

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

Институт химии и энергетики  
(наименование института полностью)

Кафедра Электроснабжение и электротехника  
(наименование)

13.03.02. Электроэнергетика и электротехника  
(код и наименование направления подготовки / специальности)

Электроснабжение  
(направленность (профиль) / специализация)

## ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Проектирование системы электроснабжения завода по производству оконных конструкций

Обучающийся

Р.Н. Игошин

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., В.С. Романов

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

## Аннотация

В работе осуществлено проектирование системы электроснабжения завода по производству оконных конструкций.

Рассмотрен состав и характеристики производственных и вспомогательных подразделений предприятия с приведением данных по номинальным установленным параметрам (напряжению, мощности и фазности).

Для достижения поставленной цели, при разработке проекта системы электроснабжения завода по производству оконных конструкций, в работе проведено решение следующих практических мероприятий:

- выбор схемных решений;
- расчёт нагрузок и токов короткого замыкания;
- выбор основного оборудования;
- выбор системы учёта и контроля электроэнергии.

Расчётно-пояснительная записка выполнена в приложении «Microsoft Word» и содержит 56 печатных страниц.

## Содержание

Введение.....	4
1 Анализ исходных данных на проектирование .....	6
1.1 Характеристика технологического процесса и потребителей завода по производству оконных конструкций .....	6
1.2 Требования нормативных документов к проектированию систем электрообеспечения промышленных предприятий.....	10
2 Выбор схемных решений .....	14
3 Расчёт электрических нагрузок и токов короткого замыкания.....	17
3.1 Расчёт электрических нагрузок .....	17
3.2 Расчёт токов короткого замыкания .....	20
4 Выбор основного оборудования .....	29
4.1 Выбор и проверка трансформаторов цеховых трансформаторных подстанций.....	29
4.2 Расчёт нормальных и максимальных рабочих токов .....	31
4.3 Выбор и проверка проводников .....	34
4.4 Выбор и проверка электрических аппаратов .....	37
4.5 Выбор устройств релейной защиты .....	43
5 Выбор системы учёта и контроля электроэнергии.....	48
Заключение .....	53
Список используемых источников.....	55

## Введение

Известно, что развитие производства оконных конструкций в Российской Федерации является актуальной темой исследования в контексте индустриальной экономики и стратегического планирования. Анализ данной сферы отражает сложную динамику изменений в производственных процессах, технологических инновациях и рыночных требованиях.

Эволюция производства оконных конструкций в России подвержена воздействию различных факторов, включая экономические условия, научно-технический прогресс, технологические возможности и потребительский спрос. В ходе исследований проявляется важность адаптации производства к изменяющимся рыночным условиям и внедрению инновационных технологий для повышения конкурентоспособности.

Современные тенденции развития производства оконных конструкций в России включают в себя переход к более энергоэффективным и экологически чистым материалам, таким как ПВХ и алюминий, а также улучшение качества и долговечности продукции. Кроме того, важным аспектом является оптимизация производственных процессов с целью сокращения затрат и повышения эффективности.

Исследования в данной области также уделяют внимание социальным аспектам развития производства, таким, как создание новых рабочих мест, обеспечение безопасности труда и улучшение условий труда работников. Эффективное управление производственными процессами и стратегическое планирование играют ключевую роль в обеспечении устойчивого развития отрасли оконных конструкций в России.

«Представленная работа также направлена на разработку и реализацию мероприятий, направленных на повышение параметров и показателей системы электроснабжения промышленного предприятия» [14] по производству оконных конструкций на стадии проектирования.

Основной «целью работы является проектирование системы электроснабжения завода по производству оконных конструкций.

Объектом исследования является» [17] новый завод по производству оконных конструкций.

Предметом исследования выступает комплекс технико-экономических параметров и характеристик системы электроснабжения объекта исследования (надёжность, безопасность, экономичность, экологичность).

Актуальность работы обусловлена требованиями надёжности, безопасности и экономической эффективности ввода новых промышленных объектов в эксплуатацию [18], [20].

Проведён анализ исходных данных на проектирование, включающий сведения по технологии производства оконных конструкций, применяющейся на заводе.

