

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

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

(наименование)

13.03.02. Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки/ специальности)

Электроснабжение

(направленность (профиль)/специализация)

## ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Проектирование внутризаводской системы электроснабжения предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции

Обучающийся

А. А. Дубовик

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., Д. А. Кретов

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

Тольятти 2023

## Аннотация

Работа посвящена разработке проекта внутризаводской системы электроснабжения предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции.

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

- анализ исходных данных по объекту проектирования с рассмотрением основных теоретических положений для решения» [11] поставленных задач;
- выбор схемы электроснабжения с последующим расчётом электрических нагрузок внутризаводской системы электроснабжения предприятия;
- выбор и проверка электрических проводников и аппаратов на всех звеньях электрической сети объекта проектирования;
- выбор устройств релейной защиты внутризаводской системы электроснабжения предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции.

Работа представлена «расчётно-пояснительной запиской объёмом 73 страницы, а также графической частью, состоящей из шести чертежей формата А1» [7].

## Содержание

Введение.....	4
1 Характеристика и анализ исходных данных на выполнение работы .....	7
1.1 Анализ исходных данных.....	7
1.2 Характеристика технических условий объекта проектирования.....	11
2 Разработка проекта внутризаводской системы электроснабжения предприятия .....	15
2.1 Выбор схемы электроснабжения.....	15
2.2 Расчёт электрических нагрузок .....	19
2.3 Определение условного центра электрических нагрузок .....	25
2.4 Выбор и проверка мощности силовых трансформаторов ГПП внутризаводской системы электроснабжения предприятия .....	29
2.5 Выбор числа и мощности силовых трансформаторов цеховых подстанций.....	34
2.6 Расчёт токов коротких замыканий в максимальном режиме .....	41
2.7 Выбор и проверка проводников внутризаводской системы электроснабжения .....	50
2.8 Выбор и проверка основного оборудования внутризаводской системы электроснабжения предприятия .....	56
3 Выбор устройств релейной защиты предприятия .....	65
Заключение .....	69
Список используемых источников.....	72

## Введение

Предприятия, занимающиеся производством кабельно-проводниковой продукции, имеют хорошие перспективы развития в ближайшие годы. В основе этого лежат несколько факторов.

Во-первых, рост спроса на кабельно-проводниковую продукцию в различных отраслях экономики. Это связано с развитием информационных технологий, строительства новых зданий и сооружений, развитием электромобильной промышленности и другими факторами.

Во-вторых, появление новых технологий и материалов, которые позволяют создавать более качественные и надежные кабели и провода, что также способствует росту спроса на продукцию этой отрасли.

В-третьих, глобальные тенденции по экологической безопасности и энергосбережению требуют использования более эффективных кабельных систем, что также будет способствовать росту спроса на кабельно-проводниковую продукцию.

Для того чтобы развиваться успешно, предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции должны следить за тенденциями рынка, внедрять новые технологии и материалы, повышать качество продукции и обеспечивать высокий уровень обслуживания своих клиентов.

Основной целью работы является разработка проекта внутризаводской системы электроснабжения предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции.

Объектом исследования является предприятие по производству кабельно-проводниковой продукции.

Предметом исследования в работе выступает электрическая часть проектируемой внутризаводской системы электроснабжения предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции.

Далее проводится аргументированное обоснование актуальности данной работы.

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

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

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

Наконец, разработка проектов систем электроснабжения имеет большое значение для развития современных технологий и инженерных решений.

Развитие новых эффективных систем электроснабжения значительно повысило продуктивность отечественных предприятий и качество жизни населения.

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

Для успешной реализации цели работы необходимо достижение поставленной цели.

Для этого в работе проводится решение следующих основных задач:

- анализ исходных данных;
- выбор схемы электроснабжения с последующим расчётом электрических нагрузок внутризаводской системы электроснабжения предприятия;
- выбор и проверка электрических проводников и аппаратов на всех звеньях электрической сети объекта проектирования;

– выбор устройств релейной защиты внутризаводской системы электроснабжения предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции.

Следовательно, в работе необходимо разработать требуемую техническую документацию для реализации проекта внутризаводской системы электроснабжения предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции, включая чертежи, схемы и прочие структуры структурных разделов.

Важным аспектом здесь является обеспечение безопасности и надежности работы системы.

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

В результате выполнения работы решены поставленные задачи по разработке проекта внутризаводской системы электроснабжения предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции с надежной, бесперебойной и экономичной системой электроснабжения, с учётом электробезопасности принятых решений.

# **1 Характеристика и анализ исходных данных на выполнение работы**

## **1.1 Анализ исходных данных**

Технология производства кабельно-проводниковой продукции может различаться в зависимости от типа продукции и используемых материалов.

Однако, общие этапы производства могут быть следующими:

- подготовительный этап: в этот период происходит выбор материалов, подготовка рабочих мест и инструментов;
- создание проводника: проводник может быть изготовлен из меди, алюминия или других материалов. Проводник создается путем прохождения металла через пресс и/или другие оборудования, чтобы сформировать желаемую форму и размер;
- изоляция проводника: проводник может быть изолирован с помощью различных материалов, таких как полимеры, каучуки и другие композиты. Изоляция необходима для защиты проводника от внешних воздействий и для предотвращения короткого замыкания;
- нанесение внешней оболочки: в зависимости от типа продукции, на проводник может быть нанесена внешняя оболочка для дополнительной защиты и удобства использования. Эта оболочка может быть сделана из различных материалов, включая полимеры, каучуки, металлы и другие композиты;
- тестирование: готовая продукция должна быть протестирована, чтобы убедиться в ее качестве и соответствии стандартам безопасности и эффективности;
- упаковка и доставка: готовая продукция упаковывается и отправляется клиентам или на склад для последующего использования.

В процессе производства кабельно-проводниковой продукции используются различные технологии, такие как экструзия, литейное

производство, прессование, смолопрессование, обжим и другие. Каждый этап производства может быть оптимизирован с помощью автоматизации и использования новейших технологий для повышения эффективности и качества продукции.

Основные производственные этапы изготовления кабельно-проводниковой продукции, которые также принимаются в качестве основы для разработки внутризаводской системы электроснабжения проектируемого предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции, представлены на рисунке 1.

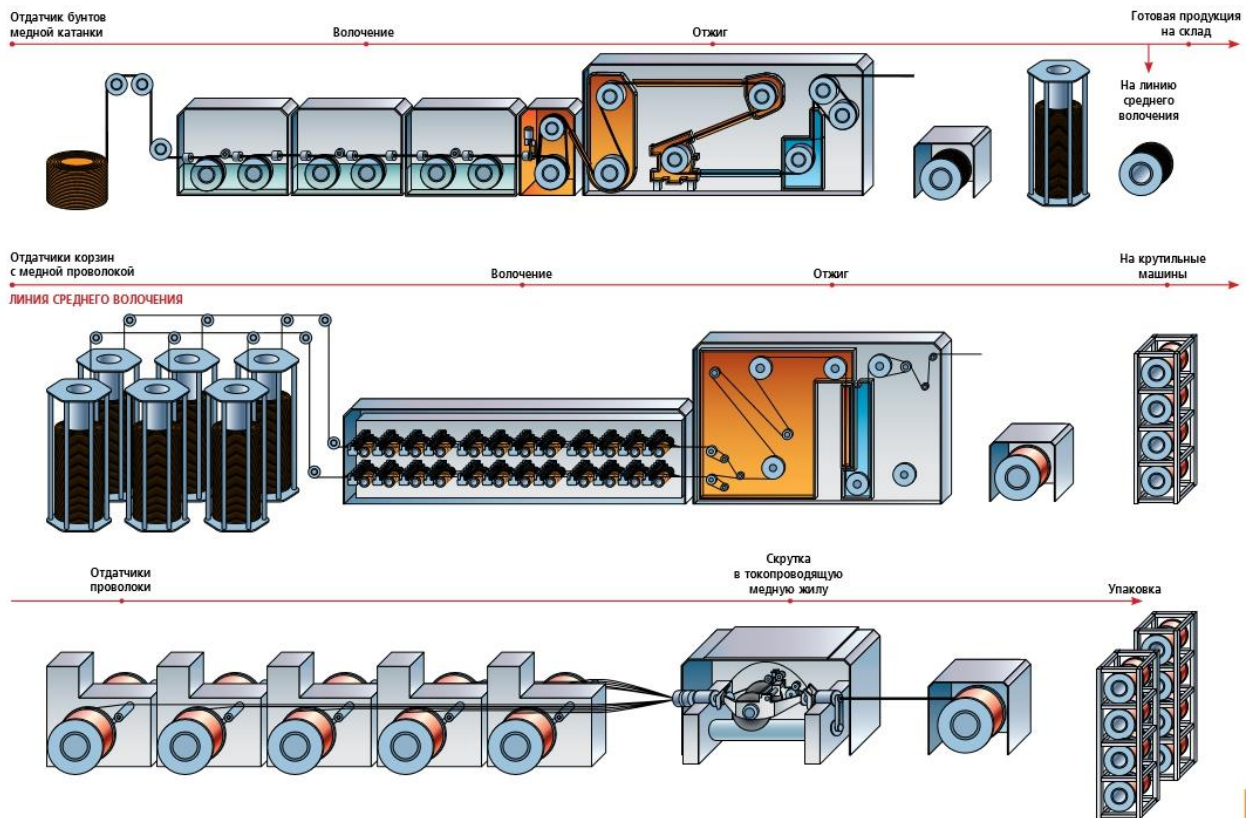


Рисунок 1 – Основные производственные этапы продукции, принимаемые в качестве основы для разработки внутризаводской системы электроснабжения проектируемого предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции

Основное производственное оборудование, необходимое для процесса изготовления готовой продукции на предприятии по производству кабельно-проводниковой продукции, представлена на рисунке 2.





