}2} = 0,4 + 0,6 + 2,62 + 20 = 23,62 \text{ мОм.}$$

$$X_{\vartheta 2} = X_{SF2} + X_{к12}, \text{ МОМ.} \quad (33)$$

$$X_{\vartheta 2} = 0,5 + 0,67 = 1,17 \text{ МОМ.}$$

$$R_{\vartheta 3} = R_{SF3} + R_{H_{SF3}} + R_{к13}, \text{ МОМ.} \quad (34)$$

$$R_{\vartheta 3} = 5,5 + 1,3 + 81,51 = 88,31 \text{ МОМ.}$$

$$X_{\vartheta 3} = X_{SF3} + X_{к13}, \text{ МОМ.} \quad (35)$$

$$X_{\vartheta 3} = 4,5 + 1,28 = 5,78 \text{ МОМ.}$$

«Вычисляются сопротивления до каждой точки КЗ» [12]:

$$R_{к1} = R_{\vartheta 1}, \text{ МОМ.} \quad (36)$$

$$R_{к1} = 32,87 \text{ МОМ.}$$

$$X_{к1} = X_{\vartheta 1}, \text{ МОМ.} \quad (37)$$

$$X_{к1} = 31,27 \text{ МОМ.}$$

$$Z_{к1} = \sqrt{R_{к1}^2 + X_{к1}^2}, \text{ МОМ.} \quad (38)$$

$$Z_{к1} = \sqrt{32,87^2 + 31,27^2} = 45,37 \text{ МОМ.}$$

$$R_{к2} = R_{\vartheta 1} + R_{\vartheta 2}, \text{ МОМ.} \quad (39)$$

$$R_{к2} = 32,87 + 23,62 = 56,48 \text{ МОМ.}$$

$$X_{к2} = X_{\vartheta 1} + X_{\vartheta 2}, \text{ МОМ.} \quad (40)$$

$$X_{к2} = 31,27 + 1,17 = 32,44 \text{ МОМ.}$$

$$Z_{к2} = \sqrt{R_{к2}^2 + X_{к2}^2}, \text{ МОМ.} \quad (41)$$

$$Z_{к2} = \sqrt{56,48^2 + 32,44^2} = 65,13 \text{ МОМ.}$$

$$R_{к3} = R_{к2} + R_{\vartheta 3}, \text{ МОМ.} \quad (42)$$

$$R_{к3} = 56,48 + 88,31 = 144,79 \text{ МОМ.}$$

$$X_{к3} = X_{к2} + X_{\vartheta 3}, \text{ МОМ.} \quad (43)$$

$$X_{к3} = 32,44 + 5,78 = 38,22 \text{ МОМ.}$$

$$Z_{к3} = \sqrt{R_{к3}^2 + X_{к3}^2}, \text{ МОМ.} \quad (44)$$

$$Z_{к2} = \sqrt{144,79^2 + 38,22^2} = 149,75 \text{ мОм.}$$

Отношения активных и индуктивных сопротивлений схемы

$$R_{к1} / X_{к1} = 32,87 / 31,27 = 1,05.$$

$$R_{к2} / X_{к2} = 56,48 / 32,44 = 1,74.$$

$$R_{к3} / X_{к3} = 144,79 / 38,22 = 3,79.$$

Определяются ударные коэффициенты по [7, с.59, рис.1.9.1].

$$K_{y1} = F(R_k / X_k). \quad (45)$$

$$K_{y1} = F(1,05) = 1,0.$$

$$K_{y2} = F(1,74) = 1,0.$$

$$K_{y3} = F(3,79) = 1,0.$$

«Определяются 3-фазные и 2-фазные токи КЗ, а также ударные токи в расчётных точках схемы» [12]. «Значение токов трёхфазного КЗ» [12]:

$$I_{к1}^{(3)} = \frac{U_k}{\sqrt{3} \cdot Z_k}, \text{ кА.} \quad (46)$$

$$I_{к1}^{(3)} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 45,37} \cdot 10^3 = 5,09 \text{ кА.}$$

$$I_{к2}^{(3)} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 65,13} \cdot 10^3 = 3,37 \text{ кА.}$$

$$I_{к3}^{(3)} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 149,75} \cdot 10^3 = 0,85 \text{ кА.}$$

Значение ударных токов трёхфазного КЗ

$$i_{\text{ук}} = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{\text{к}}^{(3)}, \text{ кА.} \quad (47)$$

где K_y - ударный коэффициент.

