

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 производства кабелей

Обучающийся

А.А. Задорожний

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент С.В. Шаповалов

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

Тольятти 2024

Аннотация

В работе осуществлено проектирование системы электроснабжения корпуса производства кабелей кабельного завода.

Проведён анализ исходных технических данных на проектирование, включающий сведения по основным помещениям объекта, а также электрооборудованию, установленному в корпусе производства кабелей.

На основании анализа основных сведений и положений нормативных документов, необходимых для проектирования систем электроснабжения промышленных объектов, с учётом исходных технических и технологических условий, разработан комплекс рекомендаций по проектированию системы электроснабжения корпуса.

Для достижения поставленной цели, при разработке проекта системы электроснабжения (далее – СЭС) корпуса производства кабелей кабельного завода, в работе проведено решение следующих практических задач:

- выбор схемных решений в СЭС корпуса производства кабелей;
- расчёт электрических нагрузок (освещения, силовой и суммарной);
- выбор и проверка силовых трансформаторов на питающей подстанции;
- выбор и проверка проводников и электрических сетей на объекте;
- выбор системы релейной защиты для применения в СЭС корпуса производства кабелей.

Расчётно-пояснительная записка выполнена в приложении «Microsoft Word» и содержит 63 печатных страницы. Она состоит из введения, шести основных разделов, заключения, списка использованных источников из 20 наименований. Источниками для написания работы являются нормативно-правовые документы, учебные пособия, техническая литература, типичные проекты, а также интернет-ресурсы. Графическая часть работы выполнена в САПР «AutoCAD» и содержит шесть чертежей, выполненных по основным результатам проведённых исследований.

Содержание

Введение	4
1 Анализ исходных данных	7
2 Выбор схемы электроснабжения и расчёт электрических нагрузок	13
2.1 Выбор схемы электроснабжения	13
2.2 Расчёт электрических нагрузок	16
3 Выбор и проверка силовых трансформаторов на питающей подстанции ...	22
4 Расчёт токов короткого замыкания	27
5 Выбор и проверка оборудования, проводников и электрических аппаратов	35
5.1 Выбор и проверка оборудования	35
5.2 Выбор и проверка проводников	37
5.3 Выбор и проверка электрических аппаратов	49
6 Выбор системы релейной защиты объекта	55
Заключение	59
Список используемых источников.....	62

Введение

Проектирование систем электроснабжения производственных объектов кабельных заводов требует глубокого понимания специфики работы таких предприятий и особенностей производственных процессов.

Основная задача заключается в обеспечении надежного и бесперебойного питания всех участков производства, включая высокотехнологичное оборудование для производства и тестирования кабельной продукции.

Разрабатывается многоуровневая система питания, которая включает в себя не только основные источники питания, но и резервные, способные взять на себя нагрузку в случае аварийных ситуаций.

Особое внимание в современном мире рекомендуется уделять энергоэффективности и возможности использования альтернативных источников энергии.

Проектирование включает анализ потребностей в электроэнергии на каждом этапе производства, а также предусматривает меры по снижению энергопотребления и оптимизации распределения нагрузок.

Также для решения поставленных задач создается система мониторинга и управления электроснабжением, которая позволяет оперативно реагировать на изменение режимов работы оборудования и поддерживать оптимальный баланс между потребностями производства и эффективностью использования электроэнергии.

Актуальность проектирования систем электроснабжения производственных объектов кабельных заводов обусловлена несколькими ключевыми аспектами. Во-первых, надежность и бесперебойность работы кабельного производства напрямую зависят от качества и стабильности электроснабжения. В условиях возрастающих требований к качеству продукции и увеличения объемов производства, обеспечение надежного электропитания становится критически важным. Во-вторых, рост тарифов на

электроэнергию и ужесточение экологических стандартов повышают значимость энергоэффективности и использования альтернативных источников энергии. Это ведет к необходимости разработки продвинутых систем электроснабжения, способных оптимизировать потребление и снижать эксплуатационные расходы.

Кроме того, технологическое развитие производственного оборудования и появление новых производственных технологий требуют соответствующего адаптирования и модернизации систем электроснабжения, чтобы обеспечить их соответствие текущим и будущим потребностям производства.

Таким образом, разработка и внедрение современных, надежных и энергоэффективных систем электроснабжения является ключевым фактором, обеспечивающим конкурентоспособность и экономическую эффективность кабельных заводов.

Данные аспекты определяют актуальность и практическую ценность настоящей работы.

Основной целью работы является проектирование системы электроснабжения корпуса производства кабелей кабельного завода.

Объектом исследования является система электроснабжения корпуса производства кабелей кабельного завода.

Исследование фокусируется на анализе технико-экономического набора параметров и характеристик системы электроснабжения изучаемого объекта, включая такие аспекты, как надежность, безопасность, эффективность и экономическая устойчивость.

Актуальность работы обусловлена требованиями надёжности, безопасности и экономической эффективности ввода новых производственных объектов в эксплуатацию [16], [17], [20].

«Для достижения основной цели работы, необходимо провести анализ исходных технических данных на проектирование, включающий сведения по основным помещениям объекта проектирования» [18], а также

электрооборудованию, установленному в корпусе производства кабелей. На основании анализа «основных сведений и положений нормативных документов, необходимых для проектирования систем электроснабжения промышленных объектов, с учётом исходных технических и технологических условий, разработан комплекс рекомендаций по проектированию системы электроснабжения» [18] корпуса производства кабелей.

Для достижения поставленной цели, при разработке проекта СЭС корпуса производства кабелей кабельного завода, в работе проводится решение следующих практических задач:

- выбор схемных решений в СЭС корпуса производства кабелей;
- расчёт электрических нагрузок (освещения, силовой и суммарной);
- выбор и проверка силовых трансформаторов на питающей подстанции;
- выбор и проверка проводников и электрических сетей на объекте;
- выбор системы релейной защиты для применения в СЭС корпуса производства кабелей.

Таким образом, на основании анализа «основных сведений и положений нормативных документов, необходимых для проектирования систем электроснабжения производственных объектов, с учётом исходных технических и технологических условий, необходимо разработать комплекс рекомендаций по проектированию системы электроснабжения» [18] корпуса производства кабелей.

Такая система должна обладать высокими показателями надёжности, бесперебойности электроснабжения, экономичности и электробезопасности принятых решений. Данные аспекты обуславливают конечный результат работы. Их необходимо подтвердить на основании технико – экономических расчётов.

1 Анализ исходных данных

В работе рассматривается проектирование системы электроснабжения корпуса производства силовых кабелей кабельного завода.

Данный корпус является одним из важнейших производственных подразделений кабельного завода, обеспечивая производство кабельной продукции.

Основой производства кабелей являются экструзионные линии с оборудованием.

Кроме них, есть ещё большое количество различного вида станков и механизмов.

При производстве кабелей используется специализированное оборудование, каждое из которых выполняет определенный этап в процессе создания кабельной продукции.

К такому оборудованию относятся:

- станки для изготовления проволоки – используются для вытяжки металлической проволоки из болванок. Это – первый шаг в производстве металлических проводников силовых кабелей;
- проволочные и кабельные витые машины – предназначены для скручивания нескольких проводников в один кабель. Они могут включать в себя как простое скручивание, так и более сложные конфигурации для специфических типов кабелей;
- экструзионные линии – используются для нанесения изоляционных и защитных слоев на проводники. Материал (полимер) подается в экструдер, где он расплавляется и прессуется вокруг проводника, формируя изоляцию кабелей;
- машины для намотки и навивки – предназначены для намотки готового кабеля на барабаны или катушки. Такие механизмы обеспечивают удобство хранения, транспортировки и последующего использования кабелей;

- испытательное оборудование – включает в себя различные устройства для проверки физических, электрических и других характеристик кабеля. К таким устройствам относится оборудование для испытания на прочность, гибкость, изоляционные свойства, а также способность выдерживать высокие напряжения;
- оборудование для нанесения маркировки – применяется для нанесения на кабель информации о производителе, типе кабеля, его характеристиках и другой важной информации.

Кроме того, в процессе производства применяются другие устройства, станки и механизмы.

Производственная линия кабельного завода настроена таким образом, чтобы обеспечить максимальную производительность и качество продукции.

Основные этапы производственного процесса изготовления силовых кабелей представлены на рисунке 1.

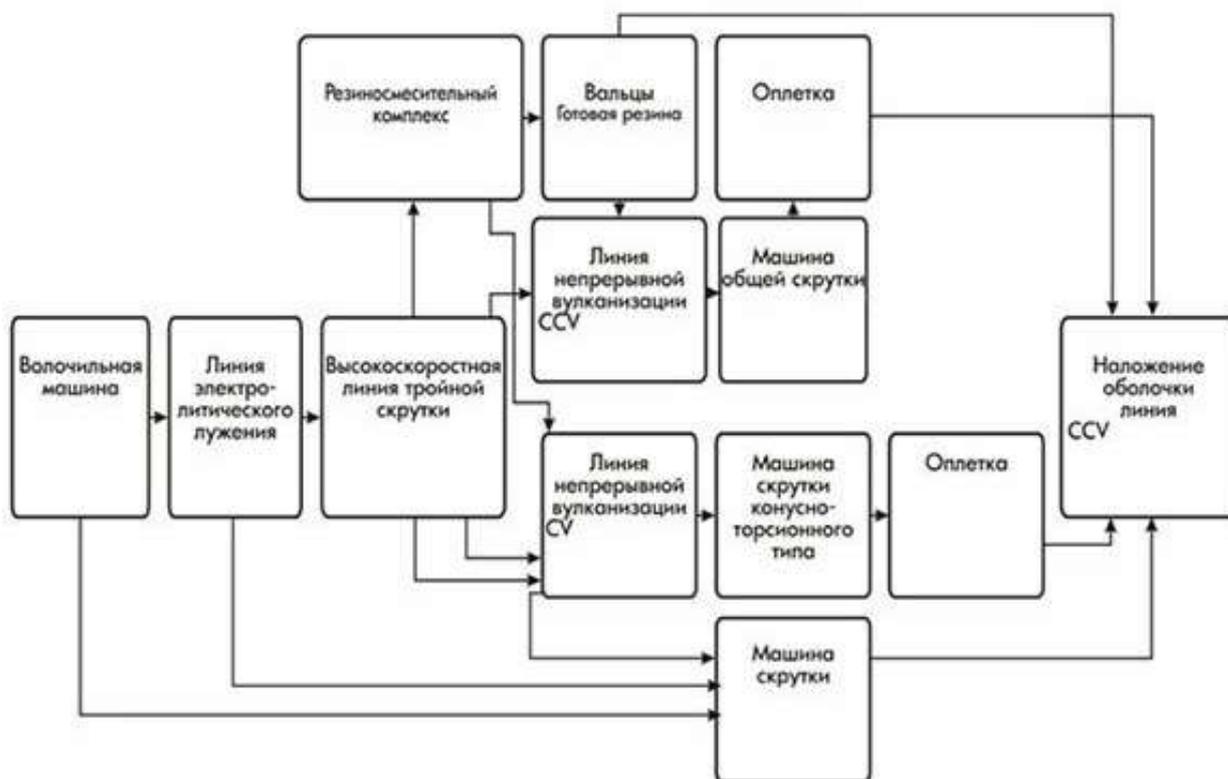


Рисунок 1 – Основные этапы производственного процесса изготовления силовых кабелей

Характеристики электроприемников корпуса представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики электроприемников корпуса

Название станка/приемника	Модель или тип	Установленная мощность, кВт	Кол-во, шт.
Станок экструзионный 1 ступени	164	28	1
Станок экструзионный 2 ступени	1А716	4,6	4
Станок намоточный 2 ступени	ТВ-320Д	2,925	2
Станок намоточный 1 ступени	1К63Д	11,125	2
Настольно-сверлильный	НС-42Д	0,6	3
Горизонтально-расточный	2620Б	18,95	2
Станок навивки кабеля	7Б35А	4,5	4
Универсально-фрезерный	6М800	3,4	2
Станок для изготовления проволоки	2А4300	2,25	2
Копировально-фрезерный	6441Б0	3,5	1
Плоскошлифовальный	С-5418	2,8	3
Внутришлифовальный	3225БПО	7,525	2
Круглошлифовальный	3Б1511	9,585	1
Зубофрезерный	53127	10,55	1
Горизонтально-фрезерный	6М82Г6	8,7	1
Настольно-резьбонарезной	ВС-118Б	0,6	3
Таль электрическая	ТЭ-0,5А	0,85	2
Кран мостовой электрический	5мБ	24,2	1
Шкаф электрический сушильный	-	0,6	1
Трансформатор сварочный	ОС-5/0,5Б	5	2
Балансировочный станок	ДБ-40А	1,7	1
Полуавтомат для намотки катушек	ПР-160Д	1	2
Намоточный станок	ТТ-20Б	2,8	2
Проволочная витая машина	333АБ	1,7	1
Ванна для пайки	-	2,8	1
Обдирочно-шлифовальный	33820	2,8	2
Станок намоточно-повивочный	1К63Б	11,125	1
Станок для нанесения покрытия брони	2Б118А	1,7	1
Таль электрическая	ТЭ-0,56	0,85	1
Станок для нанесения маркировки	8Б660Б	8,825	-
Ножницы гильотинные	Н-4750	7	2
Пресс гидравлический	ПВ-474Б	4,5	3
Кабельная витая машина	872А0	1,7	1
Стенд испытательный	-	9	1
Пресс однокривошипный	К460Б0	10	2
Пресс фрикционный	ФА-122А	4,5	1
Станок для нанесения покрытия брони	2А125Б	2,8	4
Станок для нанесения покрытия жил	3М634А	2,8	1
Вентилятор	-	4,5	2

В результате проведения анализа потребителей установлено, что основными потребителями электроэнергии корпуса производства кабелей

являются электродвигатели трехфазного тока до 1000 В с повторно-кратковременным режимом работы, а также рабочее и аварийное освещение.

Для электропривода станков применяются двигатели трехфазного переменного тока. Режим работы двигателей - повторно-кратковременный. Коэффициент мощности равен 0,5-0,7. По надежности электроснабжения эта группа электроприемников относится ко II категории.