Рисунок 2 – Основное производственное оборудование, необходимое для процесса изготовления готовой продукции на предприятии по производству кабельно-проводниковой продукции

«С учётом этого, на рассматриваемом в работе предприятии по производству кабельно-проводниковой продукции, планируется внедрить пять основных производственных участка (корпуса), которые будут вносить основной вклад в процесс изготовления готовой продукции» [13].

«Исходя из технологического процесса производства готовой продукции, к основным производственным цехам и участкам предприятия по производству» [8] кабельно-проводниковой продукции относятся (согласно технологической схеме, рисунок 1):

- цех подготовки основного производства;
- волочильный цех;
- цех отжига;
- цех упаковки;
- цех контроля, испытаний и дефектации готовой продукции.

Данные производственные участки являются основными производственными подразделениями проектируемого предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции.

«На территории предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции, согласно исходным данным, расположены следующие объекты, выполняющие вспомогательную роль в технологическом процессе» [7] изготовления готовой кабельно-проводниковой продукции:

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

Кроме того, на предприятии по производству кабельно-проводниковой продукции также есть котельная и насосная.

«Все электроприемники предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции работают на переменном напряжении 380/220 В. Исключение составляют высоковольтные двигатели насосной, работающие на номинальном напряжении 10 кВ. Исходные данные к работе приведены в таблице 1» [13].

Таблица 1 – Исходные данные объектов предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции

Номер объекта по плану	Наименование подразделения	Количество электро–приемников, шт.	Установленная мощность, кВт	
			одного, P <sub>н</sub>	суммарная, P <sub>с</sub>
1	Цех подготовки основного производства	100	1,1–30	900
2	Волоочильный цех	40	1,1–40	520
3	Цех отжига	40	1,1-40	590
4	Цех упаковки	100	1,1-50	1000
5	Цех контроля, испытаний и дефектации готовой продукции	40	3-22	390
6	Котельная	30	3-18,5	190
7	Механический участок	50	3-27	660
8	Склад готовой продукции	100	1-50	930
9	Ремонтно-эксплуатационные службы	50	1-18,5	200
10	Административно-бытовой корпус	50	1-11	150
11	Гараж	25	1-10	83
12	Материальный склад	20	1,1-10	70
13	Насосная: а) 0,4 кВ; б) АД 10 кВ	10	1,1–10	40
		2	400	800

Таким образом, на проектируемом в работе предприятии по производству кабельно-проводниковой продукции, планируется внедрить безотходную технологию производства, при которой рационально и планомерно будут использованы всё сырье, продукты и материалы.

## 1.2 Характеристика технических условий объекта проектирования

«К I категории по надёжности электроснабжения относятся основные производственные объекты предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции, а именно: цех подготовки» [2] основного производства, волоочильный цех, цех отжига, цех упаковки, а также цех контроля, испытаний и дефектации готовой продукции. Известно, что потребители I категории должны иметь два независимых источника питания с

применением автоматического включения резерва (АВР) между секциями сборных шин [11].

«К потребителям II категории относятся объекты, которые обеспечивают и поддерживают основной технологический процесс: котельная и насосная. Потребители II категории должны иметь два независимых источника питания» [11].

«К потребителям III категории относятся все остальные объекты и подразделения» [11] изготовления кабельно-проводниковой продукции. К ним относятся: механический участок, склад готовой продукции, ремонтно-эксплуатационные службы, административно-бытовой корпус, гараж, материальный склад. Для питания потребителей III категории достаточно одного источника питания [11].

Полученные результаты проведённого анализа по категориям надёжности объектов предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции сведены в таблицу 2.

Таблица 2 – Категории объектов проектируемого предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции по надёжности электроснабжения

Номер объекта по плану	Наименование объекта предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции	Категория надёжности объекта
1	Цех подготовки основного производства	I
2	Волоочильный цех	I
3	Цех отжига	I
4	Цех упаковки	I
5	Цех контроля, испытаний и дефектации готовой продукции	I
6	Котельная	II
7	Механический участок	III
8	Склад готовой продукции	III
9	Ремонтно-эксплуатационные службы	III
10	Административно-бытовой корпус	III
11	Гараж	III
12	Материальный склад	III
13	Насосная	II

Все объекты предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции, кроме некоторых открытых участков гаража, «представляют собой строения, собранные из железобетонных конструкций, стены и кровля изготовлены из сборных панелей» [8].

Характеристика производственной среды объектов предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции приведена в таблице 3.

Таблица 3 – Характеристика производственной среды объектов предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции

Номер по плану	Наименование объекты	Производственная среда
1	Цех подготовки основного производства	Химически активная, агрессивная, пыльная
2	Волоочильный цех	
3	Цех отжига	
4	Цех упаковки	Нормальная
5	Цех контроля, испытаний и дефектации готовой продукции	Нормальная
6	Котельная	Жаркая
7	Механический участок	Нормальная
8	Склад готовой продукции	Нормальная
9	Ремонтно-эксплуатационные службы	Нормальная
10	Административно-бытовой корпус	
11	Гараж	
12	Материальный склад	Нормальная
13	Насосная	Влажная

Рассматривая объекты предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции по данному критерию, можно сделать следующий вывод:

- «к безопасным объектам по условиям электробезопасности относятся все объекты с нормальной производственной средой, а именно: механический участок» [3], ремонтно-эксплуатационные службы, административно-бытовой корпус, склад готовой продукции и материальный склад, гараж, а также некоторые основные производственные подразделения (цех упаковки, а также цех контроля, испытаний и дефектации готовой продукции);

– к объектам с повышенной опасностью относятся цех подготовки основного производства, волочильный цех, цех отжига, а также котельная (жаркая среда).

Выводы по разделу.

Установлено, что в работе необходимо спроектировать внутризаводскую систему электроснабжения предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции.

Технологическая схема процесса изготовления готовой продукции и основные производственные объекты типичного предприятия данной отрасли, приведённые в работе, принимаются в качестве основы для разработки внутризаводской системы электроснабжения проектируемого предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции.

Проведён анализ исходных данных на объекте проектирования. Систематизированы основные производственные подразделения предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции по критериям надёжности, установленной проектной мощности, а также условиям производственной среды.

Показано, что разработка качественного проекта внутризаводской системы электроснабжения предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции, с внедрением основных групп мероприятий, будет способствовать значительному повышению параметров надёжности, бесперебойности, электробезопасности и экономичности на объекте исследования.

## **2 Разработка проекта внутризаводской системы электроснабжения предприятия**

### **2.1 Выбор схемы электроснабжения**

Известно, что выбор схемы электроснабжения и напряжения внешнего и внутреннего электроснабжения предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции зависит от многих факторов, включая следующие:

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

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

Кроме того, внутреннее электроснабжение предприятий по производству кабельно-проводниковой продукции должно быть организовано таким образом, чтобы обеспечивать необходимую мощность и эффективность для всех производственных процессов, а также соблюдать все стандарты и требования в области электробезопасности.

Этот аспект может включать использование трансформаторов и распределительных щитов для управления и распределения электроэнергии внутри предприятия.

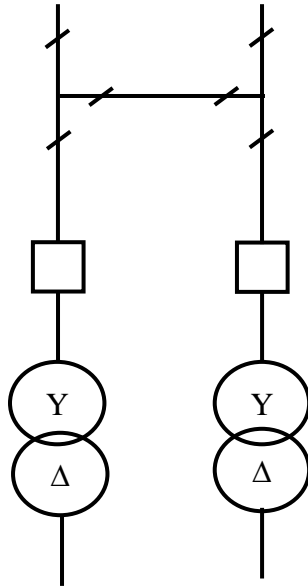
В результате проведения анализа по объекту проектирования, установлено, что в «системе электроснабжения предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции преобладают потребители I-й и II-й категорий по надежности электроснабжения, поэтому внешнее электроснабжение данного объекта осуществляется по двухцепной ЛЭП с установкой на источнике питания внутриводской системы электроснабжения объекта двух силовых трансформаторов» [11].

Питание внутриводской системы электроснабжения предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции планируется осуществить от главной понизительной подстанции (ГПП).