Рассмотрены состав и характеристики производственных и вспомогательных подразделений предприятия с приведением данных по номинальным установленным параметрам (напряжению, нагрузке и фазности).

«Для достижения поставленной цели, при разработке проекта системы электроснабжения завода по производству оконных конструкций, в работе проведено решение следующих практических мероприятий:

- выбор схемных решений в системе электроснабжения объекта исследования» [17];
- расчёт электрических нагрузок и токов трёхфазного короткого замыкания;
- выбор основного оборудования в системе электроснабжения объекта исследования;
- выбор системы учёта и контроля электроэнергии на объекте.

## **1 Анализ исходных данных на проектирование**

### **1.1 Характеристика технологического процесса и потребителей завода по производству оконных конструкций**

Технология производства оконных конструкций охватывает широкий спектр процессов, начиная от подготовки сырья и компонентов до изготовления и установки оконных систем.

Данный технологический процесс включает в себя несколько ключевых этапов [17]:

- выбор материалов: известно, что оконные конструкции могут быть изготовлены из различных материалов, таких как ПВХ (поливинилхлорид), дерево, алюминий или их комбинации. В зависимости от требований к изоляции, «прочности, долговечности и эстетического вида, а также пожеланий заказчика, проводится выбор материалов для изготовления оконных конструкций;
- проектирование и конструирование: основанные на требованиях заказчика и стандартных технических спецификациях, оконные системы проектируются и конструируются с учетом необходимых размеров» [17], конфигураций и функциональных характеристик;
- обработка сырья: сырье, как профили из ПВХ или алюминия, подвергается различным производственным операциям, включая распиловку, фрезерование, сварку (склейку, прессование) и обработку поверхности;
- сборка: далее компоненты оконных конструкций собираются в соответствии с предварительно разработанным проектом. Данный этап предусматривает установку стекла, фурнитуры, а также герметизацию и сборку рамы;
- тестирование и контроль качества: после сборки оконные конструкции подвергаются различным испытаниям и контролю

качества, с целью уверенности в их соответствии стандартам безопасности, прочности и энергоэффективности;

- упаковка и доставка: готовые оконные конструкции упаковываются в защитную упаковку и готовятся к доставке заказчику. Вся готовая продукция хранится в складских помещениях.

После доставки заказчику оконные конструкции монтируются специалистами на месте установки с соблюдением всех технических требований и стандартов.

Таким образом, производство оконных конструкций в современном мире сопровождается постоянным поиском и внедрением новых технологий и инноваций для повышения качества продукции, оптимизации производственных процессов и сокращения затрат.

«Технологическая схема основного процесса изготовления готовой продукции на заводе по производству оконных конструкций представлена на рисунке 1» [17].