Однако есть и потребители с продолжительным режимом работы.

Электрические осветительные установки представляют собой однофазную нагрузку. Характер нагрузки равномерный, без толчков. Частота общепромышленная, равная 50 Гц.

Кратковременные перерывы в питании допустимы.

Характеристики режимов работы электроприемников корпуса представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристики режимов работы электроприемников

Название станка/приемника	Режим работы	Категория потребителей/ среда
Станок экструзионный 1 ступени	S2-повторно-кратковременный	II/нормальная
Станок экструзионный 2 ступени	S2-повторно-кратковременный	II/нормальная
Станок намоточный 2 ступени	S2-повторно-кратковременный	II/нормальная
Станок намоточный 1 ступени	S2-повторно-кратковременный	II/нормальная
Настольно-сверлильный	S2-повторно-кратковременный	II/нормальная
Горизонтально-расточный	S2-повторно-кратковременный	II/нормальная
Станок навивки кабеля	S2-повторно-кратковременный	II/нормальная
Универсально-фрезерный	S2-повторно-кратковременный	II/нормальная
Станок для изготовления проволоки	S2-повторно-кратковременный	II/нормальная
Копировально-фрезерный	S2-повторно-кратковременный	II/нормальная
Плоскошлифовальный	S2-повторно-кратковременный	II/нормальная
Внутришлифовальный	S2-повторно-кратковременный	II/нормальная
Круглошлифовальный	S2-повторно-кратковременный	II/нормальная
Зубофрезерный	S2-повторно-кратковременный	II/нормальная
Горизонтально-фрезерный	S2-повторно-кратковременный	II/нормальная
Настольно-резьбонарезной	S2-повторно-кратковременный	II/нормальная
Таль электрическая	S2-повторно-кратковременный	II/нормальная
Кран мостовой электрический	S3-продолжительный	II/нормальная
Шкаф электрический сушильный	S3-продолжительный	II/нормальная
Трансформатор сварочный	S3-продолжительный	II/нормальная
Балансировочный станок	S2-повторно-кратковременный	II/нормальная
Полуавтомат для намотки катушек	S2-повторно-кратковременный	II/нормальная

Продолжение таблицы 2

Название станка/приемника	Режим работы	Категория потребителей/ среда
Намоточный станок	S2-повторно-кратковременный	II/нормальная
Проволочная витая машина	S2-повторно-кратковременный	II/нормальная
Ванна для пайки	S3-продолжительный	II/нормальная
Обдирочно-шлифовальный	S2-повторно-кратковременный	II/нормальная
Станок намоточно-повивочный	S2-повторно-кратковременный	II/нормальная
Станок для нанесения покрытия брони	S2-повторно-кратковременный	II/нормальная
Таль электрическая	S2-повторно-кратковременный	II/нормальная
Станок для нанесения маркировки	S2-повторно-кратковременный	II/нормальная
Ножницы гильотинные	S2-повторно-кратковременный	II/нормальная
Пресс гидравлический	S2-повторно-кратковременный	II/нормальная
Кабельная витая машина	S2-повторно-кратковременный	II/нормальная
Стенд испытательный	S2-повторно-кратковременный	II/нормальная
Пресс однокривошипный	S2-повторно-кратковременный	II/нормальная
Пресс фрикционный	S2-повторно-кратковременный	II/нормальная
Станок для нанесения покрытия брони	S2-повторно-кратковременный	II/нормальная
Станок для нанесения покрытия жил	S2-повторно-кратковременный	II/нормальная
Вентилятор	S3-продолжительный	II/нормальная

Параметры помещения проектируемого корпуса производства кабелей:

- А = 48 м (длина);
- В = 24 м (ширина);
- Н = 10 м (высота);

«Площадь данного корпуса $S = 1296 \text{ м}^2$.

Примем следующие значения расстояний между станками:

- между торцевыми сторонами станков и стеной 2000 мм (необходимо 800 мм);
- между торцевыми сторонами станков 1500 мм (необходимо 800 мм);
- между боковыми сторонами станков 2000 мм (необходимо 900 мм);
- проходы между отделениями станков 3000 мм (необходимо 3000 мм);
- продольный проход 6000 мм (необходимое 4000 мм)» [15].

Таким образом, при дальнейшей разработке проекта системы электроснабжения корпуса производства кабелей кабельного завода,

необходимо учесть совокупность приведённых исходных технических данных.

Выводы по разделу.

Проведён анализ технических данных на проектирование системы электроснабжения корпуса производства кабелей.

Установлено, что проектируемый объект относится ко 2 категории надёжности потребителей, поэтому требует двух независимых источников питания.

В результате проведения анализа потребителей установлено, что основными потребителями электроэнергии корпуса производства кабелей являются электродвигатели трехфазного тока до 1000 В с повторно-кратковременным режимом работы, а также рабочее и аварийное освещение.

Для электропривода станков применяются двигатели трехфазного переменного тока.

Режим работы двигателей - повторно-кратковременный. Коэффициент мощности равен 0,5-0,7.

По надёжности электроснабжения эта группа электроприемников относится ко II категории.

Однако есть и потребители с продолжительным режимом работы.

Электрические осветительные установки представляют собой однофазную нагрузку.

Характер нагрузки равномерный, без толчков.

Частота общепромышленная, равная 50 Гц.

Кратковременные перерывы в питании допустимы.

Таким образом, приведённые исходные данные по техническим условиям и характеру потребителей, принимаются за основу при дальнейшей разработке проекта СЭС объекта проектирования.

2 Выбор схемы электроснабжения и расчёт электрических нагрузок

2.1 Выбор схемы электроснабжения

На основании систематизации технических данных объекта проектирования, а также анализа современных норм технологического проектирования систем электроснабжения промышленных предприятий, проводится обоснование выбора схемы электрических соединений проектируемой системы электроснабжения корпуса производства кабелей кабельного завода.

Как известно, что на выбор рациональной схемы электроснабжения проектируемого корпуса производства кабелей оказывают влияние многочисленные факторы.

В первую очередь, такими факторами являются номинальная установленная мощность и категория надёжности потребителей объекта исследования.

Установлено, что на объекте преобладают потребители II категории надёжности, а высоковольтных двигателей не предусмотрено, следовательно, внешнее электроснабжение корпуса производства кабелей предложено осуществляется от питающей трансформаторной подстанции ТП-10/0,4 кВ кабельной линией с применением двух силовых кабелей напряжением 10 кВ.

Следовательно, вводное распределительное устройство (далее – ВРУ-0,4 кВ) корпуса производства кабелей будет иметь два ввода.

Такая схема внешнего электроснабжения соответствует требованиям, предъявляемым к объектам второй категории надёжности нормативными документами. В качестве ВРУ на объекте применяются шинопроводы секционные (далее – ШС).

«В схеме внешнего электроснабжения корпуса производства кабелей, применяется двухлучевая радиальная схема, которая показана на рисунке 2» [10].

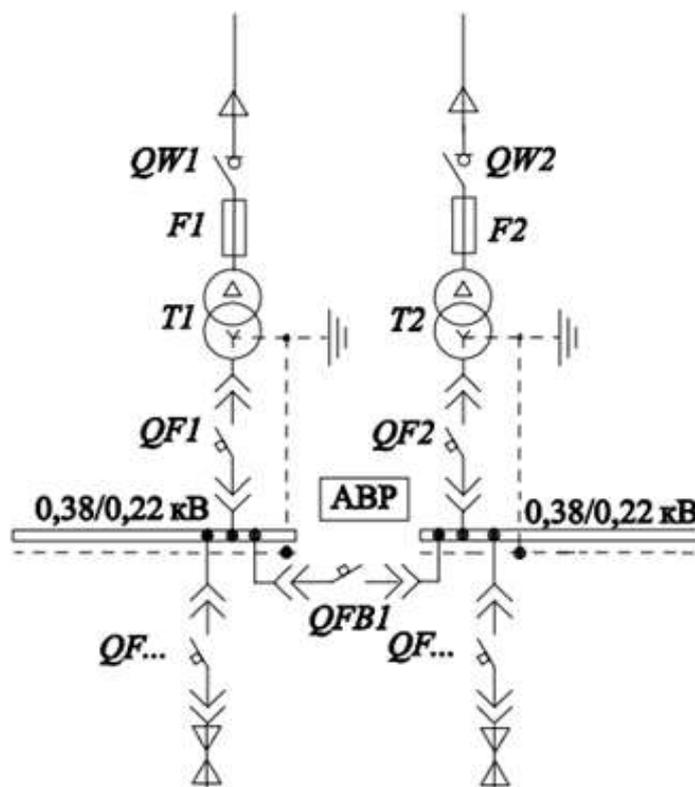


Рисунок 2 – «Схема внешнего электроснабжения корпуса производства кабелей (двухлучевая радиальная схема)» [6]

Последующее распределение электроэнергии на территории корпуса производства кабелей осуществляется от ШС-0,4 кВ, непосредственно питающего потребители силовой и осветительной нагрузки на напряжении 0,38/0,22 кВ.

Как было указано ранее, проектируемый объект относится ко II категории надёжности, в схеме его системы электроснабжения обязательно должны соблюдаться условия резервирования, секционирования и надёжности [10], а также ремонтпригодности [9] и безопасности [8].

Исходя из этого, на всех уровнях и подсистемах схемы применяются два независимых ввода при питании потребителей по радиальным схемам электроснабжения. Поэтому предусматривается разделение ШС на 3 секции: ШС1 и ШС2 будут питаться от первого трансформатора Т1, ШС3 – от второго трансформатора Т2.

Установлено, что такие схемы являются наиболее надёжными и подходят для питания электроприёмников II категории [3].

Данный принцип также используется в работе.

Принятые схемные решения для применения в системе электроснабжения проектируемого корпуса производства кабелей кабельного завода представлены в работе на рисунке 3.

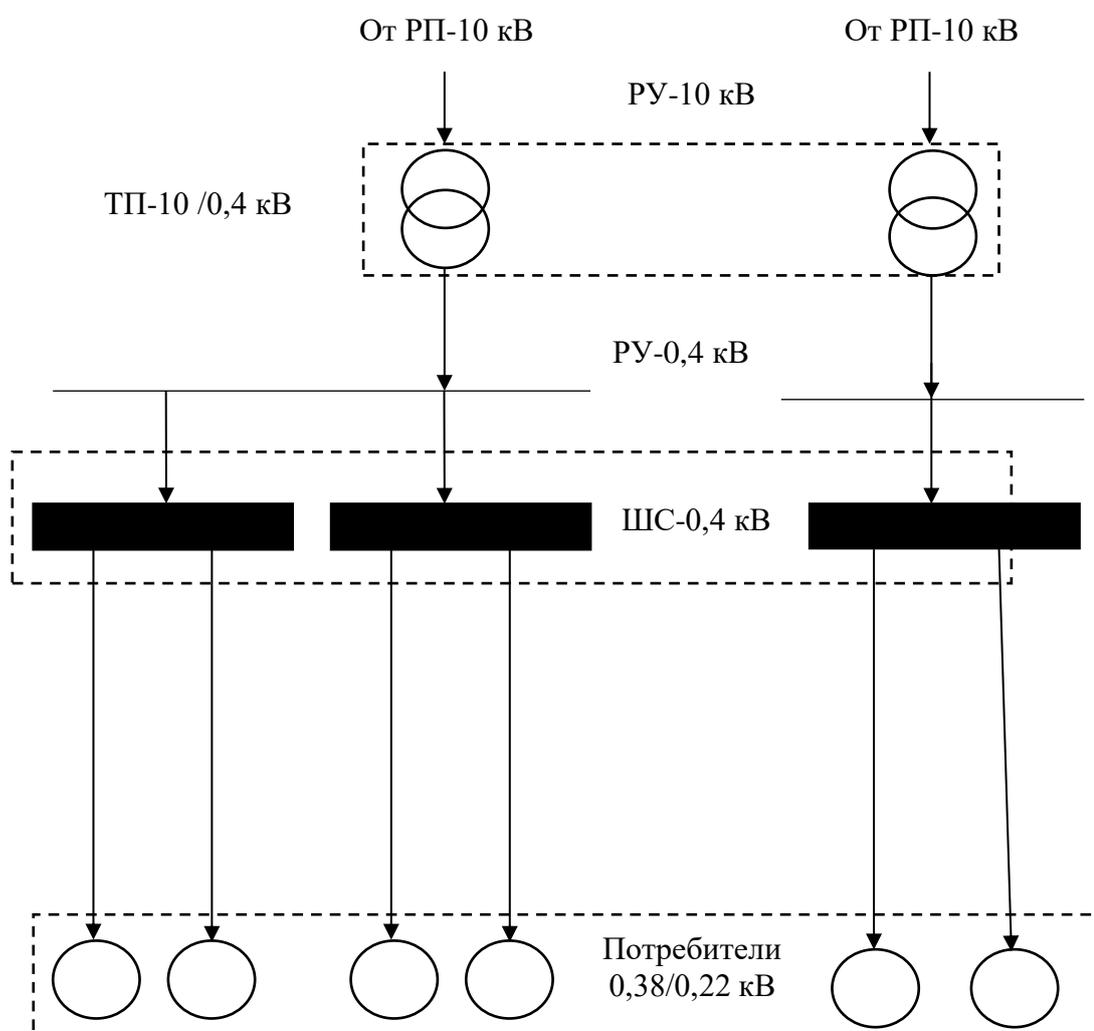


Рисунок 3 – Принятые схемные решения в системе электроснабжения проектируемого корпуса производства кабелей кабельного завода

Питание потребителей осуществляется с использованием как шинопроводов (питающая сеть 0,4 кВ), так и кабельных линий в металлорукавах (распределительная сеть 0,4 кВ).

Принятые схемные решения, рекомендуемые для внедрения в системе электроснабжения проектируемого корпуса производства кабелей кабельного завода, также показаны в графической части работы.

2.2 Расчёт электрических нагрузок

Для нахождения расчетной мощности используется метод коэффициента максимума [1].

Метод коэффициента максимума нагрузок – это принятая методика, используемая в электроэнергетике для определения максимальной нагрузки электросистемы или её отдельных частей. Основная цель метода – оценить максимальные потребности в электроэнергии и соответствующие мощностные параметры оборудования для обеспечения надежного электроснабжения без перегрузок и аварий.