«В работе для внешней сети главной понизительной подстанции (ГПП) предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции выбирается схема соединений «Два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий» [6].

«Выбранная в работе схема соединений на стороне ВН ГПП предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции показана в работе на рисунке 3» [6].





«Рисунок 3 – Схема соединений на стороне ВН ГПП предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции (два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой)» [11]

«В работе принимается схема РУ НН ГПП предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции с необходимым уровнем резервирования – одиночная секционированная на две секции система сборных шин с устройством автоматического включения резерва (АВР), показанная на рисунке 4» [8].

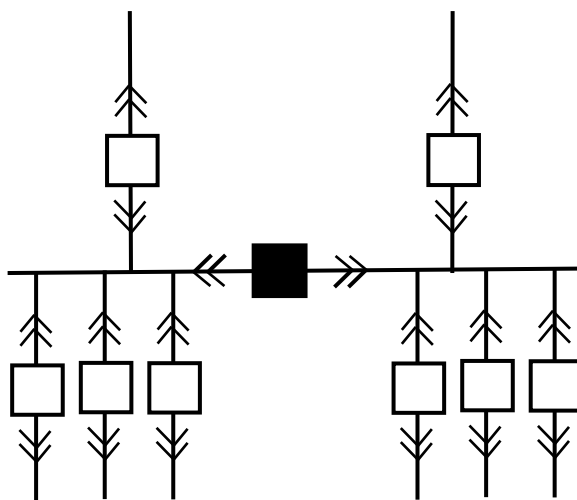


Рисунок 4 – «Схема соединений на стороне 10 кВ ГПП предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции (одиночная, секционированная выключателем, система сборных шин)» [8]

«Схема внутренней сети предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции представлена на рисунке 5» [11].

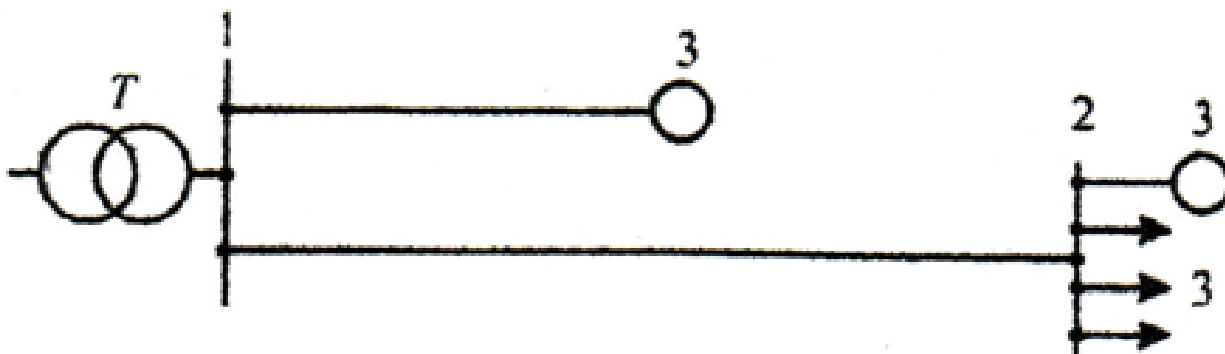


Рисунок 5 – Схема внутренней сети предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции: 1 - РУ НН ТП-10/0,4 кВ; 2 - силовой пункт (СП); 3 – электроприёмник

«Известно, что величина напряжения внешнего электроснабжения предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции определяется по формуле Стилла:

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

где  $P_{предпр}$  – установленная номинальная проектная мощность предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции с учетом суммарной нагрузки отдельных объектов, МВт;  
 $L$  - расстояние от энергосистемы до ГПП, км» [17].

Расчётная мощность предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции:

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

По условию (1):

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

Следовательно, для внешнего электроснабжения предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции наиболее целесообразно применить номинальный класс напряжения 110 кВ [20].

При выборе напряжения внутренней системы и схемы электроснабжения проектируемого предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции, исходя из той же шкалы номинальных напряжений, и учитывая рекомендации [7], принимается номинальное напряжение 10 кВ, которое эффективнее напряжения 6 кВ.

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

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

## **2.2 Расчёт электрических нагрузок**

Цель расчёта электрических нагрузок внутризаводской системы электроснабжения предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции заключается в определении необходимой мощности и энергии, которые потребляются различными электроприборами и оборудованием на заводе.

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

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

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

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

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

Таким образом, расчет электрических нагрузок внутризаводской системы электроснабжения предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции является необходимым этапом проектирования и обеспечивает оптимальную работу внутризаводской системы электроснабжения на объекте.

В работе применяется метод коэффициента спроса, показывающий, насколько рационально используется электроэнергия в системе электроснабжения объекта [8].

По известному числу и мощности потребителей на заданном напряжении, определяются значения активной нагрузки потребителей электрической части внутризаводской системы электроснабжения предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции в максимальном режиме работы системы (по фактическим данным нагрузок объекта):

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

где  $P_n$  – «значение суммарной номинальной активной мощности цеха

(участка) проектируемого предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции, кВт» [8];

$K_c$  – «справочное значение коэффициента спроса цеха» [8].

«Расчетная реактивная нагрузка силовых электроприёмников соответствующего цеха проектируемого предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции, квар» [6]:

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

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

«Расчётная нагрузка осветительных приёмников соответствующего цеха (участка) проектируемого предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции, кВт» [16]:

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

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

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

«При этом» [7]:

$$P_{н.o} = P_{уд.o} F, \quad (5)$$

где  $P_{уд.o}$  – «нормируемая удельная мощность освещения, кВт/м<sup>2</sup>» [4];

$F$  – «площадь соответствующего цеха, м<sup>2</sup>» [1].

«Полная нагрузка силовых и осветительных приёмников соответствующего цеха (участка) проектируемого предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции» [1]:

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

«Полная расчётная силовая нагрузка силовых и осветительных приёмников соответствующего цеха (участка) проектируемого предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции» [13]:

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

«Предварительные потери активной и реактивной мощности в цеховых трансформаторах ЦТП внутризаводской системы электроснабжения предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции» [16]:

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

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

Потери активной мощности в трансформаторах ГПП внутризаводской системы электроснабжения предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции [16]:

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

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

«Каждый вид предполагает расчёт активной, реактивной и полной расчётных нагрузок» [11].

«Результаты расчёта силовых электрических нагрузок потребителей внутризаводской системы электроснабжения предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции сведены в таблицу 4» [3].

Таблица 4 – Результаты расчёта силовых электрических нагрузок потребителей внутриводской системы электроснабжения предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции

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

Осветительная нагрузка объектов предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции рассчитывается, исходя из площади соответствующих объектов, а также нормируемой освещённости.

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

С учётом этого, результаты расчёта осветительных нагрузок объектов предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Результаты расчёта осветительных нагрузок объектов предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции

Номер цеха согласно плану	Наименование цеха	Осветительная нагрузка				
		F, м <sup>2</sup>	P <sub>удо</sub> , кВт	P <sub>но</sub> , кВт	K <sub>со</sub>	P <sub>ро</sub> , кВт
1	Цех подготовки основного производства	15975	0,014	223,65	0,6	134,190
2	Волоочильный цех	12925	0,014	180,95	0,6	108,570
3	Цех отжига	21150	0,014	296,10	0,6	177,660
4	Цех упаковки	22670	0,014	317,38	0,6	190,428
5	Цех контроля, испытаний и дефектации готовой продукции	1440	0,012	17,28	0,6	10,400
6	Котельная	1920	0,012	23,04	0,6	13,824
7	Механический участок	3890	0,014	54,46	0,6	32,676
8	Склад готовой продукции	5530	0,020	110,60	0,6	66,360
9	Ремонтно-эксплуатационные службы	6314	0,014	88,396	0,6	53,038
10	Административно-бытовой корпус	11560	0,020	231,20	0,7	161,840
11	Гараж	7900	0,010	79	0,6	47,400
12	Материальный склад	11200	0,010	112	0,6	67,200
13	Насосная	8250	0,012	99	0,6	59,400
Итого осветительной нагрузки по предприятию		-	-	-	-	1087,906

Суммарная нагрузка объектов предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции состоит из суммы силовой и осветительной нагрузок соответствующих объектов.

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

При этом в работе условно принимается отсутствие реактивной нагрузки в сети освещения, так как при выполнении освещения современными светодиодными источниками света, её значение пренебрежительно мало [15]. «Результаты расчёта суммарной расчетной нагрузки объектов предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции представлены в таблице 6» [14].



Таблица 6 – Результаты расчёта суммарной расчетной нагрузки объектов предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции

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

«Полученные результаты расчёта нагрузок являются основанием для выбора силовых трансформаторов» [18] ГПП и цеховых ТП, а также проводников и электрических аппаратов на объекте проектирования.

### 2.3 Определение условного центра электрических нагрузок

Условный центр электрических нагрузок (УЦЭН) представляет собой точку, в которой сосредоточена вся мощность электроприборов и оборудования объекта или всего предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции.