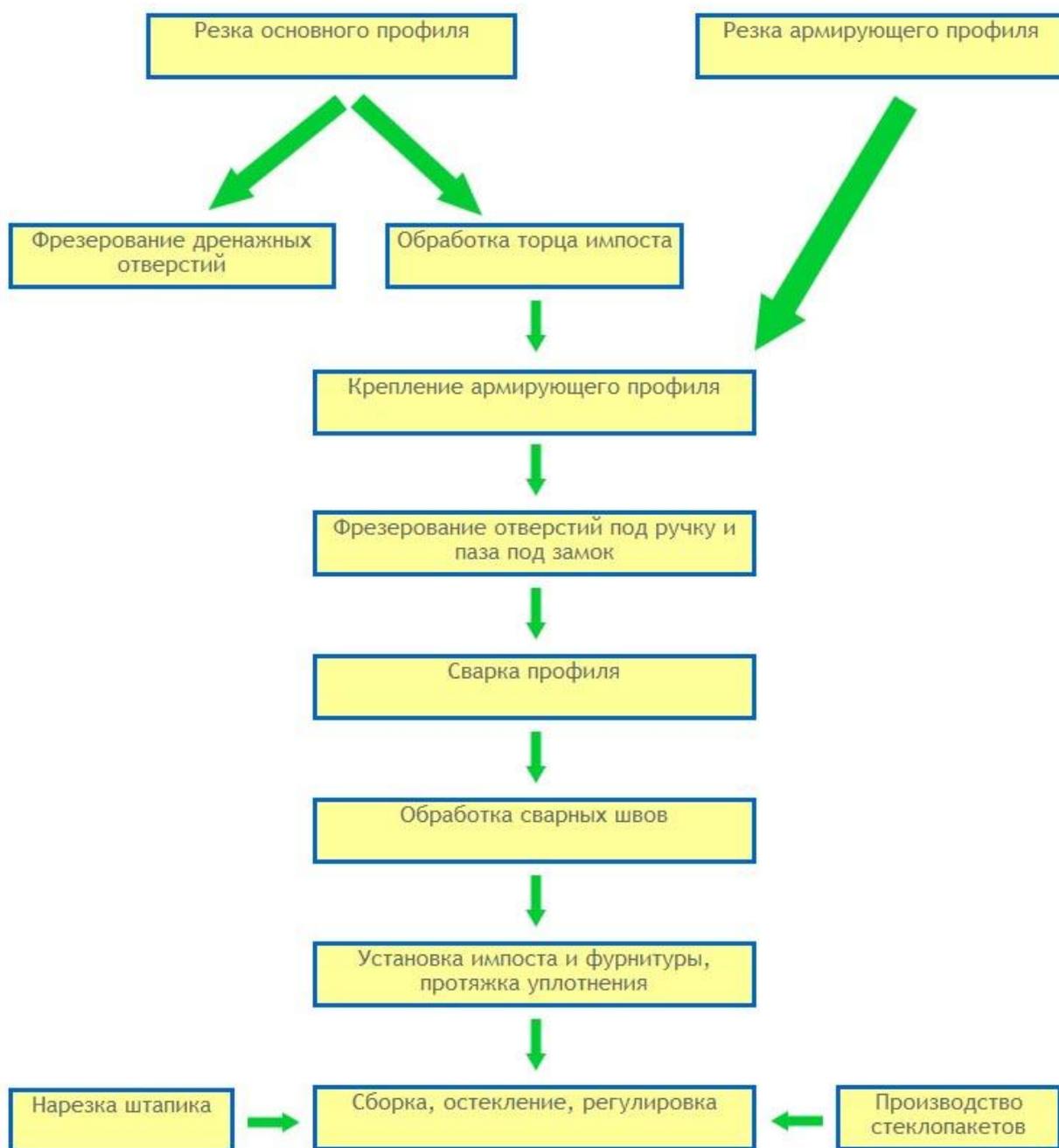


Рисунок 1 – Технологическая схема основного процесса изготовления готовой продукции на заводе по производству оконных конструкций

«Установлено, что к основным технологическим подразделениям производства продукции на заводе по производству оконных конструкций относятся следующие цеховые комплексы» [17] (укрупнённые модули):

- комплекс подготовки материалов;
- комплекс обработки материалов;
- сборочный комплекс;

– комплекс упаковки и контроля производства.

Все перечисленные цеховые комплексы относятся к I категории надёжности (так как являются основой производства на заводе).

Кроме того, на проектируемом предприятии есть также следующие основные непроизводственные помещения, службы и цеха, необходимые для обеспечения нормальной жизнедеятельности завода:

- комплекс технического обеспечения производства (II категории надёжности);
- складской комплекс (III категории надёжности);
- административно-бытовой комплекс (III категории надёжности).

В работе технические данные максимальных проектных нагрузок подразделений завода по производству оконных конструкций представлены в форме таблицы 1.

Таблица 1 – Технические данные максимальных проектных нагрузок подразделений завода по производству оконных конструкций

Наименование подразделения (укрупнённого модуля)	Максимальная проектная нагрузка, $P_m$ , кВт	Категория надёжности	$U_{ном. потр.}$ , кВ
Комплекс подготовки материалов	200,0	I	Силовая нагрузка – 0,38 кВ (трёхфазные ЭП), осветительная нагрузка – 0,22 кВ (однофазные ЭП)
Комплекс обработки материалов	200,0	I	
Сборочный комплекс	200,0	I	
Комплекс упаковки и контроля производства	100,0	I	
Комплекс технического обеспечения производства	200,0	II	
Складской комплекс	50,0	III	
Административно-бытовой комплекс	50,0	III	
Всего существующей нагрузки потребителей	1000,0	I, II, III	

Все потребители проектируемой системы электроснабжения завода (за исключением освещения) – трёхфазные, они работают на напряжении 0,38 кВ.