Этот метод позволяет проектировать электрические сети, исходя из максимальных и наиболее вероятных нагрузок, учитывая изменчивость потребления электроэнергии в течение суток, недель и сезонов года.

Разбивка по группам осуществляется согласно схеме расположения оборудования. Расчет проводится на примере узла 1 (ШРА-1).

От ШРА-1 питаются в группе А станки № 1,2,3,4,5,6,7.

Количество станков в узле – 17.

Суммарная нагрузка:

$$\sum P_{\text{ном}} = 106,10 \text{ кВт.}$$

Максимальная и минимальная номинальные мощности, присоединенные к ШРА-1. Используются методики [13] и [15].

Группа А:

$$P_A = P_{\text{min}} - P_{\text{max}}, \text{ кВт.} \quad (1)$$

$$P_A = 2,925 - 18,95 \text{ кВт.}$$

$$m = P_{\text{н.наиб}} / P_{\text{н.наим}}. \quad (2)$$

$$m = 18,95 / 2,925 = 6,48.$$

$$P_{cm} = \kappa_u \cdot P_n, \text{кВт.} \quad (3)$$

$$Q_{cm} = P_{cm} \cdot \text{tg}\varphi, \text{квар.} \quad (4)$$

$$P_{cm} = 0,156 \cdot 103,7 = 16,20 \text{кВт.}$$

$$Q_{cm} = 16,20 \cdot 1,56 = 25,21 \text{квар.}$$

Итого по группе А:

$$k_u = \frac{\sum P_{cm}}{\sum P_n}. \quad (5)$$

$$k_u = \frac{16,20}{103,70} = 0,156.$$

$$\cos \varphi_{c\phi} = \frac{\sum_i^{ni} P_{hi} \cdot \cos \varphi_{hi}}{\sum_i^{ni} P_{hi}}. \quad (6)$$

$$\cos \varphi_{c\phi} = 0,54.$$

$$\text{tg}\varphi_{c\phi} = \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \varphi_{c\phi}}}{\cos \varphi_{c\phi}}. \quad (7)$$

$$\text{tg}\varphi_{c\phi} = \frac{\sqrt{1 - 0,54^2}}{0,54}.$$

$$n_* = \frac{n_1}{n}. \quad (8)$$

$$n_* = \frac{2}{13} = 0,15.$$

$$P_* = \frac{P_{n1}}{P_n}. \quad (9)$$

$$P_* = \frac{46,95}{103,7} = 0,45.$$

$$n_3 = n_{3*} \cdot n.$$

$$n_3 = 0,4 \cdot 13 = 5,2 \approx 5.$$

Коэффициент максимума K_M находится в зависимости от значений коэффициента использования $K_{и}$ и эффективного числа электроприемников n_3 .

Для нахождения этих коэффициентов используется таблица 6 [1], $K_M=2,8$. Расчетная нагрузка:

$$P_p = k_m \cdot P_{см}, \text{ кВт.} \quad (10)$$

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi_{св}, \text{ квар.} \quad (11)$$

$$P_p = 2,8 \cdot 16,20 = 45,346 \text{ кВт.}$$

$$Q_p = 45,35 \cdot 1,56 = 70,60 \text{ квар.}$$

Определяется расчетная полная мощность по узлу 1:

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

$$S_p = \sqrt{45,35^2 + 70,60^2} = 83,91 \text{ кВА.}$$

Значение расчетного тока по узлу 1:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n}, \text{ А.} \quad (13)$$

$$I_p = \frac{83,91}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 121,11 \text{ А.}$$

Расчёт всех остальных нагрузок узлов, а также секций сборных шин сборных шинопроводов корпуса производства кабелей, выполнен аналогично и результаты расчёта представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты расчёта нагрузок узлов, а также секций сборных шин сборных шинопроводов корпуса производства кабелей

Потребитель ь	Расчётные параметры							Нагрузка расчётная			
	P_{min} , кВт	P_{max} , кВт	$P_{ном.сумм}$, кВт	K_u	K_M	$P_{см}$, кВт	$Q_{см}$, квар	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА	I_p , А
Узел1 (ШРА-1)											
Группа А (станки)	2,925	28	103,7	0,156	2,8	16,20	25,21	45,35	70,60	83,91	121,11
Итого по узлу 1	2,925	28	103,7	0,156	2,8	16,20	25,21	45,35	70,60	83,91	121,11
Узел2 (ШРА-2)											
Группа А(станки)	2,8	10,55	82,945	0,14	1,7	11,61	20,11	19,74	34,19	39,48	56,987
Вентилятор	4,5	4,5	18	0,65	1,16	11,70	-	11,70	-	-	-
Итого по узлу 2	2,8	10,55	100,945	0,230941	1,7	23,31	28,89	31,44	42,97	53,24	78,096
Узел3 (ШРА-3)											
Группа А (станки)	2,8	11,125	65,55	0,19492	1,84	12,78	19,85	23,51	36,53	43,44	62,701
Группа Б	2,8	4,5	25,8	0,59845	1,26	15,44	12,49	15,44	12,49	19,86	28,663
Итого по узлу 3	2,8	18	91,35	0,308889		28,22	32,34	38,95	49,02	63,30	91,364
Узел4 (ШТМ-1)											
Группа А	24,2	24,2	24,2	0,15	2,4	3,63	3,70	8,71	8,89	12,45	17,964
Итого по узлу 4	24,2	24,2	24,2	0,15	2,4	3,63	3,70	8,71	8,89	12,45	17,964

Определяется номинальная мощность освещения и расчётная осветительная нагрузка отделений корпуса производства кабелей [2]:

$$P_{C.O.} = P_{уд} \cdot S, \text{кВт}, \quad (14)$$

$$P_{P.O.} = P_{C.O.} \cdot k_{C.O.}, \text{кВт}, \quad (15)$$

где $P_{уд}$ - удельная нагрузка освещения площади корпуса, кВт/м²,

определяемая по таблицам справочника [2];

S - площадь корпуса, м² (определяется по генеральному плану корпуса);

$k_{C.O.}$ - коэффициент спроса осветительной нагрузки, определяется по табличным данным справочника [2].

Данный пример проводится на производственном отделении корпуса производства кабелей:

$$P_{C.O.} = 0,002 \cdot 864 = 1,73 \text{ кВт},$$

$$P_{P.O.} = 1,73 \cdot 0,95 = 1,64 \text{ кВт}.$$

Для остальных отделений расчеты аналогичны, они сведены в работе в таблицу 4.

Таблица 4 – Расчётная осветительная нагрузка отделений корпуса производства кабелей

Название отделения	Площадь S, м ²	Руд, кВт/м ²	К _{со}	Р _{ро} , кВт	І _{ро} , А
Производственное	864	2	0,95	1,64	0,38
Механическое	144	2	0,95	0,27	0,06
Электромонтажное	144	2	0,95	0,27	0,06
Итого:				17,6	26,70

Полученные результаты расчёта электрических нагрузок используются в работе далее.

Выводы по разделу.

На основании систематизации технических данных объекта проектирования, а также анализа современных норм технологического проектирования систем электроснабжения промышленных объектов, проведено обоснование выбора схемы электрических соединений проектируемой системы электроснабжения корпуса производства кабелей кабельного завода.

Установлено, что наиболее рациональным вариантом внешнего электроснабжения корпуса производства кабелей является питание от трансформаторной подстанции ТП-10/0,4 кВ, кабельной линией с применением двух силовых кабелей напряжением 10 кВ.

При этом ВРУ-0,4 кВ корпуса производства кабелей будет иметь два

ввода. Такая схема внешнего электроснабжения соответствует требованиям, предъявляемым к объектам второй категории надёжности нормативными документами.

В качестве ВРУ на объекте применяются шинопроводы секционные.

Последующее распределение электроэнергии на территории корпуса производства кабелей осуществляется от ШС-0,4 кВ, непосредственно питающего потребители силовой и осветительной нагрузки на напряжении 0,38/0,22 кВ.

Установлено, что на всех уровнях и подсистемах схемы применяются два независимых ввода при питании потребителей по радиальным схемам электроснабжения с соответствующими резервированием и секционированием схемы.

Поэтому предусматривается разделение ШС на 3 секции: ШС1 и ШС2 будут питаться от первого трансформатора Т1, ШС3 – от второго трансформатора Т2.

Питание потребителей осуществляется с использованием как шинопроводов (питающая сеть 0,4 кВ), так и кабельных линий в металлорукавах (распределительная сеть 0,4 кВ).

Таким образом, принятая схема электроснабжения корпуса производства кабелей кабельного завода выполнена с соблюдением условий резервирования, секционирования и надёжности, а также простоты, экономичности, ремонтпригодности и безопасности.

В работе проведён расчёт электрических нагрузок узлов, а также секций сборных шин сборных шинопроводов корпуса производства кабелей.

Рассчитана осветительная нагрузка отделений корпуса производства кабелей.

При расчёте использован метод коэффициента максимума нагрузок, позволяющий получить результат необходимой точности.

3 Выбор и проверка силовых трансформаторов на питающей подстанции

Проводится выбор и проверка силовых трансформаторов на питающей подстанции.

Рассматриваются два варианта.

Питание корпуса выполняется в первом варианте от двух ТП двумя вводами, во втором – от одной ТП с двумя трансформаторами.

Оптимальный коэффициент загрузки – 60% – 80% [3].

Учитываются K_3 в нормальном и в аварийном режимах, категория потребителей электроэнергии.

Вариант I.

Определение потери мощности в трансформаторе (ЦТП):

$$\Delta P_{\text{ЦТП}} = 0,02 \cdot S_{P\Sigma}, \text{кВт}, \quad (16)$$

$$\Delta Q_{\text{ЦТП}} = 0,1 \cdot S_{P\Sigma}, \text{квар}. \quad (17)$$

В числовых значениях:

$$\Delta P_{\text{ЦТП}} = 0,02 \cdot 213,17 = 4,26 \text{кВт},$$

$$\Delta Q_{\text{ЦТП}} = 0,1 \cdot 213,17 = 21,32 \text{квар}.$$

Определение расчетной нагрузки по объекту:

$$P'_P = P_{P\Sigma} + \Delta P_{\text{ЦТП}}, \text{кВт}, \quad (18)$$

$$Q'_P = Q_{P\Sigma \frac{1}{2}} + \Delta Q_{\text{ЦТП}}, \text{квар}, \quad (19)$$

$$S'_P = \sqrt{P'^2_P + Q'^2_P}, \text{кВА}, \quad (20)$$

В числовых значениях:

$$\begin{aligned}P'_P &= 124,45 + 4,26 = 130,9 \text{ кВт}, \\Q'_P &= 171,47 + 21,32 = 192,79 \text{ квар}, \\S'_P &= \sqrt{130,9^2 + 192,79^2} = 233,03 \text{ кВА}.\end{aligned}$$

Определение мощности устройств компенсации реактивной мощности.
(КУ):

$$Q_{KV} = P_{CG} \cdot (tg\varphi - tg\varphi_H), \text{ квар}, \quad (21)$$

$$tg\varphi = \frac{Q'_P}{P'_P}, \quad (22)$$

$$P_{CG} = P'_P \cdot \frac{T_{MA}}{T_{\Gamma}}, \text{ кВт}. \quad (23)$$

В числовых значениях:

$$\begin{aligned}Q_{KV} &= 77,57 \cdot (1,47 - 0,35) = 87,09 \text{ квар}, \\tg\varphi &= 1,47, \\P_{CG} &= 130 \cdot \frac{3200}{5400} = 77,57 \text{ кВт}.\end{aligned}$$

По справочнику выбирается стандартное значение мощности компенсирующих устройств УКМ58-0,4-40-4-2,5У3 IP20 [3].

Определение реактивной мощность при наличии устройств компенсации реактивной мощности:

$$Q''_P = Q'_P - N_{KV} \cdot Q_{KV.cm}, \text{ квар}, \quad (24)$$

где $N_{ку}$ - количество устройств компенсации реактивной мощности.

Значит:

$$Q''_P = 192,79 - 2 \cdot 40 = 112,79 \text{ квар.}$$

Определение расчетной мощности всего корпуса с учетом потерь мощности:

$$S''_P = \sqrt{P'^2_P + Q''^2_P}, \text{ кВА}, \quad (25)$$

$$S''_P = \sqrt{130,9^2 + 112,79^2} = 172,79 \text{ кВА.}$$

Выбирается трансформатор ТМ-160/10/0,4.

Проверка трансформатора по K_3 в нормальном режиме работы и аварийном режиме:

$$K_3 = \frac{S_P}{n \cdot S_{\text{ном.тр}}} \leq 0,7, \quad (26)$$

$$K_{3.A} = \frac{S_P}{S_{\text{ном.тр}}} \leq 1,4. \quad (27)$$

Коэффициенты загрузки трансформатора отвечают требованиям:

$$K_3 = \frac{184}{160 \cdot 2} = 0,575.$$

$$K_{3.A} = \frac{184}{160} = 1,15.$$

Расчеты для второго варианта аналогичны.

Они сведены в таблицу 5.

Таблица 5 – Результаты технического сравнения вариантов выбора силовых трансформаторов на питающей ТП-10/0,4 В

Вариант	S _{н1} , кВА	N _{тр}	K _{зн}	K _{зав}	ΔP _{хх} , кВт	ΔP _{кз} , кВт	ΔQ _{хх} , кВар	ΔQ _{кз} , кВар	ΔP _{хх'} , кВт	ΔP _{кз'} , кВт	ΔP _{т'} , кВт
1	160	2	0,58	1,16	0,34	2,5	9,6	7,2	1,012	3,00	2,01
2	250	1	0,46	0,93	0,4	2,7	25	22,5	2,15	4,28	3,07

Проводится экономическое сравнение вариантов (по укрупнённым показателям).