$$i_{\text{ук1}} = \sqrt{2} \cdot 1 \cdot 5,09 = 7,18 \text{ кА.}$$

$$i_{\text{ук2}} = \sqrt{2} \cdot 1 \cdot 3,37 = 4,75 \text{ кА.}$$

$$i_{\text{ук3}} = \sqrt{2} \cdot 1 \cdot 0,85 = 1,2 \text{ кА.}$$

Значение токов двухфазного КЗ

$$I_{\text{к}}^{(2)} = 0,87 \cdot I_{\text{к1}}^{(3)}, \text{ кА.} \quad (48)$$

$$I_{\text{к1}}^{(2)} = 0,87 \cdot 5,09 = 4,43 \text{ кА.}$$

$$I_{\text{к2}}^{(2)} = 0,87 \cdot 3,37 = 2,93 \text{ кА.}$$

$$I_{\text{к3}}^{(2)} = 0,87 \cdot 0,85 = 0,74 \text{ кА.}$$

«Составляется схема замещения для расчета однофазных токов КЗ (рисунок 5) и определяются сопротивления схемы» [12].

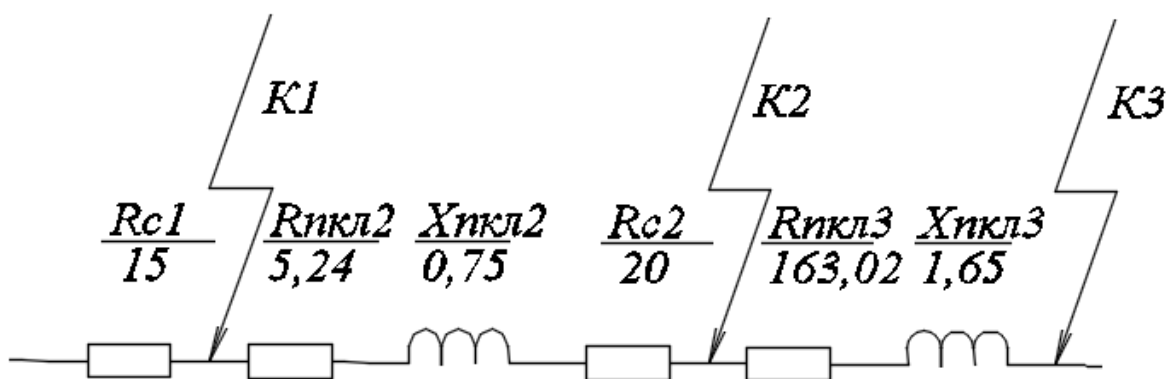


Рисунок 5 – Схема замещения для расчета однофазных токов КЗ

«Для кабельных линий» [12]:

$$R_{\text{пкЛ2}} = 2 \cdot r_0 \cdot L_{\text{кЛ2}}, \text{ мОм.} \quad (49)$$

$$R_{\text{пкЛ2}} = 2 \cdot 0,524 \cdot 5 = 5,24 \text{ мОм.}$$

$$X_{\text{пкЛ2}} = x_{0\text{п}} \cdot L_{\text{кЛ2}}, \text{ мОм.} \quad (50)$$

$$X_{\text{пкЛ2}} = 0,15 \cdot 5 = 0,75 \text{ мОм.}$$

$$R_{\text{пкЛ3}} = 2 \cdot r_0 \cdot L_{\text{кЛ3}}, \text{ мОм.} \quad (51)$$

$$R_{\text{пкЛ3}} = 2 \cdot 7,41 \cdot 11 = 163,02 \text{ мОм.}$$

$$X_{\text{пкЛ3}} = x_{0\text{п}} \cdot L_{\text{кЛ3}}, \text{ мОм.} \quad (52)$$

$$X_{\text{пкЛ3}} = 0,15 \cdot 11 = 1,65 \text{ мОм.}$$

Определяются сопротивления петли «фаза-ноль» ко всем точкам схемы:

$$Z_{\text{п1}} = 15 \text{ мОм.}$$

$$R_{\text{п2}} = R_{\text{с1}} + R_{\text{пкЛ2}} + R_{\text{с2}}, \text{ мОм.} \quad (53)$$

$$R_{\text{п2}} = 15 + 5,24 + 20 = 35,24 \text{ мОм.}$$

$$X_{\text{п2}} = X_{\text{пкЛ2}}, \text{ мОм.} \quad (54)$$

$$X_{\text{п2}} = 0,75 \text{ мОм.}$$

$$Z_{\text{п2}} = \sqrt{R_{\text{п2}}^2 + X_{\text{п2}}^2}, \text{ мОм.} \quad (55)$$

$$Z_{\text{п2}} = \sqrt{35,24^2 + 0,75^2} = 35,25 \text{ мОм.}$$

$$R_{\text{п3}} = R_{\text{п2}} + R_{\text{пкЛ3}}, \text{ мОм.} \quad (56)$$

$$R_{\text{п3}} = 35,24 + 163,02 = 198,26 \text{ мОм.}$$

$$X_{\text{п3}} = X_{\text{п2}} + X_{\text{пкЛ3}}, \text{ мОм.} \quad (57)$$

$$X_{\text{п3}} = 0,75 + 1,65 = 2,4 \text{ мОм.}$$

$$Z_{\text{п3}} = \sqrt{R_{\text{п3}}^2 + X_{\text{п3}}^2}, \text{ мОм.} \quad (58)$$