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

Для определения УЦЭН объектов или всего предприятия по

производству кабельно-проводниковой продукции необходимо выполнить следующие шаги:

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

Таким образом, определение УЦЭН объектов или всего предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции позволяет определить место, где происходит наибольшее потребление электроэнергии, и обеспечить оптимальное распределение мощности и энергии в системе электроснабжения.

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

«Площади окружностей картограммы нагрузок и радиус окружности» [19]:

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

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

где  $P_{p,i}$  – расчетная активная мощность  $i$ -го объекта, кВт;

$m$  – масштаб мощности, кВт/мм<sup>2</sup>.

Масштаб мощности принимается, исходя из размеров объектов завода, с учётом их расположения, принятого масштаба уменьшения на чертеже, а также величины расчётных нагрузок. Принимается для удобства построения масштаб мощности масштаб мощности 1:1 (кВт/мм).

«Угол заштрихованного сектора, соответствующего площади равной расчётной мощности осветительной нагрузки» [16]:

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

«Координаты УЦЭН предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции при этом можно определить так» [9]:

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

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

«где  $X_i, Y_i$  – координаты условных центров электрических нагрузок объектов, м» [11].

После определения расчётных данных центров нагрузок цехов предприятия, на графическом листе 1, проводится построение картограммы электрических нагрузок, учитывающих наличие осветительной и силовой нагрузок.

«Определение условного центра электрических нагрузок объектов предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции и данных для построения картограммы нагрузок приведено в таблице 7» [11].

Таблица 7 – Определение условного центра электрических нагрузок объектов предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции

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

Искомые координаты условного центра электрических нагрузок (УЦЭН) предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции:

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

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

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

Картограмма электрических нагрузок предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции приведена на графическом листе 1 работы.

#### **2.4 Выбор и проверка мощности силовых трансформаторов ГПП внутризаводской системы электроснабжения предприятия**

Известно, что выбор мощности силовых трансформаторов ГПП (главной подстанции) внутризаводской системы электроснабжения предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции зависит от общей мощности электрических нагрузок на заводе и пиковых нагрузок, которые могут возникнуть в процессе работы [6]. Мощность силовых трансформаторов должна быть достаточной для обеспечения надежной и эффективной работы системы электроснабжения.

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

Для этого необходимо выполнить следующие шаги [15]:

- рассчитать и выбрать средства компенсации реактивной нагрузки в сети внешней системы электроснабжения, которые будут установлены на стороне ВН ГПП;
- рассчитать нагрузку на силовых трансформаторах (на входе и выходе трансформатора) с учётом выбранных устройств для компенсации реактивной нагрузки;
- определить номинальную мощность силовых трансформаторов на основе расчета мощности электрических нагрузок на заводе. Для этого необходимо выполнить расчет мощности всех электрических

нагрузок и выбрать силовые трансформаторы с мощностью, достаточной для обеспечения надежной и эффективной работы системы электроснабжения;

- сравнить нагрузку с номинальной мощностью силовых трансформаторов. Если нагрузка на трансформаторах превышает их номинальную мощность, то необходимо рассмотреть возможность замены трансформаторов на более мощные;
- оценить эффективность работы силовых трансформаторов. Для этого необходимо проверить выбранные трансформаторы на эффективность работы в режиме нормальной нагрузки, а также в режиме перегрузки. Если данные условия проверок не выполняются, необходимо выбрать более мощный трансформатор.

Таким образом, выбор и проверка мощности силовых трансформаторов ГПП внутризаводской системы электроснабжения предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции являются важным этапом проектирования и обеспечивают надежную и эффективную работу системы электроснабжения.

Как было указано ранее, на главной понизительной подстанции ГПП-110/10 кВ системе электроснабжения предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции, в связи с наличием значительной группы потребителей, относящихся к 1 и 2 категории надёжности, рекомендовано установить два силовых трансформатора [10].

Учитывая полученные значения показателей и технических данных, полученных в результате расчёта нагрузки потребителей в системе электроснабжения предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции, проводится расчётная проверка мощности новых трансформаторов на ГПП предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции [5]:

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

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

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

« $Q_o$  – оптимальная реактивная нагрузка предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции, зафиксированная в договоре на пользование электроэнергией» [5];

« $Q_m$  – фактическая реактивная нагрузка предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции» [5].

«Оптимальное значение коэффициента реактивной мощности в работе принимается равным  $tg\varphi_o = 0,4$  [14]. Значит» [11]:

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

«Мощность компенсирующих устройств» [19]:

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

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

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

«Расчетная реактивная нагрузка» [5]:

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

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

«Тогда полная расчётная нагрузка» [5]:

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

Значит:

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

С учётом выбранных устройств компенсации реактивной мощности на шинах ГПП, а также систематических нагрузок и вероятности послеаварийных перегрузок в системе электроснабжения предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции, расчётная мощность трансформатора на питающей заводской ГПП-110/10 кВ определяется из соотношения [10]:

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

где « $k_{загр}$  – коэффициент загрузки трансформаторов» [9] ;

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

«Исходя из условия (21)» [11]:

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

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

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

Это условие выражается так [15]:



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

Таким образом, коэффициент загрузки трансформатора ГПП в системе электроснабжения предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции в нормальном режиме не превышает предельно установленные значения:

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

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

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

Коэффициент загрузки трансформатора ГПП-110/10 кВ в системе электроснабжения предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции в послеаварийном режиме также удовлетворяет условию (23):

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

Таким образом, в работе расчётным путём установлено, что для питания проектируемой внутризаводской системы электроснабжения предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции, на ГПП-110/10 кВ целесообразно установить два силовых трансформатора ТМН-6300/110.

## 2.5 Выбор числа и мощности силовых трансформаторов цеховых подстанций

«Для определения месторасположения понизительных подстанций 10/0,4 кВ, необходимо определить их количество на территории предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции.

Допускается пользоваться принятыми критериями» [12]:

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

где  $S_{н.м}$  – номинальная мощность трансформатора, кВА;

$\sigma$  – плотность нагрузки, кВА/м<sup>2</sup>.

Определяется плотность нагрузки 0,38/0,22 кВ на каждом из объектов по формуле [4]:

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

где  $S_p$  – расчётное значение полной нагрузки, кВА;

$F$  – площадь объекта, м<sup>2</sup>.

Для питания потребителей 1 и 2 категории используются два трансформатора, для питания 3 категории надёжности – один. Таким образом, обеспечивается условие резервирования согласно принятой категории надёжности по [11].

Результаты расчетов плотности нагрузки объектов «предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции приведены в работе в форме таблицы 8» [11].

Таблица 8 – Результаты расчетов плотности нагрузки объектов предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции

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

«Исходя из результатов расчёта плотности нагрузки, а также с учётом размещения объектов на территории предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции, с целью выбора одного типоминимала силовых трансформаторов, принимается мощность силовых трансформаторов для установки на ТП-10/0,4 кВ, равная 1600 кВА» [11].

«Тогда минимальное количество силовых трансформаторов мощностью 1600 кВА на ТП-10/0,4 кВ» [13]:

$$N_{\min} = \frac{P_{p.\Sigma}}{k_3 \cdot S_{н.м}} + \Delta N, шт, \quad (26)$$

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

« $\Delta N$  – приращение аргумента до целого числа» [13];

« $k_3$  – значение коэффициента загрузки силовых трансформаторов ТП-10/0,4 кВ» [13].

По условию (26) минимальное количество трансформаторов 10/0,4 кВ на предприятии по производству кабельно-проводниковой продукции:

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

Получившиеся минимальное значение силовых трансформаторов необходимо распределить по всем цеховым ТП-10/0,4 кВ.

«Исключение составляют высоковольтные двигатели напряжением 10 кВ насосной.

Они получают питание напрямую от сборных шин РУ-10 кВ ГПП» [2] внутризаводской системы электроснабжения предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции.

С учётом большинства объектов предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции, относящихся к I и II категориям надёжности, с экономической точки зрения целесообразно принять в работе двухтрансформаторные ТП-10/0,4 кВ, поэтому в работе принимается три двухтрансформаторные ТП-10/0,4 кВ.

При этом общее фактическое число силовых трансформаторов 10/0,4 кВ в системе электроснабжения предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции равно  $2 \cdot 3 = 6$  шт.

В работе все ТП-10/0,4 кВ размещаются на объектах с наибольшей нагрузкой (основных производственных объектах).

Таким образом, в схеме сразу будет решён вопрос питания потребителей I категории надёжности с учётом двух разных источников.

Принятый в работе вариант размещения ТП-10/0,4 кВ и распределение нагрузки между ТП-10/0,4 кВ предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции, представлен в таблице 9.

Таблица 9 – Распределение нагрузки между объектовыми ТП-10/0,4 кВ предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции

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

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

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{\sum P_{\text{р.}}}{N\beta_{\text{т}}}, \quad (27)$$

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

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

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

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

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

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

На примере ТП-1, питающей следующие объекты предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции (таблица 9):

- цех подготовки основного производства;
- волочильный цех;
- цех отжига.