Также установлено, что завод относится к предприятиям со средней нагрузкой.

## **1.2 Требования нормативных документов к проектированию систем электроснабжения промышленных предприятий**

В контексте современного экономического и технологического развития, системы электроснабжения предприятий Российской Федерации подлежат строгим требованиям, которые направлены на обеспечение надежности, безопасности и экономической эффективности. Эти требования регулируются на национальном уровне и включают в себя ряд норм и стандартов, отражающих актуальные потребности промышленного сектора и общества в целом.

Цели проектирования систем электроснабжения заключаются в обеспечении непрерывного и качественного электропитания всех производственных участков, что критически важно для поддержания высоких темпов производства и минимизации рисков, связанных с простоями и авариями. Также значительное внимание уделяется адаптации систем электроснабжения к переменным нагрузкам, которые могут значительно изменяться в зависимости от производственного цикла и времени года.

Методы, используемые для достижения этих целей, включают автоматизацию управления электросетями, внедрение систем мониторинга и диагностики, которые позволяют оперативно реагировать на изменения в системе и предотвращать возможные неисправности. Современные технологии, такие как интеллектуальные сети («smart grids») и системы распределенного энергоснабжения, вносят значительный вклад в повышение эффективности и надежности электроснабжения.

Актуальность данных требований обусловлена стремлением к снижению энергопотребления и уменьшению воздействия производственной деятельности на окружающую среду. Реализация энергоэффективных мероприятий и оптимизация использования электрической энергии направлены на уменьшение затрат и повышение конкурентоспособности предприятий.

Задачи, стоящие перед системами электроснабжения, также включают обеспечение гибкости и масштабируемости энергетической инфраструктуры, что необходимо для адаптации к быстро меняющимся технологическим и экономическим условиям. Разработка и реализация инновационных решений в области электроснабжения должны сопровождаться повышением уровня профессиональной подготовки персонала и внедрением стандартов промышленной безопасности.

Таким образом, системы электроснабжения на предприятиях России сталкиваются с комплексом задач, решение которых требует комплексного подхода, включая техническое перевооружение, правовую регламентацию и обучение, что позволит не только соответствовать текущим требованиям, но и предвосхитить потребности будущего. Следовательно, при проектировании системы электроснабжения предприятий, необходимо стремиться к структуре, представленной на рисунке 7.



Рисунок 7 – Структура системы электроснабжения предприятий

В такой системе электроснабжения предполагается наличие трёх подсистем: питания, распределения и потребления. Для каждой из этих подсистем характерны свои схемы, а также оборудование и нормы эксплуатации.

Требования к электроснабжению потребителей, классифицируемых на первую, вторую и третью категории надежности, основываются на различной важности таких объектов.

Потребители первой категории надежности включают в себя объекты, для которых даже кратковременное прерывание подачи электроэнергии может привести к серьезным последствиям для здоровья и безопасности людей, а также вызвать значительный экономический ущерб.

Это требует от системы электроснабжения способности обеспечивать максимально возможное исключение отключений, включая наличие резервных источников питания и автоматизированных систем быстрого восстановления электроснабжения.

Для потребителей второй категории, к которой относятся предприятия, временное отключение электроэнергии несет риски нарушения производственных процессов, но эти риски и возможный ущерб значительно ниже, чем для первой категории.

Системы электроснабжения для таких потребителей должны предусматривать возможности оперативного реагирования на сбои в подаче электроэнергии, но допускается более длительное время восстановления функционирования.

Третья категория надежности включает потребителей, для которых временные перебои в электроснабжении не оказывают критического влияния на основные функции или безопасность.