$$Z_{\text{п3}} = \sqrt{198,26^2 + 2,4^2} = 198,27 \text{ мОм.}$$

Значение «тока однофазного КЗ в расчётных точках» [12]:

$$I_{ki}^{(1)} = \frac{U_{кф}}{Z_{\pi i} + Z_T / 3}, \text{ кА.} \quad (59)$$

$$I_{к1}^{(1)} = \frac{220}{15 + 312 / 3} = 1,85 \text{ кА.}$$

$$I_{к2}^{(1)} = \frac{220}{35,25 + 312 / 3} = 1,57 \text{ кА.}$$

$$I_{к3}^{(1)} = \frac{220}{198,27 + 312 / 3} = 0,73 \text{ кА.}$$

«Все полученные в работе результаты расчёта токов КЗ заносятся в таблицу 6» [12].

Таблица 6 – Результаты расчёта токов КЗ

Точка КЗ	R _к , МОм	X _к , МОм	Z _к , МОм	R _к / X _к	K _y /q	I _к ⁽³⁾ , кА	i _y , кА	I _к ⁽²⁾ , кА	Z _п , МОм	I _к ⁽¹⁾ , кА
К1	32,87	31,27	45,37	1,05	1,0/1,0	5,09	7,18	4,43	15	1,85
К2	56,48	32,44	65,13	1,74	1,0/1,0	3,37	4,75	2,93	35,25	1,57
К3	144,79	38,22	149,75	3,79	1,0/1,0	0,85	1,20	0,74	198,27	0,73

2.7 Выбор основного оборудования и его проверка

«В работе выбор электрических аппаратов высокого напряжения в общем виде производится по номинальным значениям напряжения и тока по и формулам» [12]:

$$U_{уст} \leq U_n; \quad (60)$$

$$I_{раб.макс.} \leq I_n. \quad (61)$$

«Кроме того, выбранные аппараты высокого напряжения подлежат следующим проверкам по условиям отключения токов КЗ и ударных токов, а

также на термическую и динамическую стойкость по условиям», приведённым ниже [12].

Для «отключающих аппаратов проверка на симметричный ток отключения» [12]:

$$I_{п.т} \leq I_{отк.ном}. \quad (62)$$

«В данном случае учитывается симметричный (трёхфазный) ток КЗ» [12].

«Для отключающих аппаратов в данной работе должна быть проведена проверка на отключение апериодической составляющей тока КЗ» [12]:

$$i_{а.т} \leq i_{а.ном} = \sqrt{2} \cdot \beta_{ном} \cdot I_{отк.ном}, \quad (63)$$

где $\beta_{ном}$ – «номинальное значение относительного содержания апериодической составляющей в отключаемом токе короткого замыкания» [12];

$i_{а.ном}$ – «номинальное допускаемое значение апериодической составляющей в отключаемом токе короткого замыкания для времени срабатывания релейной защиты» [12].

«Проверка электрических аппаратов на электродинамическую стойкость» [12]:

- по условию номинального тока отключения [12]

$$I'' \leq I_{отк.ном}; \quad (64)$$

- по величине ударного тока [6]:

$$i_y \leq i_{дин.}, \quad (65)$$

где $i_{дин}$ – «номинальный ток электродинамической стойкости электрического аппарата».

«Проверка аппаратов на термическую стойкость» [12]

$$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T, \quad (66)$$

где I_T – «предельный ток термической стойкости аппарата» [12];

t_T – «длительность протекания тока термической стойкости аппарата, с» [12].

«Предварительно выбирается для установки в РУ-10 кВ ГПП выключатель марки ВВ/TEL-10-20/630-У2-48 и проводится его проверка» [12].

Данные о токе трёхфазного КЗ и ударном токе на шинах 10 кВ ТП-10/0,4 кВ принимаются по данным энергосистемы.

$$U_{ном} = 10 \text{ кВ} = U_{сети} = 10 \text{ кВ}.$$

$$I_{ном} = 630 \text{ А} > I_{расч} = 20,2 \text{ А}.$$

$$I_{откл} = 20 \text{ кА} > I_{к1} = 6,0 \text{ кА}.$$

$$i_{пр.скв} = 20 \text{ кА} > i_{ук1} = 15,27 \text{ кА}.$$

«Окончательно выбирается для установки в РУ-10 кВ ГПП выключатель высокого напряжения марки ВВ/TEL-10-20/630-У2-48» [12].

«Результаты выбора аппаратов 10 кВ объекта исследования приведены в таблице 7» [12].