Мощность трансформатора ТП-1:

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

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

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

Результаты выбора трансформаторов на остальных ТП-10/0,4 кВ представлены в таблице 10» [3].

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

«Мощность регулируемой части КУ» [3]:

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

«где  $\text{tg}\varphi_{\text{н}}$  – коэффициент реактивной мощности» [3].

«Суммарная расчетная мощность компенсирующих устройств» [3]:

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

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

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

«Коэффициент загрузки трансформаторов ТП-10/0,4 кВ» [3]:

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

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

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

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

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

«При этом расчётная нагрузка и коэффициент загрузки силовых трансформаторов на ТП-1 в виду отсутствия КУ не изменяются и принимаются равной ранее полученным значениям ( $S_p = 2172,79$  кВА,  $K_3 = 0,63$ )» [3]. «Результаты выбора компенсирующих устройств на ТП-10/0,4 кВ приведены в таблице 11» [4].

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

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

«Таким образом, в результате проведения расчётов установлено, что на всех цеховых ТП-10/0,4 кВ внутризаводской системы электроснабжения предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции, установка компенсирующих устройств напряжением 0,38/0,22 кВ не требуется» [18].



## 2.6 Расчёт токов коротких замыканий в максимальном режиме

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

Исходная структурная схема электроснабжения представлена на рисунке 6.

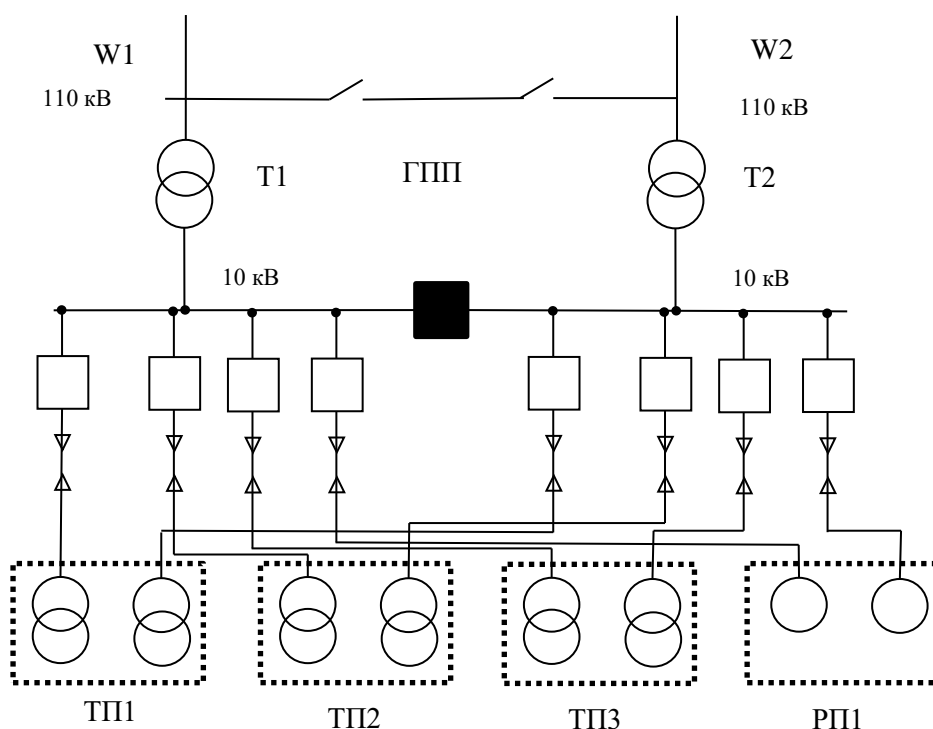


Рисунок 6 – Исходная структурная схема электроснабжения

Составляется расчётная «схема для расчёта токов короткого замыкания (КЗ) в системе электроснабжения предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции (рисунок 7, а)» [17].

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

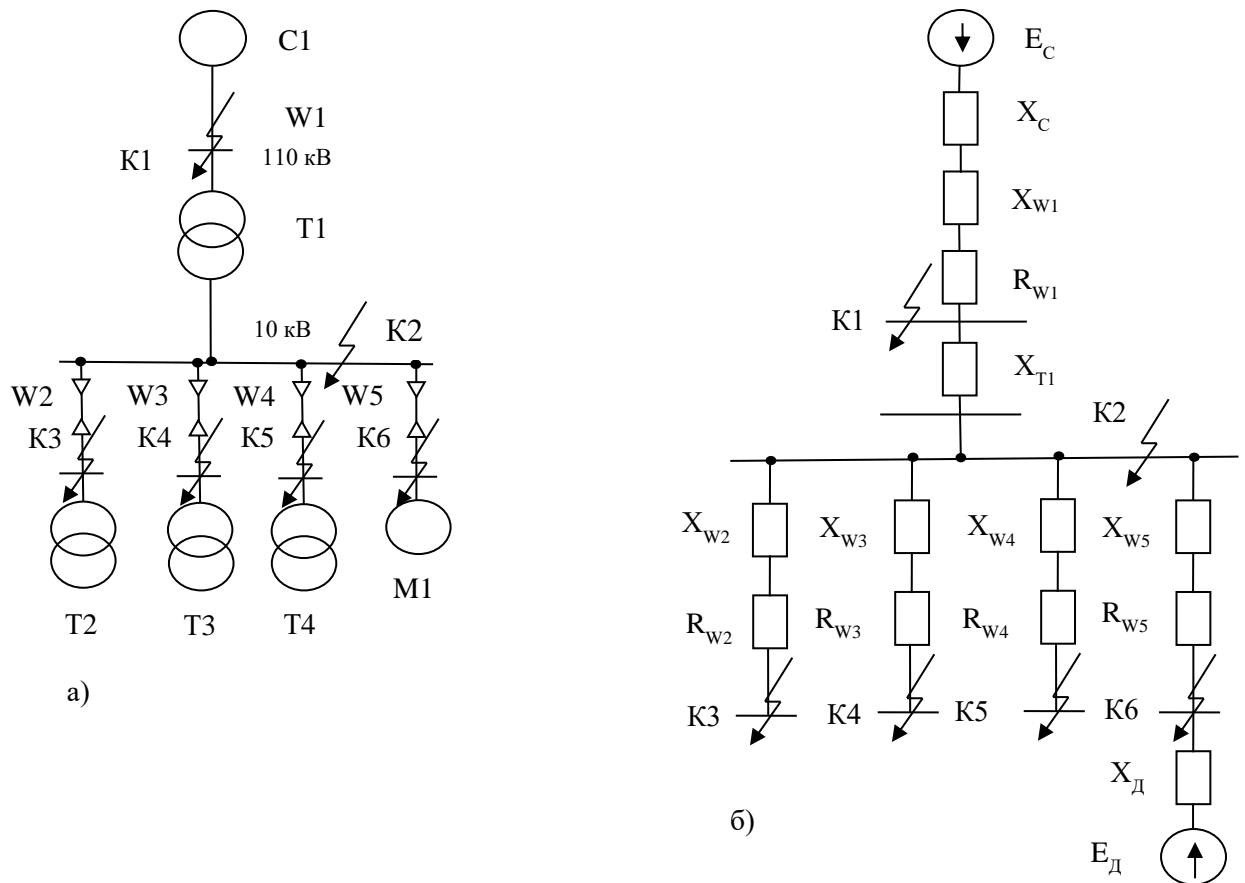


Рисунок 7 – «Однолинейная расчетная схема (а) и схема замещения (б)» [17]

«На схеме рисунка 7: С – система; Т1 – силовой трансформатор ГПП; Т2, Т3, Т4 – силовые трансформаторы ТП-10/0,4 кВ; М1 – высоковольтный АД 10 кВ» [9] насосной. Базисные условия:

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

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

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

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

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

«Индуктивное сопротивление воздушной линии W1» [17]:

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

«где  $X_{уд.W1}$  - удельное сопротивление воздушной линии, Ом/км;

$L$ -длина линии, км;

$n$  – количество линий, шт.» [16].