Электроснабжение таких потребителей проектируется с учетом общепринятых норм и стандартов, при этом требования к времени восстановления могут быть существенно увеличены без значительных последствий для деятельности предприятий.

Следовательно, обеспечение различных уровней надежности электроснабжения потребителей разных категорий предполагает дифференцированный подход к проектированию и эксплуатации электроэнергетической инфраструктуры, учитывая специфические потребности и возможные риски для каждого из типов потребителей.

Выводы по разделу.

Приведены технические данные максимальных проектных нагрузок подразделений завода по производству оконных конструкций.

Рассмотрены состав и характеристики производственных и вспомогательных подразделений предприятия с приведением данных по номинальным установленным параметрам (напряжению, нагрузке и фазности).

Установлено, что все потребители проектируемой системы электроснабжения завода (за исключением освещения) – трёхфазные, они работают на номинальном напряжении 0,38 кВ.

Также установлено, что завод относится к предприятиям со средней нагрузкой, являясь потребителем 2 категории надёжности.

## 2 Выбор схемных решений

Далее в работе, на основании систематизации технических данных объекта проектирования, а также анализа современных норм технологического «проектирования систем электроснабжения промышленных предприятий, проводится обоснование выбора схемы электрических соединений проектируемой системы электроснабжения завода по производству» [5] оконных конструкций.

Известно, что на выбор рациональной схемы электроснабжения проектируемого завода по производству оконных конструкций оказывают влияние многочисленные факторы.

К ним «относятся максимальная и суммарная нагрузка потребителей, категория надёжности электроприёмников, расстояние до питающей подстанции (узла) энергосистемы, структура электрической сети, условия резервирования, применение секционирования, а также прочие аналогичные факторы и условия» [5].

Для выбора рациональной питающей схемы проектируемого предприятия, на первом этапе необходимо определить рациональное напряжение внешнего электроснабжения.

«Для выбора величины внешнего номинального напряжения завода, предлагается использовать известную формулу Стилла, дающей не более 10% суммарной погрешности» [5]:

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

где  $L$  – «длина питающей линии, км;

$P$  – суммарная передаваемая мощность в сети, МВт» [5].

«По условию (1) для внешней СЭС завода» [5]:

$$U_{рац} = 4,34\sqrt{1 + 16 \cdot 1} = 17,89 \text{ кВ.}$$

«С учётом полученного значения расчётного рационального напряжения, принимается в работе номинальное напряжение 10 кВ.

При этом питание завода планируется осуществить от шин 10 кВ районной понизительной подстанции напряжением 35/10 кВ (далее – РТП-35/10 кВ).

Для приёма электроэнергии от РТП-35/10 кВ на территории завода рационально предусмотреть распределительный пункт напряжением 10 кВ (далее – РП-10 кВ)» [11].

Последующее распределение электроэнергии на территории завода осуществляется от заводского РП-10 кВ, питающего цеховые трансформаторные подстанции 10/0,4 кВ (далее – ЦТП-10/0,4 кВ).

От последних питаются непосредственно потребители на напряжении 0,38/0,22 кВ.

При этом, так как «проектируемый завод по производству оконных конструкций относится ко II категории надёжности, в схеме его системы электроснабжения обязательно должны соблюдаться условия резервирования, секционирования и надёжности» [11], а также ремонтпригодности [10] и безопасности [9].

Поэтому на всех уровнях и подсистемах схемы применяются два независимых ввода при питании потребителей по радиальным схемам электроснабжения. Известно, что такие схемы являются наиболее надёжными и подходят для питания электроприёмников I и II категорий [3].

Потребители III категории надёжности можно присоединять «в цепочку» и питать по магистральной схеме от одного источника питания. Данный принцип также используется в работе.

Принятые «схемные решения для внедрения в системе электроснабжения завода по производству оконных конструкций» [11] представлены в работе на рисунке 3.