Таблица 7 – Результаты выбора электрических аппаратов напряжением 10 кВ системы электроснабжения корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия

Наименование электрического аппарата	Марка (типономинал) электрического аппарата
Выключатель высокого напряжения	ВВ/TEL-10-20/3600-У2-48
Предохранитель плавкий	ПК103-10-40-31,5/У3
Трансформатор тока	ТПЛ-10
Трансформатор напряжения	НАМИ-10
Ограничители перенапряжений	ОПН-КР/TEL-10/12 УХЛ1
Выключатель нагрузки	ВНР-10/400-10-У3

Выбранные типы и марки электрических аппаратов номинальным напряжением 10 кВ системы электроснабжения корпуса механической обработки деталей показаны в графической части работы.

Далее в работе проводится непосредственный выбор и проверка современных электрических автоматов марки ВА, которые служат для защиты и коммутации питающей и распределительной электрической сети напряжением 0,38/0,22 кВ объекта проектирования.

В схеме электроснабжения корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия, автоматы устанавливаются в следующих шкафах:

- в шкафах РУ-0,4 кВ питающей ТП-10/0,4 кВ;
- в шкафах ВРУ-0,4 кВ;
- в шкафах СРШ (ЩРО, ЩАО).

Автоматы выбираются по условиям, приведённым ниже.

«Номинальные токи автомата и уставки теплового расцепителя» [15]:

$$I_{ном.а} \geq I_p. \quad (67)$$

$$I_{у.т.р} \geq 1,1 \cdot I_p. \quad (68)$$

«Ток уставки электромагнитного расцепителя» [14]:

$$I_{ном.э.р} \geq K_{то} \cdot I_p \geq I_{к}, \quad (69)$$

где « $K_{то}$ – кратность тока отсечки» [12].

«В случае, если автомат выполнен с регулируемым электромагнитным расцепителем, зависящим от тока уставки теплового расцепителя» [12]:

$$I_{у.э.р} \geq K \cdot I_{у.т.р}, \quad (70)$$

где K – «кратность тока уставки ЭМ-расцепителя» [12].

«Выбирается автомат ввода цеховой ТП-10/0,4 кВ с расчётным током, равным рабочему току силового трансформатора, установленного на ТП-10/0,4 кВ, с учётом резервирования» [14]

$$I_{р.} = 1,4 \frac{S_{ном.т}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.}}. \quad (71)$$

$$I_{р.} = 1,4 \frac{250}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 538,5 \text{ A.}$$

Предварительно выбирается автомат марки ВА 52-39 с $I_{ном.а} = 630 \text{ A}$ с регулируемым электромагнитным расцепителем, ток уставки которого зависит от тока уставки теплового расцепителя [14] и проводится его проверка.

Условия выбора и проверок автомата выполняются

$$I_{ном.а} = 630 \text{ A} \geq I_{р.} = 538,5 \text{ A.}$$

$$I_{у.т.р} = 630 \text{ A} \geq 1,1 \cdot 538,5 = 592,4 \text{ A.}$$

$$I_{у.э.р} = 10 \cdot 630 = 6300 \text{ A} \geq 5090 \text{ A.}$$

«Принимается автомат марки ВА 52-39 со следующими номинальными техническими параметрами» [13]:

$$U_{ном.а}=380 \text{ В};$$

$$I_{ном.а}=630 \text{ А};$$

$$I_{у.т.р}=630 \text{ А};$$

$$I_{у.э.р}=6300 \text{ А};$$

$$K = 10.$$

«Выбор остальных автоматических выключателей питающей сети системы электроснабжения корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия осуществлён аналогично (таблица 8)» [12].

Таблица 8 – Результаты выбора автоматов питающей сети напряжением 0,38/0,22 кВ системы электроснабжения корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия

Наименование	I_p, A	Марка автомата	$I_{ном.а}, A$	$I_{у.т.р}, A$	$I_{у.э.р}, A$
Питающая ТП-10/0,4 кВ					
Вводной	538,5	ВА 52-39	630	630	6300
Секционный	430,8	ВА 52-39	630	500	5000
ВРУ					
Вводной СШ1	229,1	ВА 53-37	250	250	2500
Вводной СШ2	207,1	ВА 53-37	250	250	2500
Секционный	184,0	ВА 53-37	250	250	2500
СРШ1	127,3	ВА 52-33	160	160	1600
СРШ2	91,3	ВА 52-33	160	125	1250
СРШ3	96,9	ВА 52-33	160	125	1250
СРШ4	49,0	ВА 52-31	100	63	630
СРШ5	50,0	ВА 52-31	100	63	630
ЩРО	19,5	ВА 52-31	100	25	250
ЩАО	2,0	ВА 52-31	100	6,3	63

Все выбранные автоматы питающей сети напряжением 0,38/0,22 кВ проектируемого корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия удовлетворяют условиям выбора и проверок.