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

«Активное сопротивление воздушной линии W1» [17]:

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

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

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

«Находится индуктивное сопротивление трансформатора T1 ГПП предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции» [11]:

$$X_{T1} = \frac{1}{n} \cdot \frac{U_{к.з.}}{100} \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{S_{H.T}}. \quad (37)$$

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

«Индуктивное сопротивление кабельных линий W2-W5 с учётом их длины по (35)» [11]:

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

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

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

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

«Активное сопротивление кабельных линий W2-W5 с учётом их длины по (36)» [11]:

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

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

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

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

«Находятся токи подпитки от высоковольтного асинхронного двигателя мощностью 400 кВт насосной» [13]:

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

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

«Исходные данные для расчёта сопротивления двигателя» [11]:

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

«Полная номинальная мощность АД» [5]:

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

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

«Сопротивление двигателя» [5]:

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

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

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

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

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

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

$$I_{\kappa 1}^{(3)} = \frac{E_c}{Z_{\Sigma k}} \cdot I_6. \quad (41)$$

«Рассчитывается значение трёхфазного тока КЗ в расчётной точке К1» [17]:

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

«Определяется полное сопротивление и ток КЗ в расчётной точке К2 без учёта подпитки от АД» [6]:

$$Z_{\Sigma k2} = \sqrt{(X_c + X_{w1} + X_{T1})^2 + R_{w1}^2}. \quad (42)$$

$$Z_{\Sigma k2} = \sqrt{(0,05 + 0,02 + 0,59)^2 + 0,02^2} = 0,66 \text{ о.е.}$$

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

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

$$I_{\text{Д}}^{(3)} = \frac{E''}{Z'_{\Sigma k2}} \cdot I_{\sigma}. \quad (43)$$

$$Z'_{\Sigma k2} = \frac{1}{\sqrt{(X_{w5} + X_{\text{Д}})^2 + R_{w5}^2}}. \quad (44)$$

$$Z'_{\Sigma k2} = \frac{1}{\sqrt{(0,01 + 0,196)^2 + 0,08^2}} = 4,76 \text{ о.е.}$$

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

«Результирующий ток трёхфазного КЗ в точке К2» [6]:

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

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

«Определяется полное сопротивление и ток КЗ в точках К3 – К5» [6]:

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

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

$$I_{\kappa3}^{(3)} = \frac{1}{0,71} \cdot 5,5 = 7,75 \text{ кА.}$$

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

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

$$I_{\kappa4}^{(3)} = \frac{1}{0,69} \cdot 5,5 = 7,97 \text{ кА.}$$

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

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

$$I_{\kappa5}^{(3)} = \frac{1}{0,76} \cdot 5,5 = 7,24 \text{ кА.}$$

«Для точки К6 (на выводах АД) необходимо учесть подпитку от АД» [6]:

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

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

$$I_{\kappa6БП}^{(3)} = \frac{1}{0,87} \cdot 5,5 = 6,32 \text{ кА.}$$

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

«Результирующий ток трёхфазного КЗ в точке К6» [12]:

$$I_{\kappa6}^{(3)} = I_{\kappa6БП}^{(3)} + I_D^{(3)}, \text{ кА.}$$

$$I_{\kappa6}^{(3)} = 6,32 + 1,04 = 7,36 \text{ кА.}$$

«Значение ударного тока трёхфазного КЗ» [6]:

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

где « $K_{y\delta}$  – значение ударного коэффициента (справочные данные)» [6].

«Определяется значение ударного тока трёхфазного КЗ в точке К1» [6]:

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

«Определяется значение ударного тока трёхфазного КЗ в точке К2» [6]:

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

«Значение ударного тока трёхфазного КЗ в точках схемы К3-К6» [6]:

$$I_{y\delta, \kappa 3} = \sqrt{2} \cdot 1,37 \cdot 7,75 = 15,02 \text{ кА}.$$

$$I_{y\delta, \kappa 4} = \sqrt{2} \cdot 1,37 \cdot 7,97 = 15,44 \text{ кА}.$$

$$I_{y\delta, \kappa 5} = \sqrt{2} \cdot 1,37 \cdot 7,24 = 14,03 \text{ кА}.$$

$$I_{y\delta, \kappa 6} = \sqrt{2} \cdot 1,37 \cdot 7,36 = 14,26 \text{ кА}.$$

«Расчет токов двухфазного короткого замыкания» [10]:

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

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

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



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

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

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

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

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

«Результаты расчётов токов КЗ в расчётных точках схемы приведены в работе в таблице 12» [17].

Таблица 12 – «Результаты расчётов токов КЗ и ударных токов в системе внутризаводского электроснабжения предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции» [17]

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

Результаты расчёта токов КЗ на шинах 110 кВ и 10 кВ внешней внутризаводской системы электроснабжения предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции используются в работе далее.

## 2.7 Выбор и проверка проводников внутризаводской системы электроснабжения

«Далее в работе необходимо провести проверочный расчёт проводников внутризаводской системы электроснабжения предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции. В работе в системе электроснабжения предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции, выбору подлежат проводники воздушных линий электропередачи напряжением 110 кВ (питающие воздушные линии от энергосистемы к двум силовым трансформаторам ГПП) и 10 кВ (отходящие кабельные линии от РУ-10 кВ ГПП к цеховым ТП-10/0,4 кВ)» [7].

Все проводники в системе внешнего электроснабжения предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции – класса напряжения выше 1 кВ. Поэтому методика выбора для них будет применена также одинаковая.

Известно, что «выбор сечений проводников напряжением выше 1 кВ» [5] системы электроснабжения, осуществляется по известному условию экономической плотности тока [11]:

$$S_3 = \frac{I_{p.}}{j_3}, \quad (51)$$

где  $j_3$  – «экономическая плотность тока, А/мм<sup>2</sup>» [10].

«При этом расчетное значение рабочего тока нормального режима:

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

где  $S_p$  – расчётная полная нагрузка линии, кВА.

Расчетное значение рабочего тока послеаварийного режима» [19]:

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

После выбора проводников воздушных и кабельных линий внутризаводской системы электроснабжения предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции, необходимо провести их проверку на работоспособность в нормальном и послеаварийном режимах работы.

«Проверка проводников внутризаводской системы электроснабжения в нормальном режиме работы» [11]:

$$I_{дон} \geq I_p, \quad (54)$$

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

Проверка проводников воздушных и кабельных линий внутризаводской системы электроснабжения предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции в послеаварийном режиме работы [11]:

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

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

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

Выполнение данного условия проверяется по следующему соотношению:

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

На основе приведённых расчётных формул согласно принятой методики выбора и проверки проводов воздушных линий электропередач, проводится выбор и проверка сечения провода питающей воздушной линии ВЛ-110 кВ ГПП-110/10 кВ внутризаводской системы электроснабжения предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции. Питание ГПП-110/10 кВ внутризаводской системы электроснабжения предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции от источника питания, осуществляется двухцепной воздушной линией электропередачи.

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

Такой провод способен нести значительную механическую нагрузку линии. Также данный тип провода отличается от своих аналогов повышенной прочностью и пропускной способностью, а также высокой степенью устойчивости к гололедообразованию [7].

Ток нормального режима для питающей ВЛ-110 кВ ГПП-110/10 кВ внутризаводской системы электроснабжения предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции (нормальная нагрузка, приходящаяся на каждую цепь линии):

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

Ток послеаварийного режима для питающей ВЛ-110 кВ ГПП-110/10 кВ внутризаводской системы электроснабжения предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции:

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

Расчётное сечение питающей ВЛ-110 кВ ГПП-110/10 кВ внутризаводской системы электроснабжения предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции по условию экономической плотности тока:

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

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

Согласно дальнейшей перспективе по развитию внутризаводской системы электроснабжения предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции, выбирается для питающих ВЛ-110 кВ провод марки АССS148-1Z с сечением токоведущей жилы 148 мм<sup>2</sup> и допустимой токовой нагрузкой  $I_{don} = 425 \text{ A}$ .

Проверка предварительно выбранного провода марки АССS148-1Z для применения на питающей воздушной линии 110 кВ по току нормального режима выполняется:

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

Проверка предварительно выбранного провода марки АССS148-1Z для воздушной линии 110 кВ предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции по максимальному рабочему току ПАВ режима выполняется:

$$425 A \geq 50,4 A.$$

«Значит, в данной работе, исходя из перечисленных условий, с учётом климатических данных, а также таблиц и диаграмм [10], минимальные сечения проводов воздушных линий 110 кВ находятся на уровне не менее  $120 \text{ мм}^2$ » [8].

Проверка предварительно выбранного провода марки ACSS148-1Z для воздушной линии 110 кВ предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции «по условию механической прочности провода по климатическим и механическим факторам, с учётом условия возникновения коронирующего разряда, также выполняется» [9]:

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

«Провод ACSS148-1Z полностью удовлетворяет всем условиям выбора и проверки, и подходит в качестве провода для питающей линии 110 кВ к трансформаторам главной понизительной подстанции проектируемой внутризаводской системы электроснабжения» [11] предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции.

Окончательно для применения на питающей ВЛ-110 кВ, в работе выбран современный провод марки ACSS148-1Z с сечением токоведущей жилы –  $148 \text{ мм}^2$  и допустимой токовой нагрузкой  $I_{дон} = 425 \text{ А}$ .

Такой провод обладает значительно меньшими удельными сопротивлениями, чем классические провода марки А, АС и АСК [11]. Следовательно, выбор его целесообразен.

«По аналогичной методике выбора и проверки проводу питающей ВЛ-110 кВ, в работе проведён выбор кабельных линий напряжением 10 кВ, питающих ТП-10/0,4 кВ с приведением результатов в форме таблицы 13» [14].