Приведенные активные потери в трансформаторе, кВт:

$$\Delta P'_T = \Delta P'_{XX} + k_3^2 \cdot \Delta P'_{КЗ}, \text{ кВт}, \quad (28)$$

$$\Delta P'_T = 0,34 + 0,54^2 \cdot 2,5 = 1,89 \text{ кВт}.$$

Потери электроэнергии, кВт·ч:

$$\Delta \mathcal{E}_{ТП} = \Delta P'_T \cdot T_{Г}, \text{ кВт} \cdot \text{ч}, \quad (29)$$

где $T_{Г}$ - количество часов работы предприятия за один год, ч.

$$\Delta \mathcal{E}_{ТП} = 1,89 \cdot 3200 = 6041,17 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Стоимость потерь электроэнергии, тысяч рублей:

$$C_{II} = \Delta \mathcal{E}_{ТП} \cdot C_0 \cdot n, \text{ руб.}, \quad (30)$$

где C_0 - цена электроэнергии, рублей/кВт·ч;

n - количество трансформаторов на данной подстанции.

$$C_{II} = 6041,17 \cdot 3,5 \cdot 2 = 42288,2 \text{ руб.}$$

Стоимость амортизационных затрат, тысяч рублей:

$$C_{АТП} = \phi_{ТП} \cdot K_{ТП}, \text{ тыс. руб.}, \quad (31)$$

где $\phi_{ТП} = 10\%$ - для трансформаторной подстанции (ТП);

$K_{ТП}$ - единовременные капитальные вложения в ТП, тыс. руб.

$$C_{АТП} = 0,01 \cdot 87 = 8,7 \text{ тыс. руб.}$$

Стоимость эксплуатационных затрат, тыс. руб.:

$$C_{Э} = C_{П} + C_{АТП}, \text{ тыс. руб.}, \quad (32)$$

$$C_{Э} = 8,7 + 42,29 = 50,99 \text{ тыс. руб.}$$

Определяются затраты, тысяч рублей:

$$З = p_n \cdot K + C_{Э}, \text{ тыс. руб.}, \quad (33)$$

где p_n - нормативный коэффициент эффективности, который зависит от срока окупаемости электрического оборудования.

$$З = 0,15 \cdot 87 + 50,99 = 64,04 \text{ тыс. руб.}$$

Значит, окончательно принят и подтверждён первый вариант с питанием корпуса от одной двухтрансформаторной ТП-10/0,4 кВ.

Выводы по разделу.

Таким образом, исходя из полученных результатов технико-экономического расчёта выбора трансформаторов на питающей ТП-10/0,4 кВ, принимается первый вариант питания корпуса от одной двухтрансформаторной ТП-10/0,4 кВ с двумя трансформаторами марки ТМ-160/10.

Выбраны два компенсирующих устройства марки УКМ58-0,4-40-4-2,5УЗ IP20.

4 Расчёт токов короткого замыкания

В процессе проектирования системы электроснабжения корпуса производства кабелей ключевым аспектом является анализ и расчет токов короткого замыкания, задача которого заключается в определении максимально возможных токов, возникающих при коротком замыкании в различных точках электросети. Данный расчет имеет важное значение для обеспечения надежности и безопасности электрической системы, выбора соответствующих защитных устройств и определения параметров электрооборудования, способного выдержать возможные термические и динамические нагрузки от токов короткого замыкания.

Расчет токов короткого замыкания базируется на комплексном анализе электрической схемы предприятия, включая все элементы системы электроснабжения: трансформаторы, линии электропередачи, шины, кабельные линии и другие компоненты.

Применяются математические модели для определения параметров сети, такие как сопротивления и реактивные сопротивления элементов схемы.

Важной частью процесса является учет режимов работы электросети, возможных конфигураций подключения и эксплуатационных условий. Расчеты проводятся с использованием методов теории электрических цепей, учитывая как статические, так и динамические характеристики системы. Результаты анализа позволяют оценить максимальные токи короткого замыкания в наиболее критичных точках системы, что является основой для выбора параметров электрооборудования и систем защиты.

Обеспечение электробезопасности и пожарной безопасности предприятия требует тщательного подхода к расчету токов короткого замыкания, поскольку эти параметры напрямую влияют на вероятность возникновения аварийных ситуаций, связанных с перегревом оборудования и возгоранием.

Поэтому расчет токов короткого замыкания выполняется на этапе

проектирования и регулярно корректируется в процессе эксплуатации системы с учетом изменений в электрической сети и появления новых потребителей электроэнергии.

Расчет токов КЗ производится для выбора и проверки электрических аппаратов, изоляторов и токоведущих частей по условиям КЗ с целью обеспечения системы электроснабжения надежным в работе оборудованием [5].

Принимается, что напряжение на высокой стороне трансформатора остается неизменным, так как для снабжения корпуса производства кабеля используется трансформатор небольшой мощности.

Расчет тока КЗ рассматривается на примере снабжения удаленного и мощного ЭД питающихся от ШРА (рисунок 4).

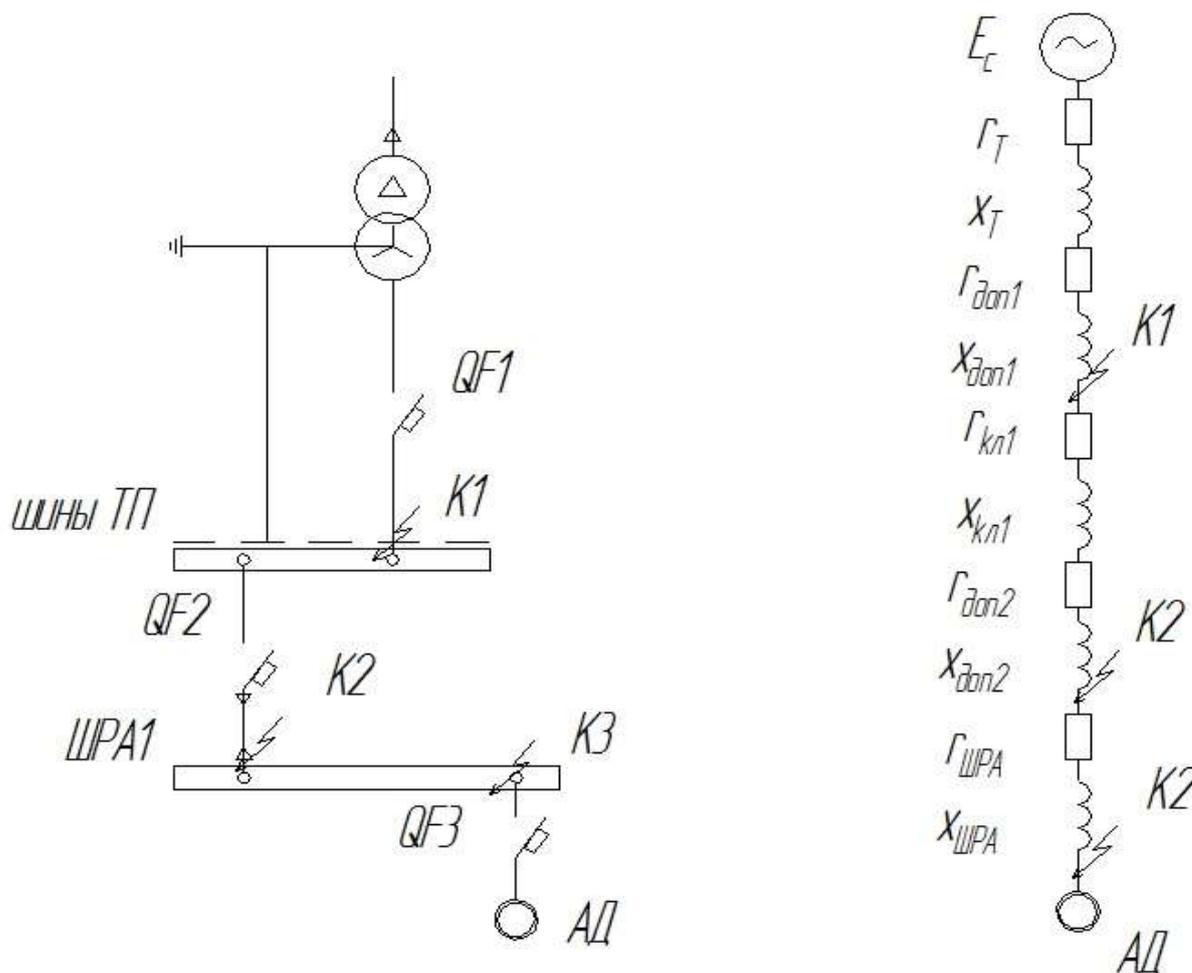


Рисунок 4 – Выбор точек короткого замыкания и схема замещения

Выбор точек цепи для проведения расчета токов короткого замыкания.

- К1 – на шинах ТП, для проверки на электродинамическую стойкость автоматических выключателей QF1, QF2, а также для проверки на термическую стойкость питающего кабеля на ток короткого замыкания (от шин ТП до ШРА-1);
- К2 – на зажимах ШРА-1, для осуществления проверки автоматических выключателей для электроприемников и кабельных линий;
- К3 – конец ШРА перед электроприемником с самой большой мощностью, для проверки значения тока КЗ в зависимости от длины шинпровода.

Сопротивления, указанные на схеме замещения:

- r_T и x_T – сопротивления трансформатора (активные и индуктивные);
- $r_{доп1}$ и $x_{доп1}$ – дополнительные сопротивления (активные и индуктивные), которые включают сопротивление трансформатора тока, автоматического выключателя QF1, переходные сопротивления;
- $r_{КЛ}$ и $x_{КЛ}$ – удельные сопротивления (активные и индуктивные) кабеля;
- $r_{доп2}$ и $x_{доп2}$ – дополнительные активные и индуктивные сопротивления, которые включают сопротивления контактов автоматического выключателя QF2, переходные сопротивления;
- $r_{ШРА}$ и $x_{ШРА}$ – удельные активные и индуктивные сопротивления ШРА-1 по всей длине.

Рассчитываются сопротивления цепи. Применяется методика [12].

Сопротивление трансформатора:

$$R_T = \frac{P_K \cdot U_{Hном}^2}{S_{т.ном}^2}, \text{ мОм}, \quad (34)$$

$$R_T = \frac{2,65 \cdot 0,4^2}{160^2} = 16,6 \text{ мОм.}$$

$$X_T = \sqrt{\left(\frac{u_K}{100}\right)^2 - \left(\frac{P_k}{S_{т.ном}}\right)^2} \cdot \frac{U_{НН.ном}^2}{S_{ном}}, \text{ мОм,} \quad (35)$$

$$X_T = \sqrt{\left(\frac{4,5}{100}\right)^2 - \left(\frac{2,65}{160}\right)^2} \cdot \frac{0,4^2}{160} \cdot 10^6 = 41,8 \text{ мОм.}$$

Дополнительные сопротивления:

$$R_{ДОП1} = R_{ТТ} + R_{QF1} + R_{Ш}, \quad (36)$$

$$X_{ДОП1} = X_{QF1} + X_{ТТ} + X_{Ш}, \quad (37)$$

$$R_{ДОП2} = R_{QF2}, \quad (38)$$

$$X_{ДОП2} = X_{QF2}. \quad (39)$$

Сопротивления ТТ 1000/5 (трансформатор тока):

$$R_{ТТ} = 0,43 \text{ мОм;}$$

$$X_{ТТ} = 0,68 \text{ мОм}$$

Сопротивление автоматического выключателя QF1(ВА88-32):

$$R_{QF1} = R_{РАС1} + R_{K1}, \text{ мОм,} \quad (40)$$

где $R_{РАС}$ – сопротивление расцепителя,

R_K – сопротивление контактов автоматического выключателя.

$$R_{QF1} = 0,36 + 0,6 = 0,96 \text{ мОм,}$$

$$X_{QF1} = 0,28 \text{ мОм}$$

Сопротивление выключателя на линии к ШРА-1 QF-2 марки ВА88-32:

$$R_{QF2} = R_{PAC2} + R_{K2}, мОм, \quad (41)$$

$$R_{QF2} = 1,3 + 0,65 = 1,95 мОм,$$

$$X_{QF2} = 0,85 мОм$$

Сопротивление на шинах трансформатора:

$$R_{Ш} = R_0 \cdot l, мОм, \quad (42)$$

$$X_{Ш} = X_0 \cdot l, мОм, \quad (43)$$

$$R_{Ш} = 0,065 \cdot 3 = 0,195 мОм,$$

$$X_{Ш} = 0,135 \cdot 3 = 0,4 мОм.$$

Сопротивление линии от трансформатора до ШРА – линия «ЛШРА-1»:

$$R_{КЛШРА1} = R_0 \cdot l, мОм, \quad (44)$$

$$X_{КЛШРА1} = X_0 \cdot l, мОм, \quad (45)$$

$$R_{КЛШРА1} = 0,08 \cdot 0,0142 = 1,136 мОм,$$

$$X_{КЛШРА1} = 0,06 \cdot 0,0142 = 0,852 мОм.$$

Сопротивление шинпровода ШРА-1:

$$R_{ШРА} = 0,085 \cdot 0,054 = 4,6 мОм,$$

$$X_{ШРА} = 0,075 \cdot 0,054 = 4 мОм.$$

Расчет значений сопротивлений по точкам короткого замыкания.