Поэтому они могут быть выбраны для установки в соответствующем месте проектируемой системы электроснабжения.

Результаты выбора и проверки остальных автоматов для защиты и коммутации объекта проектирования, полученные по аналогичной методике выбора и проверки, приведены в таблице 9.

Таблица 9 – Результаты выбора автоматов распределительной сети напряжением 0,38/0,22 кВ системы электроснабжения корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия

Номер потребителя, п/п	I_p, A	Марка автомата	$I_{ном.а}, A$	$I_{у.т.р}, A$	$I_{у.э.р}, A$
Потребители СРШ1					
4	9,9	ВА 52-31	100	16	160
5	17,1	ВА 52-31	100	25	250
6	9,1	ВА 52-31	100	16	160
7	68,1	ВА 52-31	100	80	800
8.1	2,5	ВА 52-31	100	6,3	63
8.2	2,5	ВА 52-31	100	6,3	63
Потребители СРШ1					
11	6,9	ВА 52-31	100	10	100
20	10,2	ВА 52-31	100	16	160
21	10,2	ВА 52-31	100	16	160
22	5,1	ВА 52-31	100	10	100
Потребители СРШ2					
15.1	3,4	ВА 52-31	100	6,3	25
15.2	3,4	ВА 52-31	100	6,3	25
16	49,7	ВА 52-31	100	63	630
17.1	12,5	ВА 52-31	100	16	160
17.2	12,5	ВА 52-31	100	16	160
18.1	2,1	ВА 52-31	100	6,3	63
18.2	2,1	ВА 52-31	100	6,3	63
19.1	2,1	ВА 52-31	100	6,3	63
19.2	2,1	ВА 52-31	100	6,3	63
Потребители СРШ3					
24.1	8,4	ВА 52-31	100	10	100
24.2	8,4	ВА 52-31	100	10	100
25.1	10,2	ВА 52-31	100	16	160
25.2	10,2	ВА 52-31	100	16	160
26.1	10,2	ВА 52-31	100	16	160
26.2	10,2	ВА 52-31	100	16	160
27	49,7	ВА 52-31	100	63	630
Потребители СРШ4					
9.1	6,9	ВА 52-31	100	10	100
9.2	6,9	ВА 52-31	100	10	100
9.3	6,9	ВА 52-31	100	10	100
10.1	6,9	ВА 52-31	100	10	100
10.2	6,9	ВА 52-31	100	10	100
10.3	6,9	ВА 52-31	100	10	100
10.4	6,9	ВА 52-31	100	10	100

Продолжение таблицы 9

Номер потребителя, п/п	I_p, A	Марка автомата	$I_{ном.а}, A$	$I_{у.т.р}, A$	$I_{у.э.р}, A$
12	6,9	ВА 52-31	100	10	100
Потребители СРШ5					
1	6,9	ВА 52-31	100	10	100
2	5,1	ВА 52-31	100	10	100
3	6,9	ВА 52-31	100	10	100
4.1	24,9	ВА 52-31	100	31,5	315
13	3,4	ВА 52-31	100	6,3	63
14	3,4	ВА 52-31	100	6,3	63
23	5,1	ВА 52-31	100	10	100

Все выбранные аппараты показаны в графической части работы на схеме электроснабжения корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия (графический лист 2).

2.8 Выбор системы учёта и контроля электроэнергии

В современном мире выбор системы учёта и контроля электроэнергии является очень важной составляющей любого проектирования электроустановок, так как обеспечивает непосредственный контроль и учёт электроэнергии, лимиты её потребления, контроль параметров потребляемой продукции (электроэнергии), а также ограничение или полное искоренение краж электроэнергии.

Поэтому к выбору системы учёта и контроля электроэнергии необходимо применять комплексный подход [16].

На ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия учёт и контроль параметров электроэнергии необходимо осуществлять с помощью программно-технических комплексов, которые в последние годы полностью вытеснили устаревшие индукционные и электромагнитные системы, обладая значительными преимуществами перед ними, состоящие и выражающиеся в простоте, надёжности, компактности, работоспособности и т.д.

Именно поэтому принимается к внедрению в проектируемой системе электроснабжения корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия «автоматизированная система контроля и управления электроэнергией (далее – АСКУЭ)» [20], выполненная на базе современного электронного счётчика электроэнергии марки Меркурий-234 ARTM-03 РВ.Г 3х230/400В 5(10) А класса точности 0,5s/1,0, который используется в работе и выбран для установки в РП-6 кВ, что является современным инновационным решением согласно [20].

Питание АСКУЭ осуществляют трансформаторы тока, через которые в сеть и на выводы АСКУЭ поступает нормированный допустимый рабочий ток системы.

Связь между электронным счётчиком и управляющей компанией (связь «компания – потребитель») осуществляется по мобильному каналу связи либо через интернет-канал.