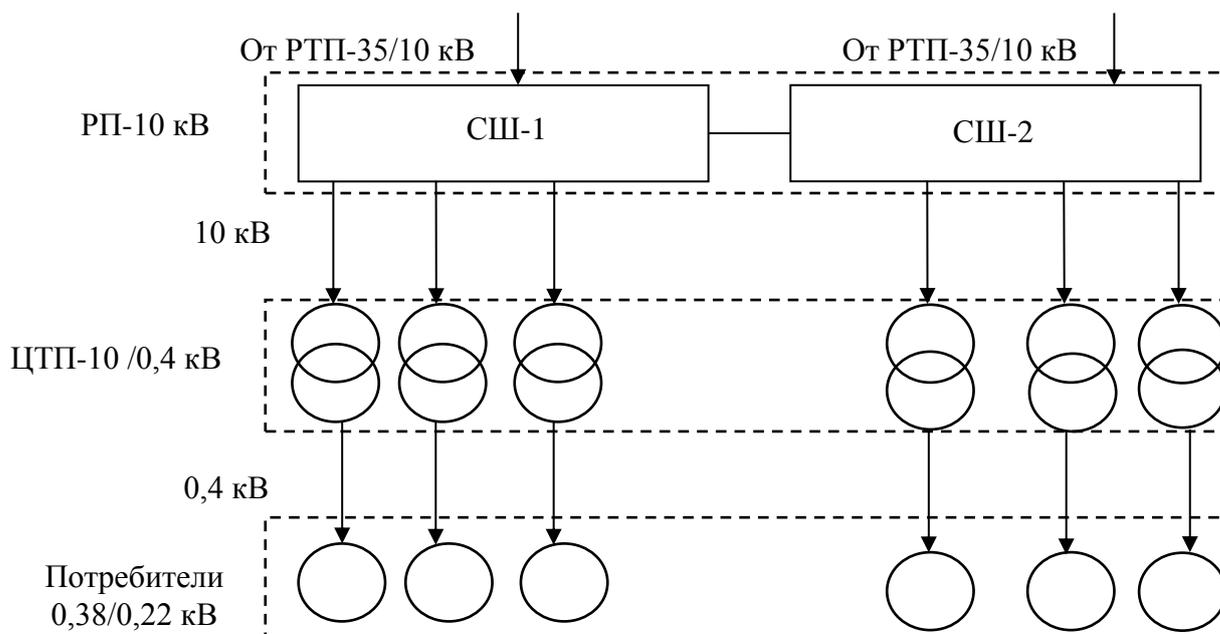


Рисунок 3 – Принятые схемные решения

Принятые схемные решения в системе электроснабжения завода по производству оконных конструкций также показаны в графической части работы.

Выводы по разделу.

На основании систематизации технических данных объекта проектирования, а также анализа современных норм технологического «проектирования систем электроснабжения промышленных предприятий, проведено обоснование выбора схемы электрических соединений проектируемой системы электроснабжения завода по производству оконных» [11] конструкций. Установлено, что наиболее рациональным вариантом питания объекта проектирования является питание от заводского РП-10 кВ. В свою очередь, от РП-10 кВ питаются ЦТП-10/0,4 кВ. Так как «проектируемый завод относится ко II категории надёжности, в схеме его системы электроснабжения обязательно должны соблюдаться условия резервирования, секционирования и надёжности» [11]. Поэтому на всех уровнях и подсистемах схемы применяются два независимых ввода.

## **3 Расчёт электрических нагрузок и токов короткого замыкания**

### **3.1 Расчёт электрических нагрузок**

Установлено, что расчет электрических нагрузок представляет собой комплексный подход, направленный на обеспечение эффективности, безопасности и устойчивости системы электроснабжения предприятия в текущем и перспективном контексте. Расчёт нагрузок системы электроснабжения предприятия проводится с учётом рекомендуемого метода коэффициента спроса. Расчёт нагрузок системы электроснабжения предприятия с применением метода коэффициента спроса является важным инструментом для обеспечения эффективной и экономичной работы энергосистемы. Метод, который позволяет использовать коэффициенты спроса системы, позволяет оценить максимальные и минимальные электрические нагрузки, что критически важно для оптимизации процессов планирования и эксплуатации энергетического оборудования.