Точка короткого замыкания *KI*:

$$R_{K1} = R_T + R_{QF1} + R_{Ш} + R_{ТТ}, мОм, \quad (46)$$

$$X_{K1} = X_T + X_{QF1} + X_{Ш} + X_{ТТ}, мОм, \quad (47)$$

$$R_{K1} = 16,6 + 0,96 + 0,195 + 0,42 = 18,2 мОм,$$

$$X_{K1} = 41,8 + 0,28 + 0,4 + 0,67 = 43,2 мОм.$$

Точка короткого замыкания К2:

$$R_{K2} = R_T + R_{QF1} + R_{Ш} + R_{ТТ} + R_{QF2} + R_{КЛШРА1} = R_{K1} + R_{QF2} + R_{КЛШРА1}, \quad (48)$$

$$X_{K1} = X_T + X_{QF1} + X_{Ш} + X_{ТТ} + X_{QF2} + X_{КЛШРА1} = X_{K1} + X_{QF2} + X_{КЛШРА1}, \quad (49)$$

$$R_{K2} = 18,2 + 1,95 + 1,136 = 21,3 мОм,$$

$$X_{K1} = 43,2 + 0,85 + 0,852 = 44,9 мОм.$$

Точка короткого замыкания К3:

$$R_{K2} = R_T + R_{QF1} + R_{Ш} + R_{ТТ} + R_{QF2} + R_{КЛШРА1} + R_{ШРА} = R_{K2} + R_{ШРА}, \quad (50)$$

$$X_{K1} = X_T + X_{QF1} + X_{Ш} + X_{ТТ} + X_{QF2} + X_{КЛШРА1} + X_{ШРА} = X_K + X_{ШРА}, \quad (51)$$

$$R_{K2} = 21,3 + 4,6 = 25,9 мОм,$$

$$X_{K1} = 44,9 + 4 = 48,9 мОм.$$

Ток трехфазного КЗ:

$$I_{K3i}^{(3)} = \frac{U_{\delta}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{Ki}^2 + X_{Ki}^2}}, кА. \quad (52)$$

Для расчётных точек схемы:

$$I_{K31}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{17,56^2 + 42,08^2}} = 5,06 кА,$$

$$I_{K32}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{21,75^2 + 43,16^2}} = 4,79 \text{ кА},$$

$$I_{K33}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{28,7^2 + 51,21^2}} = 3,93 \text{ кА}.$$

Ударный ток короткого замыкания [7]:

$$i_{y\partial.c1} = \sqrt{2} \cdot K_{y\partial} \cdot I_{K3i}^{(3)}, \text{ кА}.$$

Ударный ток $K_{y\partial}$ зависит от значения T_{ai} :

$$T_{ai} = X_{рез} / R_{рез}.$$

Таким образом:

$$T_{a1} = 43,2 / 18,2 = 0,42 \Rightarrow K_{y\partial} = 1,98,$$

$$T_{a2} = 44,9 / 21,3 = 1,93 \Rightarrow K_{y\partial} = 1,99,$$

$$T_{a3} = 48,9 / 25,9 = 0,5 \Rightarrow K_{y\partial} = 1,98.$$

С учётом этого, значение ударного тока трёхфазного КЗ в расчётных точках схемы:

$$i_{y\partial.c1} = \sqrt{2} \cdot 1,98 \cdot 5,06 = 14,16 \text{ кА},$$

$$i_{y\partial.c2} = \sqrt{2} \cdot 1,99 \cdot 4,78 = 13,48 \text{ кА},$$

$$i_{y\partial.c3} = \sqrt{2} \cdot 1,98 \cdot 3,93 = 11,02 \text{ кА}.$$

Результаты расчёта токов короткого замыкания представлены в форме таблицы 6.

Таблица 6 – Результаты расчёта токов короткого замыкания

Точка короткого замыкания	$I_{кз}$, кА	$i_{уд.с}$, кА
К1	5,06	14,16
К2	4,78	13,48
К3	3,93	11,02

Полученные результаты используются в работе далее.

Выводы по разделу.

Проведён расчёт токов короткого замыкания в максимальном режиме работы в сетях 10 кВ и 0,38/0,22 кВ системы электроснабжения корпуса производства кабелей.

Рассчитаны значения ударных токов в расчётных точках объекта проектирования.

Полученные результаты используются при выборе и проверке кабелей и электрических аппаратов на термическую стойкость.

5 Выбор и проверка оборудования, проводников и электрических аппаратов

5.1 Выбор и проверка оборудования

Далее необходимо провести выбор и проверку оборудования в проектируемой системе электроснабжения корпуса производства кабелей.

Выбираются приводные электродвигатели станков объекта проектирования.

Выбора двигателя приводится по условию [19]:

$$P_{д.ном.} \geq P_{мех}, кВт, \quad (53)$$

где $P_{д.ном.}$ – номинальная (паспортная) мощность на валу электродвигателя, кВт;

$P_{д.ном.}$ – мощность механической передачи, кВт.

Пример выбора двигателя приводится для зубофрезерного станка с установленной мощностью 10,55 кВт.

$$11кВт \geq 10,55кВт.$$

Используя данные каталога, выбирается марка двигателя для станка 4АМ132М3.

Условия выбора выполняется, следовательно, данный тип двигателя подходит для установки на объекте.

Аналогичные расчёты проведены для остальных механизмов корпуса производства кабелей и результаты представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Выбор и проверка приводных электродвигателей механизмов корпуса производства кабелей

Наименование	Рн, кВт	Рдв, кВт	Марка двигателя	η_n	$\cos\varphi$	Ip, А	Ипуск, А	Кол- во
Станок экструзионный 1 ступени	28	30	4АМ180М3	91,00	0,89	48,65	364,90	1
Станок экструзионный 2 ступени	4,6	5,5	4А112М2У2	87,50	0,91	8,72	56,70	3
Станок намоточный 2ступени	2,925	3	АИР90Л3	72,00	0,88	4,92	36,90	4
Станок намоточный 1 ступени	11,13	15	4АМ160S3	88,00	0,91	23,79	178,44	2
Настольно- сверлильный	0,6	0,75	4А71В2У2	77,50	0,87	1,24	8,09	4
Горизонтально- расточный	18,95	22	АИР200М3	83,00	0,87	36,50	237,24	1
Станок навивки кабеля	4,5	5,5	4А112М2У2	87,50	0,91	8,72	56,70	2
Универсально- фрезерный	3,4	4	4А1002У2	87,50	0,89	6,49	48,65	3
Станок для изготовления проволоки	2,25	3	АИР90Л3	72,00	0,88	4,92	36,90	4
Копировально- фрезерный	3,5	4	4А1002У2	87,50	0,89	6,49	48,65	1
Плоскошлифовальный	2,8	3	АИР90Л3	72,00	0,88	4,92	36,90	2
Внутришлифовальный	7,525	10	4АМ802У2	77,50	0,76	18,99	142,44	1
Круглошлифовальный	9,585	10	4АМ802У2	77,50	0,76	18,99	142,44	2
Зубофрезерный	10,55	11	4АМ132М3	88,00	0,90	17,64	132,31	1
Горизонтально- фрезерный	8,7	10	4АМ802У2	77,50	0,76	18,99	142,44	2
Настольно- резьбонарезной	0,6	0,75	4А71В2У3	77,50	0,87	1,24	9,33	3
Таль электрическая	0,85	1,1	4А80В2У2	83,00	0,87	1,82	12,77	2
Кран мостовой электрический	24,2	30	АИР180М3	87,50	0,85	50,94	382,07	1
Шкаф электрический сушильный	0,6	-	-	-	-	-	-	1
Трансформатор сварочный	5	-	-	-	-	-	-	1
Балансировочный станок	1,7	2,2	4А902У2	84,50	0,87	3,65	27,37	1
Полуавтомат для намотки катушек	1	1,1	4А80В2У2	83,00	0,87	1,82	12,77	2
Намоточный станок	2,8	3	АИР90Л3	72,00	0,88	4,92	36,90	1

Продолжение таблицы 7

Наименование	Рн, кВт	Рдв, кВт	Марка двигателя	η_n	$\cos\varphi$	Ip, А	Ипуск, А	Кол- во
Проволочная витая машина	1,7	2,2	4А902У2	84,50	0,87	3,65	25,55	2
Ванна для пайки	2,8	3	АИР90L2	72,00	0,88	4,92	31,98	1
Обдирочно-шлифовальный	2,8	3	АИР90L3	72,00	0,88	4,92	31,98	2
Станок намоточно-повивочный	11,13	14	А-61-3	87,50	0,89	22,70	170,29	1
Станок для нанесения покрытия брони	1,7	2,2	4А902У4	84,50	0,87	3,65	23,72	2
Таль электрическая	0,85	1,1	4А80В2У2	83,00	0,87	1,82	12,59	1
Станок для нанесения маркировки	8,825	10	4АМ802У2	77,50	0,76	18,99	117,75	1
Ножницы гильотинные	7	7,5	4А112М2У2	87,50	0,88	12,30	36,90	1
Пресс гидравлический	4,5	5,5	4А112М2У2	87,50	0,91	8,72	61,07	1
Кабельная витая машина	1,7	2,2	4А902У2	84,50	0,87	3,65	20,07	1
Стенд испытательный	9	10	4АМ802У2	77,50	0,76	18,99	117,75	1
Пресс однокривошипный	10	10	4АМ802У4	77,50	0,76	18,99	117,75	1
Пресс фрикционный	4,5	5,5	4А112М2У5	87,50	0,91	8,72	61,07	1
Станок для нанесения покрытия брони	2,8	3	АИР90L8	72,00	0,88	4,92	31,00	2
Станок для нанесения покрытия жил	2,8	3	АИР90L3	72,00	0,88	4,92	31,00	3
Вентилятор	4,5	5,5	4А112М2У2	87,50	0,91	8,72	61,07	8

Все двигатели приводных механизмов подходят для установки на объекте.

5.2 Выбор и проверка проводников

Далее необходимо провести выбор и проверку новых проводников для канализации электроэнергии в проектируемой системе электроснабжения корпуса производства кабелей.

Исходя из принятой схемы системы электроснабжения корпуса производства кабелей, в работе необходимо выбрать следующие виды сетей объекта напряжением до 1 кВ:

- питающая сеть 0,4 кВ – выполняется пятижильными кабелями ВВГнг-LS (прокладка – в трубах в земле);
- распределительная сеть 0,4 кВ – выполняется пятижильными кабелями ВВГнг-LS (прокладка – в металлорукавах).

Использование кабелей ВВГнг-LS представляет собой оптимальный выбор для широкого спектра применений в разнообразных секторах промышленности и в системах электроснабжения гражданских объектов.

Одной из ключевых характеристик, на которую следует обратить внимание при подборе кабельной продукции, является степень её горючести.

Отличительной особенностью кабелей ВВГнг-LS является их повышенная огнестойкость: эти кабели горят значительно медленнее стандартных аналогов и выделяют в процессе горения меньше токсичных соединений, что повышает уровень безопасности в условиях повышенного риска возгорания.

Дополнительным преимуществом данных кабелей служит их уникальная гибкость, позволяющая легко прокладывать их в сложных конфигурациях пространств и по трассам с множеством поворотов, не ухудшая при этом эксплуатационные характеристики.

Производство кабелей ВВГнг-LS осуществляется из материалов высокого качества, что гарантирует их прочность и долговечность даже при интенсивной эксплуатации в неблагоприятных условиях.

Эти кабели также демонстрируют превосходную устойчивость к воздействию различных внешних факторов, включая механические повреждения, ультрафиолетовое излучение, перепады температур и влажности, что делает их идеальным решением для применения в самых разнообразных условиях эксплуатации.

Таким образом, кабели ВВГнг-LS обеспечивают высокую надежность и долговечность в различных эксплуатационных условиях, будь то промышленные или гражданские объекты. Их выбор для системы электроснабжения корпуса производства кабелей является оправданным с

точки зрения обеспечения гибкости, безопасности и надежности электроснабжения, при этом существенно повышая уровень пожарной безопасности в потенциально опасных зонах.

Сечения кабельных линий цеховых сетей напряжением до 1000 В выбираются по длительно-допустимому току принятых марок кабельных линий с учетом условий их канализации [2].

Условием выбора кабельной линии:

$$I_p \leq I_{\text{доп.м}}, \quad (54)$$

где I_p - расчетный ток кабельной линии, А;

$I_{\text{доп.м}}$ - допустимый длительный ток кабеля данного сечения, А.

При этом:

$$I_{\text{доп}} = I_{\text{доп}}^{\text{табл}} \cdot 0,92, \quad (55)$$

где $I_{\text{доп}}^{\text{табл}}$ - допустимый табличный ток для трехжильных кабелей, А;

0,92 – коэффициент, учитывающий фактический ток для кабелей, о.е.

Выбранные сечения кабелей проверяются по формуле потери напряжения в сети:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot I_p \cdot l}{U_{\text{л}}} \cdot (r_0 \cdot \cos \phi + x_0 \cdot \sin \phi) \cdot 100\%, \quad (56)$$

где l - длина кабеля, км;

r_0, x_0 - удельные сопротивления (активное и индуктивное) 1 км линии, Ом/км;

$\cos \phi$ - коэффициент мощности электроприемников участка, о.е.;

$U_{\text{л}}$ - междуфазное напряжение, $U_{\text{л}}=380$ В.

Для выбора сечения кабельной линии приводится пример расчета для ТП-ШРА-1.

Расчетный ток линии $I_p = 121,11$ А.

Для прокладки выбирается кабельная линия с медными жилами сечением 50 мм^2 .

Для данного кабеля:

$$I_{доп} = 145 \cdot 0,92 = 133,4 \text{ А.}$$

Проверка условия:

$$121,11 \text{ А} \leq 133,4 \text{ А.}$$

Данное условие выполняется.

Выбирается кабель марки ВВГнг (5×50), который имеет следующие удельные параметры: $r_0 = 0,6$ Ом/км, $x_0 = 0,82$ Ом/км [2].

Уровень потери напряжения для кабельной линии на данном участке определяется так [10]:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot I_p \cdot l}{U_n} \cdot (r_0 \cdot \cos \phi + x_0 \cdot \sin \phi) \cdot 100, \% \quad (57)$$

Для данных условий кабельной линии:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 121,1 \cdot 50 \cdot 10^{-3}}{380} \cdot (0,6 \cdot 0,5 + 0,82 \cdot 0,87) \cdot 100 \% = 4,5 \%$$

Все условия проверки выполняются.

Расчет для остальных кабельных линий питающей сети производится аналогичным способом, результаты расчета приводятся в таблице 8.