Во многих случаях используются оба эти источника связи, что позволяет создать условия резервирования.

Кроме того, при мобильной (сотовой) передаче данных, во избежание сбоев, крайне рекомендуется использовать сеть нескольких мобильных операторов.

Сигнал со счётчиков потребителя через каналы связи передаются в центр сбора и обработки данных энергоснабжающей компании, где сигнал принимается, обрабатывается и заносится в соответствующую электронную ячейку на сервере.

Далее идёт сравнение полученных данных с предыдущими показаниями, а также их непосредственный контроль и обработка.

Эту процедуру в системе АСКУЭ выполняет информационно – вычислительный комплекс.

В конечном итоге, после приёма, обработки и систематизации информации со счётчиков АСКУЭ, она добавляется в специальную ячейку или

записывается в виде файла для долгосрочного хранения и дальнейшего использования.

Выбранная система АСКУЭ для применения в системе электроснабжения корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия характеризуется надёжностью, экономичностью, точностью, экологичностью и безопасностью, а также удобством эксплуатации [20].

Выбранная и описанная схема учёта и контроля электроэнергии для непосредственного её применения в системе электроснабжения корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия в работе представлена на графическом листе 6.

Выводы по разделу 2.

В результате выполнения раздела, исходя из результатов анализа исходных технических данных, источников питания, потребителей и технологического процесса, в работе обоснованы и внедрены следующие практические мероприятия по проектированию системы электроснабжения корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия, в результате чего приняты и проверены следующие технические решения:

- исходя из исходных технических данных, в работе предложена и обоснована схема электрических соединений системы электроснабжения корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия, которая отличается надёжностью, экономичностью и безопасностью проведения работ;
- проведены выбор и проверка трансформаторов цеховой ТП-10/0,4 кВ с учётом питания сторонних потребителей, в результате чего выбраны два силовых трансформатора марки ТМ-250/10, которые также проверены на потребляемую мощность, а также на допустимую загрузку активной мощностью в нормальном и послеаварийном режимах;

- поскольку в результате расчётов получилось отрицательное число мощности КУ, следовательно, конденсаторные установки напряжением 0,4 кВ на питающей цеховой ТП-10/0,4 кВ не устанавливаются и расчётное значение электрических нагрузок остаётся неизменным и принимается равным значениям, полученным до проведения выбора КУ;
- с учётом расчёта компенсации реактивной мощности на ТП-10/0,4 кВ, окончательно принимается на питающей ТП-10/0,4 кВ корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия с учётом сторонних потребителей, два трансформатора ТМ-250/10;
- осуществлён выбор и проверка проводников, в результате чего выбраны для питающей кабельной линии ТП-10/0,4 кВ выбраны кабели марки АСБ-10 (3×16), а для питающей и распределительной сети 0,38/0,22 кВ – силовые кабели с изоляцией со сшитого полиэтилена марки ПвВГ разных сечений;
- выбраны и проверены современные типы и марки электрических аппаратов напряжением 10 кВ и 0,4 кВ для установки их в соответствующих РУ-10 кВ и РУ-0,4 кВ на цеховой ТП-10/0,4 кВ, а также во ВРУ-0,4 кВ и СРШ объекта проектирования;
- выбрана и описана современная система учёта и контроля электроэнергии для непосредственного её применения в системе электроснабжения корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия.

Выбор и проверка всего оборудования для проектирования системы электроснабжения корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия в работе проведён на основании результатов расчёта электрических нагрузок и токов короткого замыкания.

3 Разработка мероприятий по технике безопасности и охране труда

3.1 Мероприятия по охране труда

Перед началом любых работ в электроустановках персонал обязан пройти инструктаж на рабочем месте, в котором указываются как его обязанности, так и обязанности других членов бригады, а также характер и расположение опасностей.

Далее старший (руководитель работ) даёт команду на подготовку рабочего места. Рабочее место подготавливают, как правило, опытные работники с соответствующими группами по электробезопасности (в электроустановках до 1 кВ – не ниже третьей, а в электроустановках выше 1 кВ – не ниже четвёртой группы).

После этого проводятся оперативные переключения и отключения, которые согласовываются с диспетчером сетей.

Затем указателями напряжения соответствующих классов проверяют отсутствие напряжения на токоведущих частях оборудования, где будут проводиться работы. После этого накладывается переносное заземление на токоведущие части либо включаются заземляющие ножи оборудования (если таковые предусмотрены конструкцией). Затем ограждается рабочее место и вывешиваются плакаты по технике безопасности.

Только после всех перечисленных мероприятий бригада может приступить к выполнению работ.

В процессе выполнения работ при необходимости можно организовать перерыв, для чего бригада полностью выводится с места работ, а двери электроустановок закрываются на ключ.