Таблица 13 – Результаты выбора кабельных линий 10 кВ внутривзаводской системы электроснабжения предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции

Линия	Назначение линии	$S_p$ , кВА	$N$ , шт	$I_p$ , А	$I_{p.max}$ , А	$F_\omega$ , мм	Марка кабеля	$I_{доп}$ , А
Л1	ГПП-ТП 1	1600	2	46,2	92,49	38,54	АСБ-10(3×50)	132
Л2	ГПП-ТП 2	1600	2	46,2	92,49	38,54	АСБ-10(3×50)	132
Л3	ГПП-ТП 3	1600	2	46,2	92,49	38,54	АСБ-10(3×50)	132
Л4	ГПП-РП1	754,3	2	20,4	40,81	17,00	АСБ-10(3×25)	84

«Результаты выбора КЛ-0,38/0,22 кВ приводятся в таблице 14» [6].

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

Линия	Назначение линии	$N$ , шт	$I_p$ , А	$I_{p.max}$ , А	Марка кабеля	$I_{доп}$ , А
Л5	ТП1-СП1	2	700,9	981,3	3ВВГнг-LS (4×150)	1074
Л6	ТП1-СП2	2	426,9	597,6	2ВВГнг-LS (4×120)	634
Л7	ТП2-СП10	1	442,7	-	ВВГнг-LS (4×240)	471
Л8	ТП2-СП11	1	172,2	-	ВВГнг-LS (4×50)	187
Л9	ТП2-СП12	1	184,1	-	ВВГнг-LS (4×50)	187
Л10	ТП2-СП13	2	67,2	94,1	ВВГнг-LS (4×16)	102
Л11	ТП3-СП5	2	181,2	253,7	ВВГнг-LS (4×95)	279
Л12	ТП3-СП6	2	141,6	198,2	ВВГнг-LS (4×70)	231
Л13	ТП3-СП8	1	1364,4	-	3ВВГнг-LS (4×240)	1413
Л14	ТП3-СП9	1	348,8	-	ВВГнг-LS (4×150)	358

«Все выбранные в работе проводники (воздушная линия 110 кВ питающей сети внешнего электроснабжения и силовые кабели напряжением 10 кВ распределительной сети внутреннего электроснабжения) предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции, удовлетворяют всем условиям выбора и проверок» [11], следовательно, могут быть рекомендованы для установки на объекте проектирования.

Кроме того, для применения на питающей ВЛ-110 кВ, в работе выбран современный провод марки АССS148-1Z, который обладает значительно меньшими удельными сопротивлениями, чем классические провода марки А, АС и АСК. Таким образом, в работе применены современные энергосберегающие технологии.

## **2.8 Выбор и проверка основного оборудования внутризаводской системы электроснабжения предприятия**

Выбор и проверка электрических аппаратов внутризаводской системы электроснабжения предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции – это очень важный процесс, который требует внимательного и профессионального подхода.

При выборе и проверке электрических аппаратов необходимо учитывать следующие факторы:

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

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

Как было указано ранее, одним из важнейших мероприятий по проектированию внутризаводской системы электроснабжения предприятия по



производству кабельно-проводниковой продукции, является выбор нового оборудования для установки в распределительных устройствах высокого напряжения на ГПП-110/10 кВ.

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

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

Выбору и проверке в работе подлежат такие аппараты системы электроснабжения:

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

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

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

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

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

- «по номинальному напряжению» [18]:

$$U_{уст} \leq U_n. \quad (57)$$

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

- «по максимальному рабочему току» [18]:

$$I_{раб.макс} \leq I_n. \quad (58)$$

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

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

$$I_{п\tau} \leq I_{откн}. \quad (59)$$

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

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

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

$$(\sqrt{2} \cdot I_{\pi\tau} + i_{a\tau}) \leq \sqrt{2} \cdot I_{отк.н} (1 + \beta_n), \quad (60)$$

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

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

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

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

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

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

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

$$i_y \leq i_{np.c}, \quad (62)$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Выбор и проверка высоковольтных выключателей для установки во всех распределительных устройствах ГПП-110/10 кВ внутризаводской системы электроснабжения предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции, проводится по приведённым выше условиям).

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

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

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

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

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

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

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

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

Таблица 15 – Выбор высоковольтных выключателей в РУ-10 кВ

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

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

Таблица 16 – Результаты выбора разъединителей в ОРУ 110 кВ

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

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

Таблица 17 – Выбор трансформатора тока в ОРУ 110 кВ

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

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

Таблица 18 – Выбор трансформатора тока 10 кВ

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

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

Таблица 19 – Выбор трансформатора напряжения 10 кВ

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

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

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

Выводы по разделу.

В работе проведён детальный практический расчёт и последующее обоснование технических мероприятий и решений по проектированию внутризаводской системы электроснабжения предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции.

В результате выбора схемы электроснабжения предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции, установлено, что для питания внешней внутризаводской системы электроснабжения проектируемого предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции, целесообразно использовать главную понизительную подстанцию с двумя силовыми трансформаторами и классами напряжения 110 кВ (номинальное высшее напряжение) и 10 кВ (номинальное низшее напряжение).

Исходя из результатов проведённого сравнительного анализа, проведено аргументированное обоснование и выбраны рациональные схемы

электрических соединений внутризаводской системы электроснабжения предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции:

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

Проведён расчёт силовых, осветительных и суммарных расчётных электрических нагрузок проектируемого предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции с использованием рекомендуемого метода коэффициента спроса.

Определены координаты условного центра электрических нагрузок объектов и всего предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции. Осуществлён расчёт картограммы электрических нагрузок объекта проектирования.

Рассчитаны токи короткого замыкания в максимальном режиме работы внутризаводской системы электроснабжения предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции. На основании полученных результатов, установлено, что для питания проектируемой внешней внутризаводской системы электроснабжения предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции, на ГПП-110/10 кВ объекта проектирования целесообразно установить два силовых трансформатора номинальной мощностью 6300 кВА каждый (марки ТМН-6300/110).

Выбраны и проверены номинальные мощности трансформаторов цеховых ТП-10/0,4 кВ внутренней внутризаводской системы электроснабжения предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции (всего предусмотрено три цеховых ТП). Все цеховые ТП-10/0,4 кВ устанавливаются в цехах, относящихся к I категории надёжности. Таким образом, будет реализовано резервирование при их питании и снижение потерь мощности и напряжения со значительной экономии проводникового материала.

Для питающих ВЛ-110 кВ принята марка инновационного провода АССS148-1Z с сечением токоведущей жилы 148 мм<sup>2</sup> и допустимой токовой нагрузкой  $I_{дон} = 425$  А.

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

Выбраны новые современные электрические аппараты для установки в РУ-110 кВ и РУ-10 кВ ГПП внутризаводской системы электроснабжения предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции:

- в сети напряжением 110 кВ: выключатель марки ЛТВ-145D1/В-31,5/2000, разъединитель марки РГ-110/1000У1, трансформатор тока марки ТВТ-110, ограничители перенапряжений типа ОПН-У/TEL-110/84-УХЛ1;
- в сети напряжением 10 кВ: выключатель марки ВВ/TEL-10-20/630-У2-48; трансформатор тока марки ТЛО-10; трансформатор напряжения марки НАМИ-10; ограничители перенапряжений типа ОПН-КР/TEL-10/12 УХЛ1.



### 3 Выбор устройств релейной защиты предприятия

Далее в работе выбираются типы устройств релейной защиты и автоматики для защиты основного оборудования подстанции – силовых трансформаторов и линий ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции.

Также определяются основные схемы РЗА для защиты основных элементов ГПП. В качестве основного типа устройств, на котором будет реализована РЗА, выбраны «комбинированные микропроцессорные блоки РЗА серии RT-300» [5], на основе которых можно защитить практически любые элементы (линии, трансформаторы и шины). Следует отметить, что микропроцессорные блоки серии БЗП успешно прошли аттестацию и аккредитацию, а результате чего рекомендованы к применению в энергосистемах РФ. Внешний вид и основной функционал микропроцессорных блоков серии RT-300 представлен на рисунке 8.



Рисунок 8 – Внешний вид и основной функционал микропроцессорных блоков PREMKO серии RT-300

На понижающем трансформаторе ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции предусмотрены следующие основные защиты:

- дифференциальная токовая защита от внутренних повреждений автотрансформатора (далее – ДЗТ);
- газовая защита трансформатора, выполненная с возможностью действия на отключение и на сигнал (далее – ГЗ);
- максимальные токовые с выдержкой времени на каждой обмотке автотрансформатора с комбинированным пуском по напряжению от многофазных коротких замыканий (далее – МТЗ);
- токовая защита от перегрузки, установленная в одной фазе с выдержкой времени с действием на сигнал (далее – ЗП).

На питающих и транзитных линиях ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции предусмотрены следующие защиты:

- дифференциальная токовая защита линий (далее – ДЗЛ);
- максимальные токовые защита линий (далее – МТЗЛ), совмещённая с защитой от перегрузки линий.

На сторонах ВН (110 кВ) и НН (10 кВ) силовых трансформаторов ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции, принимается соединение ТТ и реле в схему «неполная звезда», на стороне ВН ТСН системы собственных нужд (10 кВ) применяется схема «неполной звезды».