Таблица 8 – Выбор кабелей питающей сети

Название линии	I_p , А	$I_{\text{табл.доп}}$, А	$I_{\text{дл.доп}}$, А	Марка и сечение	R_0	X_0	Длина	ΔU , %
ТП-ШРА - 1	121,11	145	133,4	ВВГнг5×50	0,37	0,078	40	0,55834
ТП-ШРА - 2	78,10	90	82,8	ВВГнг5×35	0,54	0,087	30	0,36916
ТП-ШРА - 3	91,36	115	105,8	ВВГнг5×35	0,54	0,087	10	0,14396
ТП-ШТМ	17,96	40	36,8	ВВГнг5×6	0,79	0,12	8	0,03271
ТП-ШРА - 1	121,11	145	133,4	ВВГнг5×50	0,37	0,078	40	0,55834
ТП-ШРА - 2	78,10	145	133,4	ВВГнг5×50	0,37	0,078	30	0,27003
ТП-СШ - 1	15,93	40	36,8	ВВГнг5×6	0,79	0,12	10	0,03626
ТП-СШ - 2	77,63	115	105,8	ВВГнг5×35	0,54	0,087	12	0,14678
ТП-СШ - 3	48,23	75	69	ВВГнг5×16	0,65	0,096	20	0,17960
ТП-СШ - 4	62,44	90	82,8	ВВГнг5×25	0,74	0,082	30	0,37685
ТП-ШТМ	0,00	40	36,8	ВВГнг5×6	0,79	0,12	8	0,00000

Распределительная сеть 0,4 кВ также выполняется кабелями марки ВВГнг.

Расчетный ток электроприемника, А:

$$I_p = \frac{P_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \phi_n \cdot \eta}, \quad (58)$$

где $P_{\text{ном}}$ – номинальная активная мощность электрического приемника, кВт;

$\cos \phi_n$ – номинальный коэффициент мощности приемника.

Выбор сечений производится по тем же условиям, что и для питающих линий.

Аналогично определяется и потеря напряжения в распределительной сети [1].

Проверяется условие [10]:

$$I_p \leq I_{\text{д.доп}}, \quad (59)$$

где I_p – расчетный ток линии, А;

$I_{\text{д.доп}}$ – допустимый длительный ток на кабели данного сечения, А.

Пример выбора сечения кабеля для линии ШРА-1-ЭП2.

Расчетный ток электроприемника:

$$I_p = \frac{P_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \phi_n \cdot \eta}, A. \quad (60)$$

$$I_p = \frac{5,5}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,875 \cdot 0,91} = 10,49 A.$$

Для прокладки принимается кабель с медными жилами сечением 1,5 мм² [5].

Для данного кабеля:

$$I_{дон} = 16 \cdot 0,92 = 14,72 A.$$

$$10,49 A \leq 14,72 A.$$

Условие выполняется. Принимается кабель марки ВВГ (5×1,5).

Выбранная кабельная линия имеет следующие параметры: $r_0=0,46$ мОм/км, $x_0=0,12$ мОм/км.

Потеря напряжения на данном участке:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 10,49 \cdot 3,6 \cdot 10^{-3}}{380} \cdot (0,46 \cdot 0,5 + 0,12 \cdot 0,87) \cdot 100 \% = 0,96 \%$$

Потеря напряжения – меньше предельно допустимого значения:

$$0,96\% \leq 5\%.$$

Следовательно, кабель выбран верно.

Выбор остальных кабелей распределительной сети 0,4 кВ представлен в таблице 9.

Таблица 9 – Выбор кабелей распределительной сети 0,4 кВ корпуса

Номер линии	Кол-во	I _{доп}	марка кабеля	l, км	г _о , ом/км	х _о , ом/км	ΔU, %	Способ прокладки
1	1	69,00	ВВГнг5×16	1,61	1,15	0,02	0,43	металлорукав
2	3	14,72	ВВГнг5×1,5	1,61	0,46	0,12	0,04	металлорукав
3	3	14,72	ВВГнг5×1,5	1,61	13,6	0,12	0,64	металлорукав
3(1)	1	14,72	ВВГнг5×1,5	5,00	13,6	0,12	1,97	металлорукав
4	2	36,8	ВВГнг5×6	1,61	3,06	0,10	0,59	металлорукав
5	4	14,72	ВВГнг5×1,5	1,61	13,6	0,12	0,15	металлорукав
6	1	46,00	ВВГнг5×10	5,00	1,84	0,07	1,73	металлорукав
7	2	14,72	ВВГнг5×1,5	5,00	13,6	0,12	2,97	металлорукав
8	3	14,72	ВВГнг5×1,5	1,84	13,6	0,12	0,80	металлорукав
9	4	14,72	ВВГнг5×1,5	1,84	13,6	0,12	0,73	металлорукав
10	1	14,72	ВВГнг5×1,5	5,30	13,6	0,12	2,29	металлорукав
11	2	14,72	ВВГнг5×1,5	1,84	13,6	0,12	0,73	металлорукав
12	1	27,6	ВВГнг5×4	1,84	4,6	0,17	0,78	металлорукав
13	2	27,6	ВВГнг5×4	5,30	4,6	0,17	2,25	металлорукав
14	1	23,00	ВВГнг5×2,5	5,30	7,55	0,07	3,48	металлорукав
15	2	27,6	ВВГнг5×4	5,30	4,6	0,17	2,25	металлорукав
16	3	14,72	ВВГнг5×1,5	5,30	13,6	0,12	0,49	металлорукав
17	1	14,72	ВВГнг5×1,5	11,68	13,6	0,12	1,47	на кольцах
17(1)	1	14,72	ВВГнг5×1,5	3,77	13,6	0,12	0,47	на кольцах
18	1	69,00	ВВГнг5×16	3,84	1,15	0,02	1,06	на кольцах
19	1	14,72	ВВГнг5×1,5	1,08	13,6	0,12	0,06	металлорукав
20	1	14,72	ВВГнг5×1,5	1,23	13,6	0,12	0,58	металлорукав
21	1	14,72	ВВГнг5×1,5	1,23	13,6	0,12	0,30	металлорукав
22	2	14,72	ВВГнг5×1,5	1,69	13,6	0,12	0,21	металлорукав
23	1	14,72	ВВГнг5×1,5	1,23	13,6	0,12	0,48	металлорукав
24	2	14,72	ВВГнг5×1,5	4,53	13,6	0,12	1,12	металлорукав
25	1	14,72	ВВГнг5×1,5	4,53	13,6	0,12	1,20	металлорукав
26	2	14,72	ВВГнг5×1,5	4,53	13,6	0,12	1,79	металлорукав
27	1	27,6	ВВГнг5×4	1,84	4,6	0,17	0,96	металлорукав
28	2	14,72	ВВГнг5×1,5	1,92	13,6	0,12	0,47	металлорукав
29	1	14,72	ВВГнг5×1,5	1,92	13,6	0,12	0,24	на кольцах
31	1	23,00	ВВГнг5×2,5	1,00	7,55	0,07	0,45	металлорукав
30	1	27,6	ВВГнг5×4	1,23	4,6	0,17	0,52	металлорукав
32	1	14,72	ВВГнг5×1,5	2,00	13,6	0,12	1,19	металлорукав
33	1	14,72	ВВГнг5×1,5	1,15	13,6	0,12	0,28	металлорукав
34	1	27,6	ВВГнг5×4	1,15	4,6	0,17	0,49	металлорукав
35	1	27,6	ВВГнг5×4	1,08	4,6	0,17	0,46	металлорукав
36	1	14,72	ВВГнг5×1,5	1,00	13,6	0,12	0,59	металлорукав
37	2	14,72	ВВГнг5×1,5	1,61	13,6	0,12	0,64	металлорукав
38	3	14,72	ВВГнг5×1,5	4,23	13,6	0,12	1,67	металлорукав
39	8	14,72	ВВГнг5×1,5	5,38	13,6	0,12	3,20	металлорукав

После определения токов КЗ необходимо проверить кабельные линии на термическую стойкость [7].

Проверяется кабель к ШРА:

$$S_{m.cm1} = I_{\infty} \cdot \alpha \cdot \sqrt{t_n}, \text{ мм}^2, \quad (61)$$

где $\alpha = 39$ – коэффициент температуры для медной жилы;

t_n - время срабатывания автоматического выключателя;

I_{∞} - установившееся значение периодического тока короткого замыкания $I_{кз}$ [7].

Проверяется кабель к ШРА-1 (питающая сеть 0,4 кВ):

$$S_{m.cm1} = 3,17 \cdot 39 \cdot \sqrt{0,08} = 34,9 \text{ мм}^2.$$

Кабель ВВГнг 5×50 проходит проверку по термической стойкости:

$$50 \text{ мм}^2 \geq 34,9 \text{ мм}^2$$

Таким образом, данный кабель остаётся без изменений.

Кабельная линия к ЭП1 (распределительная сеть 0,4 кВ):

$$S_{m.cm1} = 2,99 \cdot 39 \cdot \sqrt{0,08} = 32,9 \text{ мм}^2.$$

Кабель ВВГнг 5×16 не проходит проверку. Сечение должно быть не менее 35 мм².

Меняется данный кабель на кабель ВВГнг 5×35.

Проверка сечения кабелей распределительной сети 0,38/0,22 кВ на термическую стойкость выполнена аналогично с приведением результатов в форме таблицы 10.

Таблица 10 – Проверки кабелей на термическую стойкость

Линия	Назначение	Ст.ст	Окончательная марка кабеля
1	Станок намоточно-повивочный	32,94	ВВГнг5×35
2	Станок намоточно-повивочный	33,18	ВВГнг5×35
3	Станок намоточно-повивочный	26,43	ВВГнг5×35
3(1)	Станок намоточно-повивочный	16,23	ВВГнг5×25
4	Станок намоточно-повивочный	31,91	ВВГнг5×35
5	Настольно-сверлильный	26,43	ВВГнг5×35
6	Горизонтально-расточный	30,43	ВВГнг5×35
7	Поперечно-строгальный	16,23	ВВГнг5×25
8	Универсально-фрезерный	25,49	ВВГнг5×35
9	Координатно-расточный	25,49	ВВГнг5×35
10	Копировально-фрезерный	15,62	ВВГнг5×16
11	Плоскошлифовальный	25,49	ВВГнг5×35
12	Внутришлифовальный	30,68	ВВГнг5×35
13	Круглошлифовальный	25,49	ВВГнг5×35
14	Зубофрезерный	21,50	ВВГнг5×25
15	Горизонтально-фрезерный	25,49	ВВГнг5×35
16	Настольно-резьбонарезной	15,62	ВВГнг5×25
17	Таль электрическая	8,64	ВВГнг5×10
17(1)	Таль электрическая	19,09	ВВГнг5×25
18	Кран мостовой электрический	32,12	ВВГнг5×35
19	Шкаф электрический сушильный	28,77	ВВГнг5×35
20	Трансформатор сварочный	28,08	ВВГнг5×35
21	Балансировочный станок	28,08	ВВГнг5×35
22	Полуавтомат для намотки катушек	26,11	ВВГнг5×35
23	Намоточный станок	28,08	ВВГнг5×35
24	Проволочная витая машина	17,21	ВВГнг5×25
25	Ванна для пайки	17,21	ВВГнг5×25
26	Обдирочно-шлифовальный	17,21	ВВГнг5×25
27	Станок намоточно-повивочный	30,68	ВВГнг5×35
28	Станок для нанесения покрытия брони	25,18	ВВГнг5×35
29	Таль электрическая	25,18	ВВГнг5×35
31	Ножницы гильотинные	31,11	ВВГнг5×35
30	Станок для нанесения маркировки	31,65	ВВГнг5×35
32	Пресс гидравлический	24,88	ВВГнг5×25
33	Кабельная витая машина	28,42	ВВГнг5×35
34	Стенд испытательный	31,77	ВВГнг5×35
35	Пресс одно-кривошипный	31,89	ВВГнг5×35
36	Пресс фрикционный	29,11	ВВГнг5×35
37	Станок для нанесения покрытия брони	26,43	ВВГнг5×35
38	Станок для нанесения покрытия жил	17,92	ВВГнг5×25
39	Вентилятор	15,48	ВВГнг5×16

Проводится выбор жёсткой ошиновки для применения на питающей ТП-10/0,4 кВ.

Сечение жестких шин выбирается исходя из условий допустимого нагрева (длительному току).

При выборе учитываются такие факторы как:

- нормальный режим работы;
- аварийный режим;
- послеаварийный режим.

Условие выбора жестких шин [4]:

$$I_p < I_{дон}, \quad (62)$$

где I_p – расчетный ток нагрузки;

$I_{дон}$ – допустимый ток шины.

Данные для расчёта: $S_p=211,87$ кВА, $U_c=0,4$ кВ, $i_{y2}=8,6$ кА, $t_{п}=2,1$ с.

Определяется ток шинопровода:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_c}, A, \quad (63)$$

$$I_p = \frac{211,87}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 305,81 A.$$

Допустимый ток на ШРА:

$$I_{дон}^3 = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot I_{дон} \geq I_p, A, \quad (64)$$

где $k_1=0,95$ – поправочный коэффициент,

$k_2=1,0$ – для однополосных шин;

$k_3=1,0$ – поправочный коэффициент для шин при температуре окружающей среды 25^0 С.

$$I_{доп} \geq 341,56 \text{ А.}$$

Выбираются жесткие алюминиевые однополосные шины прямоугольного сечения $(50 \times 5) \text{ мм}^2$ с $I_{доп} = 500 \text{ А}$.

Проверка шинпровода на термическую стойкость:

$$S_{m.cml} = 8,6 \cdot 12 \cdot \sqrt{2,1} = 144 \text{ мм}^2.$$

$$S_{расч} = 50 \times 5 = 250 > 144 \text{ мм}^2.$$

Проверка выполняется.

Проводится выбор распределительных шинпроводов (ШРА).

Монтаж шинпровода ШРА производится на высоте 3,5 м от пола [5].

ШРА выбираются по пиковому току:

$$I_{пик} \leq I_{ном}, \text{ А}, \quad (65)$$

где $I_{ном}$ – номинальный ток ШРА.

$$I_{пик} = I_{пуск.м} + (I_p - k_u \cdot I_{ном.м}).$$

Выбирается распределительный шинпровод типа ШРА-75, шины алюминиевые прямоугольного сечения $(35 \times 5) \text{ мм}^2$.

Параметры ШРА: $I_{ном} = 250 \text{ А}$, $R_0 = 0,085 \text{ Ом/км}$, $X_0 = 0,075 \text{ Ом/км}$.

Потеря напряжения на участке $L = 100 \text{ м}$, $\Delta U_{100} = 12,5 \text{ В}$.