Допуск посторонних лиц на объект работ при этом категорически запрещён.

Пожарная безопасность объекта исследования в работе обеспечивается применением и использованием следующих мероприятий:

- применением негорючих материалов в электроустановках и несгораемых конструкций оборудования, зданий и сооружений;
- наличием средств пожаротушения на объекте (пожарный щит, огнетушители, гидранты и т.п.);
- профилактическими проверками и инспекциями, выявляющих общее состояние пожарной безопасности оборудования;
- работой пожарной дружины на объекте, а также постоянным источником связи с пожарной инспекцией.

С точки зрения пожаробезопасности, наибольшую опасность представляет на объекте силовой трансформатор и прочее маслonaполненное оборудование, в котором существует высокая вероятность пожара и взрыва.

Поэтому данные объекты необходимо контролировать самым тщательным образом как во время обходов (плановых и неплановых), так и во время проверок.

Как показывают статистические исследования [19], также для обеспечения пожарной безопасности очень важное значение играет поддержание территории объекта в чистоте.

Для этого необходимо скашивать сухую траву, утилизировать ветошь, поддерживать чистоту на объекте.

Указанные мероприятия позволят не допустить самовозгорание на объекте в сухую жаркую погоду, а также не допустить распространение пожара на объекте и быстро его локализовать.

3.2 Мероприятия по охране окружающей среды

При выполнении работ в системе электроснабжения корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия, необходимо строго соблюдать мероприятия по нормам экологической безопасности.

Среди опасностей также следует упомянуть и экологическую опасность, актуальность которой всё больше приобретает смысл в последние годы.

Загрязнение окружающей среды в свете изменения климата стало злободневной темой.

На объекте наибольшую опасность с экологической точки зрения представляют следующие возможные факторы:

- утечка масла в грунт из маслonaполненного оборудования;
- загрязнение септиками и химикатами окружающей среды;
- загрязнение и запылённость воздуха;
- опасность для флоры и фауны;
- влияние шумов на живые организмы;
- влияние высоких напряжений на биосферу.

Экологический риск от перечисленных факторов должен быть сведён к минимуму путём внедрения качественных мероприятий, к которым относятся такие мероприятия, как-то:

- проведения организационных мероприятий, направленных на обеспечение экологической безопасности;
- техническое обеспечение экологической безопасности;
- профилактические меры по обеспечению экологической безопасности;
- законодательное обеспечение экологической безопасности.

Все указанные мероприятия обязательны к применению и внедрению в систему электроснабжения корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия.

Выводы по разделу 3.

В результате выполнения данного раздела работы, осуществлена разработка мероприятий по технике безопасности, а также пожарной и экологической безопасности при выполнении работ на электрооборудовании и в электрических сетях системы электроснабжения корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия.

Путём проведения анализа, в работе установлены опасные и вредные факторы, оказывающие влияние на безопасность проведения работ, а также на факторы пожарной и экологической безопасности.

Особое внимание уделено обязанностям обслуживающего персонала системы электроснабжения производства, обеспечивающие электробезопасность и сводящие травматизм к минимальным показателям.

На основании проведённого анализа, разработан комплекс мероприятий, позволяющих качественно повысить критерии безопасности жизнедеятельности, а также пожарной и экологической безопасности при выполнении работ в электроустановках и сетях системы электроснабжения корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия.

Указанные мероприятия по технике безопасности, а также пожарной и экологической безопасности при выполнении работ на электрооборудовании и в электрических сетях, должны быть приняты и внедрены в разработанную систему системы электроснабжения корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия.

Заключение

В результате выполнения работы разработан проект системы электроснабжения корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия при соблюдении заданных требований к надежности схемы электроснабжения и качеству электроэнергии, передаваемой потребителям.

Для реализации основной цели работы, в работе осуществлено последовательное решение следующих основных поставленных задач:

- приведён исходный анализ структуры и технологического процесса типичного машиностроительного предприятия, с детальным рассмотрением основных технических и организационных характеристик данного предприятия;
- рассмотрены и систематизированы потребители системы электроснабжения корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия с учётом их расположения на территории объекта, а также установленной проектной мощности;
- на основании приведённых исходных данных, а также нормативных сведений и источников, в разделе обоснована необходимость и целесообразность разработки качественного проекта системы электроснабжения объекта проектирования;
- исходя из исходных технических данных, в работе предложена и обоснована схема электрических соединений системы электроснабжения корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия, которая отличается надёжностью, экономичностью и безопасностью проведения работ;
- проведены выбор и проверка трансформаторов цеховой ТП-10/0,4 кВ с учётом питания сторонних потребителей, в результате чего выбраны два силовых трансформатора марки ТМ-250/10, которые также