В качестве защиты выводов ВН (110 кВ) силовых трансформаторов ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции от межфазных КЗ, в работе рекомендована к использованию продольная дифференциальная токовая защита с абсолютной селективностью [14].

Известно, что в силовых трансформаторах, защита от перегрузки устанавливается со стороны питания [13], значит, в работе данная защита устанавливается на стороне 110 кВ.

Защита от перегрузки трансформаторов ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции выполняется с действием на сигнал, так как даже при значительных перегрузках не требуется быстрого отключения трансформатора.

В работе максимальная токовая защита (МТЗ) устанавливается как на стороне ВН (110 кВ), так и на других сторонах силовых трансформаторов ГПП, обеспечивая, таким образом, резервирование и селективность. Следовательно, в работе на выводах силовых трансформаторов ГПП принимается три комплекта МТЗ.

МТЗ будет установлена на каждой из обмоток трансформаторов ГПП для защиты от внутренних ненормальных режимов, а также в резервной цепи.

Таким образом, на секционном выключателе 10 кВ должны быть предусмотрены защиты (используемые при проверке и ремонте защиты, выключателя и трансформаторов тока любого из элементов, присоединенных к шинам):

- трехступенчатая дистанционная защита и токовая отсечка от многофазных коротких замыканий;
- четырехступенчатая токовая направленная защита нулевой последовательности от замыканий на землю.

При этом на вводном выключателе 10 кВ должны быть предусмотрены защиты (используемые для разделения систем шин при выведении УРОВ или защиты шин из действия, а также для повышения эффективности дальнего резервирования):

- двухступенчатая токовая защита от многофазных коротких замыканий;
- трехступенчатая токовая защита нулевой последовательности от замыканий на землю.

В работе на ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции для защит питающих линий напряжений 110 кВ, а также отходящих кабельных линий 10 кВ, выбираются следующие защиты:

- дифференциальная защиты линий (ДЗЛ);
- максимальная токовая защита линий, совмещённая с защитой от перегрузки (МТЗЛ).

В графической части работы приведена детальная схема вторичных цепей ячейки вакуумного выключателя РУ-10 кВ с установленными типами, узлами и схемами релейной защиты.

Выводы по разделу 3.

В работе, на основе расчётных данных, проведён выбор и обоснование основных типов защит силовых трансформаторов 110/10 кВ, шинных присоединений 110 и 10 кВ, а также питающих линий 110 кВ и отходящих линий 10 кВ на ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции (дифференциальной защиты, защиты от перегрузки, максимальной токовой защиты, защиты шин и прочие виды защит).

Все выбранные типы РЗ выполняются на основе микропроцессорных блоков ПРЕМКО серии RT-300 и соответствуют требованиям нормативных документов.

## Заключение

В результате выполнения работы, проведена разработка проекта внутризаводской системы электроснабжения предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции, согласно исходным данным на выполнение работы.

В работе проведён анализ исходных данных для выполнения работы.

Проведён анализ исходных данных на объекте проектирования. Систематизированы основные производственные подразделения предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции по критериям надёжности, установленной проектной мощности, а также условиям производственной среды.

Показано, что разработка качественного проекта внутризаводской системы электроснабжения предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции, с внедрением основных групп мероприятий, будет способствовать значительному повышению параметров надёжности, бесперебойности, электробезопасности и экономичности на объекте исследования.

В работе проведён детальный практический расчёт и последующее обоснование технических мероприятий и решений по проектированию внутризаводской системы электроснабжения предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции.

В результате выбора схемы электроснабжения предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции, установлено, что для питания внешней внутризаводской системы электроснабжения проектируемого предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции, целесообразно использовать главную понизительную подстанцию с двумя силовыми трансформаторами и классами напряжения 110 кВ (номинальное высшее напряжение) и 10 кВ (номинальное низшее напряжение).

Исходя из результатов проведённого сравнительного анализа, проведено аргументированное обоснование и выбраны рациональные схемы электрических соединений внутризаводской системы электроснабжения предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции:

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

Проведён расчёт силовых, осветительных и суммарных расчётных электрических нагрузок проектируемого предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции с использованием рекомендуемого метода коэффициента спроса.

Определены координаты условного центра электрических нагрузок объектов и всего предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции. Осуществлён расчёт картограммы электрических нагрузок объекта проектирования.

Рассчитаны токи короткого замыкания в максимальном режиме работы внутризаводской системы электроснабжения предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции. На основании полученных результатов, установлено, что для питания проектируемой внешней внутризаводской системы электроснабжения предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции, на ГПП-110/10 кВ объекта проектирования целесообразно установить два силовых трансформатора номинальной мощностью 6300 кВА каждый (марки ТМН-6300/110).

Выбраны и проверены номинальные мощности трансформаторов цеховых ТП-10/0,4 кВ внутренней внутризаводской системы электроснабжения предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции (всего предусмотрено три цеховых ТП). Все цеховые ТП-10/0,4 кВ устанавливаются в цехах, относящихся к I категории надёжности. Таким образом, будет реализовано резервирование при их питании и снижение

потерь мощности и напряжения со значительной экономии проводникового материала.

Для питающих ВЛ-110 кВ принята марка инновационного провода ACSS148-1Z с сечением токоведущей жилы 148 мм<sup>2</sup> и допустимой токовой нагрузкой  $I_{don} = 425$  А. Для питания цеховых ТП от РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ, выбраны и проверены сечения всех кабельных линий с использованием марки кабелей современного типа АСБ-10.

Выбраны новые современные электрические аппараты для установки в РУ-110 кВ и РУ-10 кВ ГПП внутризаводской системы электроснабжения предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции:

- в сети напряжением 110 кВ: выключатель марки ЛТВ-145D1/В-31,5/2000, разъединитель марки РГ-110/1000У1, трансформатор тока марки ТВТ-110, ограничители перенапряжений типа ОПН-У/TEL-110/84-УХЛ1;
- в сети напряжением 10 кВ: выключатель марки ВВ/TEL-10-20/630-У2-48; трансформатор тока марки ТЛО-10; трансформатор напряжения марки НАМИ-10; ограничители перенапряжений типа ОПН-КР/TEL-10/12 УХЛ1.

На основе расчётных данных, проведён выбор и обоснование основных типов защит силовых трансформаторов 110/10 кВ, шинных присоединений 110 и 10 кВ, а также питающих линий 110 кВ и отходящих линий 10 кВ на ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции (дифференциальной защиты, защиты от перегрузки, максимальной токовой защиты, защиты шин и прочие виды защит). Все выбранные типы РЗ выполняются на основе микропроцессорных блоков ПРЕМКО серии RT-300 и соответствуют требованиям нормативных документов.

Установлено, что разработанная внутризаводская система электроснабжения предприятия по производству кабельно-проводниковой продукции соответствует нормативным требованиям основных документов.

## Список используемых источников

1. ГОСТ 32144-2013. «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения». [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200104301> (дата обращения: 15.04.2023).
2. ГОСТ Р 59279-2020 «Схемы принципиальные электрические распределительных устройств от 35 до 750 кВ подстанций». [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200177281> (дата обращения: 15.04.2023).
3. Кадомская К.П., Лавров Ю.А. Электрооборудование высокого напряжения нового поколения. Вологда: Инфра-Инженерия, 2018. 343 с.
4. Как производят кабель [Электронный ресурс]: URL: <https://как-это-sdelano.livejournal.com/84835.html> (дата обращения: 15.04.2023).
5. Комбинированные микропроцессорные блоки РЗА серий RT/REST.01 [Электронный ресурс]: URL: <http://premko.net/produkcziya/kopiya-kombinirovannyye-programmiruemyie-bloki-rza-serii-rt-i-rest.01.html> (дата обращения: 15.04.2023).
6. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: Учеб. пособие для ВУЗов. 5-е издание, перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 2018. 608 с.
7. Постановление Правительства РФ от 16.02.2008 N 87 (ред. от 01.12.2021) «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию» [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/902087949> (дата обращения: 15.04.2023).
8. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. 6-е изд., перераб. и доп. М: Энергоатомиздат, 2019. 174 с.
9. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей.



4-е изд., перераб. и доп. М: Энергоатомиздат, 2018. 392 с.: ил.

10. Правила устройства электроустановок. 7-е изд., перераб. и доп. М.: Главгосэнергонадзор России, 2018. 692 с.

11. Производство кабельной продукции [Электронный ресурс]: URL: <https://www.sviaz-expo.ru/ru/ui/17158/> (дата обращения: 15.04.2023).

12. Рогалев Н.Д. Энергосбережение: учебное пособие для ВУЗов. Москва: МЭИ, 2020. 242 с.

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

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

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

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

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

18. Типовые схемы электроснабжения промышленных предприятий [Электронный ресурс]: URL: <http://electricalschool.info/main/electroshemy/2422-tipovye-shemy-elektrosnabzheniya.html> (дата обращения: 15.04.2023).

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

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