Нагрузка распределена равномерно по длине и $\cos \varphi = 0,8$.

Ток электродинамической стойкости $I_{дин} = 15 \text{ кА}$.

Выполняется проверка по номинальному значению тока:

$$I_{ном} = 250 \text{ А} > I_n = 121,11 \text{ А}$$

Номинальное значение тока больше расчетного, то есть условие выполняется.

Проверка по потере напряжения:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 121,11 \cdot 0,042}{380} \cdot (0,085 \cdot 0,8 + 0,075 \cdot 0,6) \cdot 100\% = 0,12\%,$$

$$\Delta U = 0,12\% < \Delta U_{\text{допустимое}} = 5\%.$$

Потеря напряжения не больше 5%, то есть данное условие выполняется.

Проверка по электродинамической стойкости:

$$i_{\text{пр.скв}} = 15 \text{ кА} \geq i_y = 11,44 \text{ кА}$$

Удовлетворяет условию.

Выбранный шинопровод ШРА-1 проходит проверку по всем условиям.

Результаты выбора остальных шинопроводов ШРА2 и ШРА3 представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Результаты выбора шинопроводов

Шинопровод ШРА	Марка	$I_{\text{ном}}$, А	U_n , В	ΔU , %	L, м	Вид защиты	Способ прокладки
ШРА-1	ШРА-75	250	380	0,12	42	IP32	кронштейн К885
ШРА-2	ШРА-75	250	380	0,07	42	IP32	кронштейн К885
ШРА-3	ШРА-75	250	380	0,08	42	IP32	кронштейн К885

Выбирается шинопровод троллейный ШТМ-70.

Параметры выбранного троллейного шинопровода [18]: $I_{\text{ном}} = 85 \text{ А}$, $R_0 = 0,32 \text{ Ом/км}$, $X_0 = 0,71 \text{ Ом/км}$.

Электродинамическая стойкость $I_{\text{дин}} = 10 \text{ кА}$.

Выполняется проверка по номинальному току:

$$I_{\text{ном}} = 200 \text{ А} > I_p = 17,97 \text{ А}$$

Условие выполняется

Выполняется проверка по потере напряжения:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 17,97 \cdot 0,048}{380} \cdot (0,4 \cdot 0,8 + 0,42 \cdot 0,6) \cdot 100\% = 0,72\%.$$

$$\Delta U = 0,72\% < \Delta U_{\text{доп}} = 5\%$$

Условие выполняется

Выполняется проверка по электродинамической стойкости:

$$i_{\text{пр.скв}} = 10 \text{ кА} \leq i_y = 8,38 \text{ кА}$$

Условие выполняется.

5.3 Выбор и проверка электрических аппаратов

Далее необходимо провести выбор и проверку новых аппаратов для защиты электрической сети 0,4 кВ в проектируемой системе электроснабжения корпуса производства кабелей.

Основной аппарат защиты в сети – автоматический воздушный выключатель.

Для защиты кабельных линий устанавливаем автоматические выключатели с тепловым и электромагнитным расцепителями.

Порядок выбора автоматического выключателя [13]:

– по $U_{\text{н}}$ (номинальному напряжению):

$$U_{\text{ном.а}} \geq U_{\text{с}}, \quad (66)$$

где $U_{\text{ном.а}}$ – номинальное напряжение электрического аппарата;

U_c – напряжение питающей сети;

– по I_H (номинальному току):

$$I_p \leq I_{ном}, \quad (67)$$

где I_p – расчетный ток потребителя;

$I_{ном}$ – номинальный ток электрического аппарата;

– по отключающей способности автоматического выключателя:

$$I_{откл.н} \geq I_k, \quad (68)$$

где $I_{откл.н}$ – значение тока, при котором аппарат срабатывает без повреждений;

I_k – значение ток короткого замыкания;

– по электродинамической стойкости:

$$i_{пр.скв} \geq i_y, \quad (69)$$

где $i_{пр.скв}$ – предельный ток, сквозной;

i_y – ударный ток короткого замыкания.

Выбор автоматического выключателя проводится для защиты и коммутации для первого электроприёмника ЭП1.

Исходные данные для расчета: ЭП1 – станок намоточно-повивочный мощностью 15 кВт с параметрами: $P_{ном} = 15$ Вт, $I_{ном} = 31,6$ А, $I_{п} = 189,8$ А.

Точка короткого замыкания – К2: $I_{кз} = 4,65$ кА, $I_y = 8,02$ кА.

По номинальному току выбирается автоматический выключатель ВА88-32 со следующими характеристиками: $I_{ном} = 125$ А, $I_{расц.т} = 80$ А, $I_{расц.э} = 800$ А, $I_{н.откл} = 25$ кА, $I_{пр.скв} = 75$ кА [1].

Выполняется проверка по номинальному напряжению:

$$U_{ном.а} = 380В \geq U_c = 380В.$$

Условие выполняется

Выполняется проверка по значению номинального тока приводного электродвигателя:

$$I_p = 52,53 \text{ А} \leq I_{ном} = 125 \text{ А};$$

$$I_p = 52,53 \text{ А} \leq I_{расц.т} = 80 \text{ А};$$

$$I_{п} = 363,95 \text{ А} \leq 1,25 \cdot I_{расц.э} = 1,25 \cdot 800 = 1 \text{ кА}.$$

Условие выполняется.

Выполняется проверка по отключающей способности аппарата:

$$I_{н.откл} = 25 \text{ кА} \geq I_{кз} = 2,99 \text{ кА}.$$

Условие выполняется.

Выполняется проверка по электродинамической стойкости автоматического выключателя:

$$I_{пр.скв.} = 75 \text{ кА} \geq I_y = 8,79 \text{ кА}.$$

Условие выполняется.

Окончательно принимается выбранный выключатель для защиты данного потребителя.

Аналогично выбираются остальные выключатели для защиты и коммутации распределительной сети 0,38/0,22 кВ СЭС корпуса производства кабелей.

Выбранные автоматические выключатели занесены в таблицу 12.

Таблица 12 – Выбор автоматических выключателей

ЭП	Ip, А	Ипуск, А	Ik.з.,кА	Iy.,кА	In.т,А	Iрасц.т,А	Iрасц.э,А	In.откл, кА	Iпр.скв, кА	АВ
1	52,53	393,95	24,34	69,15	125,00	80,00	800,00	25,00	75,00	ВА88-32
2	10,49	68,22	29,06	82,05	125,00	16,00	500,00	50,00	100,00	ВА88-32
3	7,19	53,95	5,60	15,89	125,00	16,00	500,00	12,50	25,00	ВА88-32
3(1)	7,19	53,95	2,01	5,75	125,00	16,00	500,00	12,50	25,00	ВА88-32
4	28,46	213,44	16,18	5,75	125,00	40,00	500,00	25,00	25,00	ВА88-32
5	1,69	10,99	5,60	45,93	125,00	40,00	500,00	12,50	25,00	ВА88-32
6	46,29	300,88	11,00	15,85	125,00	16,00	500,00	12,50	25,00	ВА88-32
7	10,49	68,22	2,01	31,38	125,00	40,00	500,00	12,50	25,00	ВА88-32
8	7,80	58,53	5,00	5,76	125,00	16,00	500,00	12,50	25,00	ВА88-32
9	7,19	53,95	5,00	14,18	125,00	16,00	500,00	12,50	25,00	ВА88-32
10	7,80	58,53	1,90	14,18	125,00	16,00	500,00	12,50	25,00	ВА88-32
11	7,19	53,95	5,00	5,44	125,00	16,00	500,00	12,50	25,00	ВА88-32
12	25,80	193,46	11,62	14,18	125,00	32,00	500,00	12,50	25,00	ВА88-32
13	25,80	193,46	5,11	33,04	125,00	32,00	500,00	12,50	50,00	ВА88-32
14	21,10	158,26	3,29	14,63	125,00	16,00	500,00	12,50	25,00	ВА88-32
15	25,80	193,46	5,11	9,47	125,00	32,00	500,00	12,50	25,00	ВА88-32
16	1,69	12,68	1,90	14,63	125,00	16,00	500,00	12,50	25,00	ВА88-32
17	2,31	16,20	0,89	5,39	125,00	6,00	500,00	12,50	25,00	ВА88-32
17(1)	2,31	16,20	2,62	2,53	125,00	6,00	500,00	12,50	25,00	ВА88-32
18	61,28	459,63	17,20	2,53	125,00	80,00	800,00	25,00	25,00	ВА88-32
19	91,16	-	7,81	7,44	125,00	16,00	500,00	12,50	25,00	ВА88-32
20	7,60	-	7,02	49,04	125,00	32,00	500,00	12,50	50,00	ВА88-32
21	4,55	34,10	7,02	22,10	125,00	80,00	800,00	12,50	25,00	ВА88-32
22	2,31	16,20	5,39	19,87	125,00	6,00	500,00	12,50	25,00	ВА88-32
23	7,19	53,95	7,02	19,89	125,00	16,00	500,00	12,50	25,00	ВА88-32
24	4,55	31,83	2,21	15,24	125,00	16,00	500,00	12,50	25,00	ВА88-32
25	7,19	46,76	2,21	19,91	125,00	16,00	500,00	12,50	25,00	ВА88-32
26	7,19	46,76	2,21	6,27	125,00	16,00	500,00	12,50	25,00	ВА88-32
27	27,31	204,86	11,62	6,24	125,00	32,00	500,00	12,50	25,00	ВА88-32
28	4,55	29,55	4,82	6,28	125,00	16,00	500,00	12,50	25,00	ВА88-32
29	2,31	15,97	4,82	33,05	125,00	16,00	500,00	12,50	50,00	ВА88-32
30	14,80	44,40	12,61	13,66	125,00	80,00	800,00	25,00	25,00	ВА88-32
32	10,49	73,46	14,99	13,65	125,00	16,00	500,00	25,00	50,00	ВА88-32
33	4,55	25,01	4,66	35,67	125,00	32,00	500,00	12,50	50,00	ВА88-32
34	25,80	159,93	7,40	42,54	125,00	32,00	500,00	12,50	50,00	ВА88-32
35	25,80	159,93	15,55	13,25	125,00	80,00	800,00	25,00	25,00	ВА88-32
36	10,49	73,46	16,15	20,94	125,00	16,00	500,00	25,00	50,00	ВА88-32
37	7,19	45,32	8,28	44,09	125,00	16,00	500,00	12,50	50,00	ВА88-32
38	7,19	45,32	5,60	45,79	125,00	16,00	500,00	12,50	50,00	ВА88-32
39	10,49	73,46	2,36	23,48	125,00	16,00	500,00	12,50	25,00	ВА88-32

Выбираются магнитные пускатели серии ПМ12.

Условия выбора ПМ12 [6]:

$$I_{\text{НОМ}} < I_{\text{НОМ.ап}}, \quad (70)$$

где $I_{\text{НОМ}}$ – номинальный ток ЭП;

$I_{\text{НОМ.ап}}$ – значение номинального тока магнитного пускателя.

Выбор пускателей представлен в таблице 13.

Таблица 13 – Выбранные магнитные пускатели

Электроприемник	I_p , А	$I_{\text{НОМ.ап}}$, А	Магнитный пускатель	Кол-во
1	52,53	63,00	ПМ12 040 51 62	1
2	10,49	25,00	ПМ12 040 51 62	3
3	7,19	10,00	ПМ12 040 51 62	4
3(1)	7,19	10,00	ПМ12 040 51 62	4
4	28,46	40,00	ПМ12 040 51 62	2
5	1,69	10,00	ПМ12 040 51 62	4
6	46,29	100,00	ПМ12 040 51 62	1
7	10,49	25,00	ПМ12 040 51 62	2
8	7,80	10,00	ПМ12 040 51 62	3
9	7,19	10,00	ПМ12 040 51 62	4
10	7,80	10,00	ПМ12 040 51 62	1
11	7,19	10,00	ПМ12 040 51 62	2
12	25,80	40,00	ПМ12 040 51 62	1
13	25,80	40,00	ПМ12 040 51 62	2
14	21,10	40,00	ПМ12 040 51 62	1
15	25,80	40,00	ПМ12 040 51 62	2
16	1,69	10,00	ПМ12 040 51 62	3
17	2,31	10,00	ПМ12 040 51 62	2
17(1)	2,31	10,00	ПМ12 040 51 62	2
18	61,28	100	ПМ12 040 51 62	1
19	91,16	100	ПМ12 040 51 62	1
20	7,60	10,00	ПМ12 040 51 62	1
21	4,55	10,00	ПМ12 040 51 62	1
22	2,31	10,00	ПМ12 040 51 62	2
23	7,19	10,00	ПМ12 040 51 62	1
24	4,55	10,00	ПМ12 040 51 62	2
25	7,19	10,00	ПМ12 040 51 62	1
26	7,19	10,00	ПМ12 040 51 62	2
27	27,31	40,00	ПМ12 040 51 62	1
28	4,55	10,00	ПМ12 040 51 62	2
29	2,31	10,00	ПМ12 040 51 62	1

Продолжение таблицы 13

Электро приемник	I_p , А	$I_{ном.ап}$, А	Магнитный пускатель	Кол-во
30	14,80	16,00	ПМ12 040 51 62	1
32	10,49	16,00	ПМ12 040 51 62	1
33	4,55	10,00	ПМ12 040 51 62	1
34	25,80	40,00	ПМ12 040 51 62	1
35	25,80	40,00	ПМ12 040 51 62	1
36	10,49	16,00	ПМ12 040 51 62	1
37	7,19	16,00	ПМ12 040 51 62	2
38	7,19	16,00	ПМ12 040 51 62	3
39	10,49	16,00	ПМ12 040 51 62	8

Все выбранные аппараты показаны в графической части работы.

Выводы по разделу.

Исходя из принятой схемы системы электроснабжения корпуса производства кабелей, в работе выбраны и проверены следующие виды оборудования, сетей и электрических аппаратов объекта напряжением до 1 кВ:

- выбраны приводные электродвигатели для основного оборудования объекта;
- выбраны кабели питающей и распределительной сети 0,4 кВ – выполняется пятижильными кабелями ВВГнг-LS различных сечений;
- выбраны и проверены автоматические выключатели марки ВА и магнитные пускатели серии ПМ12 для защиты и коммутации электрической сети напряжением 0,4 кВ.