проверены на потребляемую мощность, а также на допустимую загрузку активной мощностью в нормальном и послеаварийном режимах;

- установлено, что компенсация реактивной мощности на шинах 0,4 кВ питающей ТП-10/0,4 кВ не требуется;
- осуществлён выбор и проверка проводников, в результате чего выбраны для питающей кабельной линии ТП-10/0,4 кВ выбраны кабели марки АСБ-10 (3×16), а для питающей и распределительной сети 0,38/0,22 кВ – силовые кабели с изоляцией со сшитого полиэтилена марки ПвВГ разных сечений;
- выбраны и проверены современные типы и марки электрических аппаратов напряжением 10 кВ и 0,4 кВ для установки их в соответствующих РУ-10 кВ и РУ-0,4 кВ на питающей ТП-10/0,4 кВ, а также во ВРУ-0,4 кВ и СРШ объекта проектирования;
- выбрана и описана современная система учёта и контроля электроэнергии для непосредственного её применения в системе электроснабжения корпуса механической обработки деталей типичного машиностроительного предприятия;
- на основании проведённого анализа, разработан комплекс мероприятий, позволяющих качественно повысить критерии безопасности жизнедеятельности, а также пожарной и экологической безопасности при выполнении работ в электроустановках и сетях системы электроснабжения корпуса механической обработки деталей предприятия.

Разработанная система электроснабжения корпуса механической обработки деталей отличается надёжностью, электробезопасностью, минимумом затрат на обслуживание и ремонт, что позволяет свести межремонтный и эксплуатационный период до минимума, а также повысить показатели энергоэффективности объекта проектирования, его потребителей и всей системы электроснабжения предприятия в целом.

Список используемых источников

1. Анчарова Т.В. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений. – М.: Форум, НИЦ ИНФРА. 2016. 416 с.
2. Виноградова А. В. Электроснабжение промышленных предприятий; учебник для студентов высших учебных заведений. – М.: Интермет Инжиниринг, 2017. 672 с.
3. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М.: Стандартиформ, 2014. 28 с.
4. Кудрин Б. И. Электроснабжение. – М.: Academia, 2018. 352 с.
5. Курдюмов В.И., Зотов Б.И. Проектирование и расчет средств обеспечения безопасности. – М.: Колос, 2016. 184 с.
6. Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности при эксплуатации электроустановок (ПОТ РМ-016-2001). – М.: ОАО «Научно-технический центр по безопасности в промышленности», 2016. 208 с.
7. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций: справочные материалы для курсового и дипломного проектирования. - М.: Энергоатомиздат, 2019. 382 с.
8. Ополева Г.Н. Схемы и подстанции электроснабжения: Справочник. Учеб. пособ. – ФОРУМ: ИНФРА-М, 2019. 282 с.
9. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. 4-е изд., перераб. и доп. – М: Энергоатомиздат, 2017. 174 с.
10. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. Госэнергонадзор Минэнерго России. – М.: ЗАО «Энергосервис», 2017. 256 с.
11. Правила устройства электроустановок (ПУЭ) / под общ. ред. В.В. Дрозд. - 7-е изд-е. - М.: Альвис, 2018. 252 с.

12. Сибикин Ю.Д. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий и установок. – Вологда: Инфра-Инженерия, 2015. 464 с.
13. Сибикин Ю.Д. Электроснабжение. – Вологда: Инфра-Инженерия, 2017. 328 с.
14. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д.Л. Файбисовича. - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: ЭНАС, 2012.
15. Шеховцов В. П. Расчет и проектирование схем электроснабжения. – М.: Форум, 2018. 142 с.
16. Шеховцов В. П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению. – М.: Форум, Инфра. 2015. 136 с.
17. Copley P. Marketing Communications Management: Concepts and Theories, Cases and Practices. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2014. 441 p.
18. Hirsch J.E. An Index to Quantify an Individual's Scientific Research Output that Takes into Account the Effect of Multiple Co-authorship. *Scientometrics*, 2020, vol. 85, no. 3, pp. 741–754. doi: 10.1007/s11192-010-0193-9
19. Potter E.H. Branding Canada. Projecting Canada's Soft Power through Public Diplomacy. Montreal: McGill-Queen's University Press, 2019. 464 p.
20. Lezhnyuk P.D., Petrushenko O.J., Petrushenko J.V. Approximation of implicitly expressed optimality criteria by pozynom and analysis of their sensitivity. Materials digest of the XXXIX international Research and Practice Conference «Physico-mathematical and technical sciences as postindustrial foundation of the informational society evolution». London, 2018. P. 23–26.
21. Lezhniuk P., Natrebskiy V., Teptia V., Vydmysh V. Hamilton's Principle as the Method of Self-Optimization Electric Systems. *Nauka i Studia. Przemysl.* 2019. №5 (136). P. 63–69. ISSN 1561–6894.