Цели использования метода коэффициента спроса включают в себя повышение надежности электроснабжения, оптимизацию капитальных затрат на оборудование и инфраструктуру, а также минимизацию операционных расходов за счет более точного прогнозирования пиковых нагрузок. Такой подход особенно значим для предприятий, чья деятельность характеризуется значительными колебаниями в потреблении энергии в зависимости от времени суток или сезона.

Задачи, которые решает этот метод, включают определение коэффициента спроса, который является отношением максимальной мгновенной нагрузки к средней за определённый период. Эти задачи помогают правильно распределить систему электроснабжения, выбрать оптимальные защитные устройства и предотвратить чрезмерное инвестирование в избыточную инфраструктуру, а также избежать недооценки, которая может привести к нежелательным сбоям и авариям. Актуальность

данного метода особенно высока в условиях, когда предприятия стремятся к повышению энергоэффективности и снижению воздействия на окружающую среду. Метод коэффициента спроса позволяет более точно анализировать и планировать потребление ресурсов, что способствует реализации принципов устойчивого развития и сокращению издержек.

Таким образом, непосредственное применение метода коэффициента спроса на заводе по производству оконных конструкций помогает достигать высокой операционной эффективности, обеспечивая при этом стабильность и надежность в системах электроснабжения, что является ключевым фактором успешной экономической деятельности предприятия в современных условиях.

«Активная нагрузка, кВт» [6]:

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

где  $P_m$  – «максимальная проектная активная нагрузка предприятия, кВт;  
 $K_c$  – коэффициент спроса» [6].

«Полная нагрузка, кВА» [6]:

$$S_p = \frac{P_p}{\cos \varphi}. \quad (3)$$

«Реактивная нагрузка, квар» [6]:

$$Q_p = \sqrt{S_p^2 - P_p^2}. \quad (4)$$

Суммарные нагрузки завода определяется как сумма нагрузок объектов:

$$P_{P.\Sigma} = \sum P_p. \quad (5)$$

$$Q_{P.\Sigma} = \sum Q_p. \quad (6)$$

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

Групповой коэффициент мощности [6]:

$$\cos \varphi = \frac{P_p}{S_p}. \quad (8)$$

Расчёт нагрузки объектов системы электроснабжения завода проводится «на примере подразделения «Комплекс подготовки материалов»» [6]:

$$P_p = 6500 \cdot 0,8 = 5200 \text{ кВт}.$$

$$S_p = \frac{5200}{0,94} = 5532 \text{ кВА}.$$

$$Q_p = \sqrt{5532^2 - 5200^2} = 1887,6 \text{ квар}.$$

Технические данные максимальных проектных нагрузок подразделений завода по производству оконных конструкций представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Технические данные максимальных проектных нагрузок подразделений завода по производству оконных конструкций

Наименование подразделения (укрупнённого модуля)	$P_m$ , кВт	$K_c$ , о.е.	$P_p$ , кВт	$Q_p$ , квар	$S_p$ , кВА
Комплекс подготовки материалов	200,0	0,8	160,0	58,0	170,2
Комплекс обработки материалов	200,0	0,7	140,0	50,7	148,9
Сборочный комплекс	200,0	0,8	160,0	58,0	170,2
Комплекс упаковки и контроля производства	100,0	0,6	60,0	21,7	63,8
Комплекс технического обеспечения производства	200,0	0,9	180,0	65,4	191,5
Складской комплекс	50,0	0,7	35,0	12,6	37,2
Административно-бытовой комплекс	50,0	0,6	30,0	10,8	31,9
Всего по заводу	1000,0	0,765	765,0	277,2	813,7

Результаты расчёта используются в работе далее.

### **3.2 Расчёт токов короткого замыкания**

Расчёт токов короткого замыкания для системы электроснабжения завода по производству оконных конструкций, является ключевой процедурой, направленной на обеспечение безопасности и надежности электрической сети. Этот процесс позволяет определить потенциальные уровни токов, которые могут возникнуть при коротких замыканиях в различных частях сети, что критически важно для выбора адекватных средств защиты и определения необходимых параметров оборудования.

Цели данного расчёта включают предотвращение возможных повреждений оборудования и инфраструктуры, которые могут быть вызваны высокими токами короткого замыкания.