Установлено, что выбранные кабели марки ВВГнг-LS и автоматы серии ВА имеют ряд преимуществ, которые делают их идеальным выбором для использования в различных отраслях промышленности и системах электроснабжения гражданских сооружений, в том числе и в проектируемой системе электроснабжения корпуса производства кабелей.

6 Выбор системы релейной защиты объекта

Выбор систем релейной защиты для корпуса производства кабелей представляет собой ключевой аспект обеспечения надежности и безопасности электроснабжения производственных объектов.

Релейная защита выполняет функции контроля за работой электрооборудования, своевременного обнаружения аварийных режимов и их локализации путем отключения поврежденных участков сети и оборудования, тем самым предотвращая распространение аварии и минимизируя риск для персонала и возможный ущерб для производственных процессов.

В процессе выбора системы релейной защиты необходимо учитывать ряд факторов, обусловленных спецификой работы корпуса производства кабелей.

Среди них [11]:

- характеристики электропитания производственного объекта, включая мощность, типы нагрузок и схемы электроснабжения;
- возможные виды аварийных ситуаций, наиболее вероятные для данного типа производства, такие как короткие замыкания, перегрузки по току, нарушения изоляции, асимметрия фаз и другие аналогичные факторы;
- технологический процесс и необходимость обеспечения бесперебойной работы критически важного оборудования, для чего могут потребоваться системы резервирования и автоматического восстановления питания;
- требования к быстродействию системы защиты, определяемые необходимостью минимизации времени отключения поврежденных участков и предотвращения вторичных повреждений.

На основе анализа данных параметров производится выбор конкретных типов релейной защиты и автоматики.

Современные системы релейной защиты и автоматики представляют собой комплексные решения, включающие в себя не только средства непосредственной защиты, но и системы мониторинга и диагностики, позволяющие в реальном времени анализировать состояние электросети и оборудования, выявлять потенциальные угрозы еще до возникновения аварийных ситуаций.

Таким образом, выбор системы релейной защиты требует комплексного подхода, учитывающего как технические параметры электроснабжения и особенности производственного процесса, так и современные требования к надежности и безопасности электроэнергетических систем.

Проводится выбор блоков релейной защиты и автоматики, который устанавливается для защиты питающей линии 10 кВ системы электроснабжения корпуса производства кабелей.

В России производится широкий ассортимент блоков релейной защиты, предназначенных для обеспечения безопасности и надежности электроэнергетических систем в различных отраслях. Российские производители предлагают как классические, так и современные микропроцессорные устройства релейной защиты, способные удовлетворить потребности разнообразных применений.

При выборе блоков релейной защиты важно учитывать не только технические характеристики оборудования, но и требования к его функциональности, возможности интеграции с существующими системами управления и мониторинга, а также качество предоставляемого сервисного обслуживания.

В качестве блоков релейной защиты и автоматики, который устанавливается для защиты питающей линии 10 кВ системы электроснабжения корпуса производства кабелей, выбирается универсальный терминал защиты присоединений 6-35 кВ «Сириус-2Л-02» [14].

Универсальный терминал защиты присоединений 6-35 кВ «Сириус-2Л-02» отечественного производства представляет собой микропроцессорное

устройство, разработанное для обеспечения надежной защиты, автоматики и управления в электроэнергетических системах. Этот терминал интегрирует в себе ряд преимуществ, делающих его выгодным решением для широкого спектра задач в области электроснабжения.

Терминал способен выполнять задачи релейной защиты, автоматики, мониторинга и управления для различных типов присоединений, включая линии электропередачи, трансформаторы и автотрансформаторы, что позволяет сократить количество необходимого оборудования в распределительном устройстве.

Благодаря использованию современных микропроцессоров и алгоритмов обработки сигналов, терминал обеспечивает высокую точность измерений и быстродействие срабатывания защит, что существенно повышает надежность электроснабжения.

Устройство предлагает гибкие настройки параметров защиты, что позволяет адаптировать его под конкретные условия эксплуатации и специфику присоединения, улучшая тем самым эффективность защиты.

Устройство «Сириус-2Л-02» оснащено интуитивно понятным интерфейсом пользователя и возможностями дистанционного доступа через сети связи, что облегчает настройку, контроль и управление устройством, снижая трудозатраты на обслуживание.

Терминал может быть легко интегрирован в системы диспетчерского управления и мониторинга электросетей, обеспечивая оперативный доступ к данным о состоянии присоединений и возможности быстрого реагирования на изменения в системе.

Высокое качество используемых материалов и компонентов обеспечивает долгий срок службы устройства даже в условиях интенсивной эксплуатации и воздействия неблагоприятных факторов окружающей среды.

Внедрение терминала «Сириус-2Л-02» позволяет снизить общие затраты на систему защиты за счет унификации оборудования и сокращения необходимости в дополнительных устройствах защиты и автоматики.

Конструктивное выполнение и внешний вид универсального терминала защиты присоединений 6-35 кВ «Сириус-2Л-02» представлен на рисунке 5.



Рисунок 5 – Конструктивное выполнение и внешний вид универсального терминала защиты присоединений 6-35 кВ «Сириус-2Л-02»

Таким образом, универсальный терминал защиты присоединений «Сириус-2Л-02» является высокоэффективным решением для обеспечения комплексной защиты и управления в электроэнергетических системах различного назначения, предлагая энергокомпаниям надежное, гибкое и экономически выгодное оборудование [14].

Выводы по разделу.

В качестве блоков релейной защиты и автоматики, который устанавливается для защиты питающей линии 10 кВ системы электроснабжения корпуса производства кабелей, выбран универсальный терминал защиты присоединений 6-35 кВ «Сириус-2Л-02». Такой терминал имеет множество преимуществ перед аналогичными разработками.

Заключение

В результате выполнения работы, проведена разработка проекта системы внешнего и внутреннего электроснабжения корпуса производства кабелей кабельного завода.

Проведён анализ технических данных на проектирование системы электроснабжения корпуса производства кабелей. Установлено, что проектируемый объект относится ко 2 категории надёжности потребителей, поэтому требует двух независимых источников питания. В результате проведения анализа потребителей установлено, что основными потребителями электроэнергии корпуса производства кабелей являются электродвигатели трехфазного тока до 1000 В с повторно-кратковременным режимом работы, а также рабочее и аварийное освещение. Для электропривода станков применяются двигатели трехфазного переменного тока. Режим работы двигателей - повторно-кратковременный. Коэффициент мощности равен 0,5-0,7. По надёжности электроснабжения эта группа электроприемников относится ко II категории. Также есть потребители с продолжительным режимом работы.

Электрические осветительные установки представляют собой однофазную нагрузку. Характер нагрузки равномерный, без толчков. Частота общепромышленная, равная 50 Гц. Кратковременные перерывы в питании допустимы. Таким образом, приведённые исходные данные по техническим условиям и характеру потребителей, принимаются за основу при дальнейшей разработке проекта СЭС объекта проектирования.

На основании систематизации технических данных объекта проектирования, а также анализа современных норм технологического проектирования систем электроснабжения промышленных объектов, проведено обоснование выбора схемы электрических соединений проектируемой системы электроснабжения корпуса производства кабелей кабельного завода. Установлено, что наиболее рациональным вариантом

внешнего электроснабжения корпуса производства кабелей является питание от трансформаторной подстанции ТП-10/0,4 кВ, кабельной линией с применением двух силовых кабелей напряжением 10 кВ.

При этом ВРУ-0,4 кВ корпуса производства кабелей будет иметь два ввода. Такая схема внешнего электроснабжения соответствует требованиям, предъявляемым к объектам второй категории надёжности нормативными документами.

В качестве ВРУ на объекте применяются шинопроводы секционные. Последующее распределение электроэнергии на территории корпуса производства кабелей осуществляется от ШС-0,4 кВ, непосредственно питающего потребители силовой и осветительной нагрузки на напряжении 0,38/0,22 кВ. Установлено, что на всех уровнях и подсистемах схемы применяются два независимых ввода при питании потребителей по радиальным схемам электроснабжения с соответствующими резервированием и секционированием схемы.

Поэтому предусматривается разделение ШС на 3 секции: ШС1 и ШС2 будут питаться от первого трансформатора Т1, ШС3 – от второго трансформатора Т2. Питание потребителей осуществляется с использованием как шинопроводов (питающая сеть 0,4 кВ), так и кабельных линий в металлорукавах (распределительная сеть 0,4 кВ). Принятая схема электроснабжения корпуса производства кабелей выполнена с соблюдением условий резервирования, секционирования и надёжности, а также простоты, экономичности, ремонтпригодности и безопасности.

В работе проведён расчёт электрических нагрузок узлов, а также секций сборных шин сборных шинопроводов корпуса производства кабелей. Рассчитана осветительная нагрузка отделений корпуса производства кабелей. При расчёте использован метод коэффициента максимума нагрузок, позволяющий получить результат необходимой точности.

Исходя из полученных результатов технико-экономического расчёта выбора трансформаторов на питающей ТП-10/0,4 кВ, принимается первый

вариант питания корпуса от одной двухтрансформаторной ТП-10/0,4 кВ с двумя трансформаторами марки ТМ-160/10. Выбраны два компенсирующих устройства марки УKM58-0,4-40-4-2,5У3 IP20.

Проведён расчёт токов короткого замыкания в максимальном режиме работы в сетях 10 кВ и 0,38/0,22 кВ системы электроснабжения корпуса производства кабелей. Рассчитаны значения ударных токов в расчётных точках объекта проектирования.

Исходя из принятой схемы системы электроснабжения корпуса производства кабелей, в работе выбраны и проверены следующие виды оборудования, сетей и электрических аппаратов объекта напряжением до 1 кВ:

- выбраны приводные электродвигатели для основного оборудования объекта;
- выбраны кабели питающей и распределительной сети 0,4 кВ – выполняется пятижильными кабелями ВВГнг-LS различных сечений;
- выбраны и проверены автоматические выключатели марки ВА и магнитные пускатели серии ПМ12 для защиты и коммутации электрической сети напряжением 0,4 кВ.

Установлено, что выбранные кабели марки ВВГнг-LS и автоматы серии ВА имеют ряд преимуществ, которые делают их идеальным выбором для использования в различных отраслях промышленности и системах электроснабжения гражданских сооружений, в том числе и в проектируемой системе электроснабжения корпуса производства кабелей.

В качестве блоков релейной защиты и автоматики, который устанавливается для защиты питающей линии 10 кВ системы электроснабжения корпуса производства кабелей, выбран универсальный терминал защиты присоединений 6-35 кВ «Сириус-2Л-02». Такой терминал имеет множество преимуществ перед аналогичными разработками.

Таким образом, система электроснабжения корпуса производства кабелей отвечает требованиям надёжности, экономичности, а также безопасности.

Список используемых источников

1. ВА 88 (88-32, 88-33, 88-35, 88-37, 88-40, 88-43). [Электронный ресурс]: URL: <https://m-energo-spb.ru/va-88-88-32-88-33-88-35-88-37-88-40-88-43> (дата обращения: 06.04.2024).
2. Длительно допустимый ток кабеля ВВГнг LS. [Электронный ресурс]: URL: <https://ru.pinterest.com/pin/463870830372952509/> (дата обращения: 06.04.2024).
3. Киреева Э.В. Электроснабжение и электрооборудование организаций и учреждений. М.: Кнорус, 2019. 236 с.
4. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов. М.: Академия, 2021. 400 с.
5. Куксин А.В. Электроснабжение промышленных предприятий. Учебное пособие. М.: Инфра-Инженерия, 2021. 156 с.
6. Магнитные пускатели серии ПМ12 [Электронный ресурс]: URL: <https://rusvolt.su/magnitnye-puskateli/pm12> (дата обращения: 06.04.2024).
7. Немировский А.Е. Электрооборудование электрических сетей, станций и подстанций. М.: Инфра-Инженерия, 2020. 174 с.
8. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок (Приказ от 15 декабря 2020 г. № 903н / Приказ от 29 апреля 2022 г. № 279н). Изд-во Мини-Тайп, 2023. 216 с.
9. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. Изд-во ДЕАН, 2022. 192 с.
10. Правила устройства электроустановок. 7-е издание. Изд-во ЦентрМаг, 2022. 584 с.
11. Сибикин Ю.Д. Пособие к курсовому и дипломному проектированию электроснабжения промышленных, сельскохозяйственных и городских объектов. Учебное пособие. М.: Форум, 2021. 383 с.
12. Сибикин Ю.Д. Электроснабжение промышленных и гражданских зданий. Учебное пособие. М.: Форум, Инфра-М, 2022. 406 с.

13. Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю., Яшков В.А. Электроснабжение промышленных предприятий и установок. Учебное пособие. М.: Форум, Инфра-М, 2022. 365 с.

14. Сириус-2Л-02 [Электронный ресурс]: URL: <https://www.rza.ru/catalog/novinki/sirius-2l-02-novyuy-universalnyy-terminal.php> (дата обращения: 06.04.2024).

15. СП 440.1325800.2018 Проектирование естественного и искусственного освещения. [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/554819713> (дата обращения: 06.04.2024).

16. Федеральный закон «Об электроэнергетике» от 26.03.2003 № 35-ФЗ об энергосбережении [Электронный ресурс]: URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_41502/ (дата обращения: 06.04.2024).

17. Федеральный закон от 23.11.2009 № 261-ФЗ (ред. от 29.07.2017) «Об энергосбережении, повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» (с изменениями на 13 июня 2023 года). [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/902186281> (дата обращения: 06.04.2024).

18. Фризен В.Э., Назаров С.Л. Расчет и выбор электрооборудования низковольтных распределительных сетей промышленных предприятий. Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2021. 184 с.

19. Щербаков Е.Ф., Александров Д.С. Электроснабжение и электропотребление на предприятиях. М.: Форум, Инфра-М, 2019. 495 с.

20. Энергетическая стратегия РФ на период до 2035 года. Распоряжение Правительства РФ от 9 июня 2020 г. № 1523-р. Москва: Министерство энергетики, 2020. 142 с.