Такие события не только могут привести к дорогостоящим ремонтам, но и создать серьезные риски для безопасности персонала и окружающей среды.

Помимо этого, точные расчёты помогают в поддержании стабильной работы системы при аварийных режимах, минимизируя время простоев и восстановление после сбоев.

Задачи расчёта токов короткого замыкания включают анализ конфигурации сети, определение наиболее уязвимых участков и выбор соответствующих защитных устройств, таких как выключатели и предохранители, которые должны активироваться для изоляции и устранения неисправности в кратчайшие сроки.

Кроме того, расчёты позволяют оптимизировать параметры системы, улучшая таким образом общую эффективность и надежность электроснабжения.

Актуальность этих расчётов обусловлена растущими требованиями к электробезопасности и надежности, особенно в условиях постоянного расширения и модернизации производственных мощностей (также, как и в данной работе).

В современных условиях, когда электрические сети становятся всё более комплексными и взаимосвязанными, способность быстро и точно реагировать на любые аварийные ситуации становится ключевым фактором успешной эксплуатации энергетических систем.

Таким образом, расчёт токов короткого замыкания является неотъемлемой частью стратегии управления рисками и обеспечения бесперебойной работы электросетей на предприятии, поддерживая высокие стандарты безопасности и эффективности в долгосрочной перспективе.

Так как в работе детально рассмотрено проектирование и выбор системы внешней и внутренней питающей сети, основная задача расчёта токов КЗ в работе состоит в нахождении тока трёхфазного симметричного замыкания на шинах заводского РП-10 кВ.

Установлено, что на питающей РТП-35/10 кВ находятся два одинаковых по номиналу и мощности силовых трансформатора марки ТМ-4000/35 с устройством ПБВ (переключением без возбуждения).

Расчетная однолинейная схема системы электроснабжения завода с питающей РТП-35/10 кВ и заводским РП-10 кВ показана на рисунке 4.

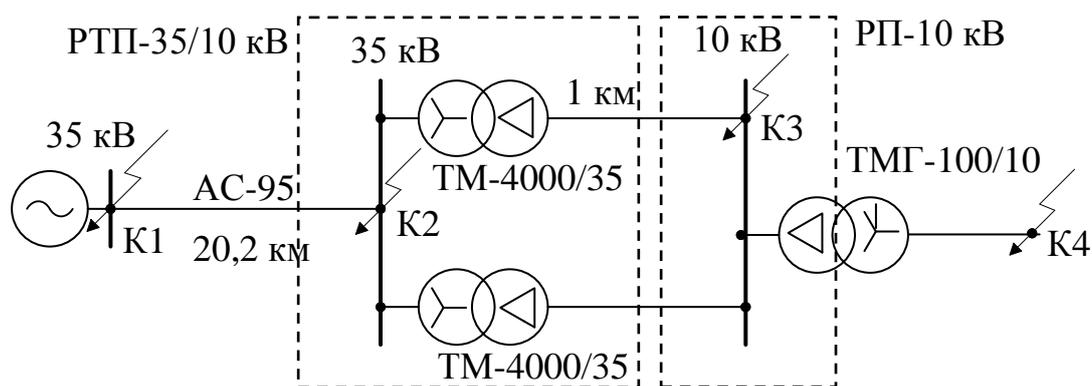


Рисунок 4 – Расчетная однолинейная схема

Таким образом, в данной схеме ток КЗ в точке К3, будет максимален для всей сети 10 кВ.

Кроме того, в работе также требуется рассчитать ток КЗ в конце наиболее удалённой линии (точка К4).

В результате анализа исходных данных установлено, что токи КЗ на шинах 35 кВ питающей подстанции 110/35/10 кВ (в точке К1) составляют:

- в режиме максимальной нагрузки  $I_{к1}^{(3)}_{\text{макс}} = 1500 \text{ А}$ ;
- в режиме минимальной нагрузки  $I_{к1}^{(3)}_{\text{мин}} = 1200 \text{ А}$ .

Составляется схема замещения электрической сети, на которой показаны расчетные параметры элементов сети (рисунок 5).

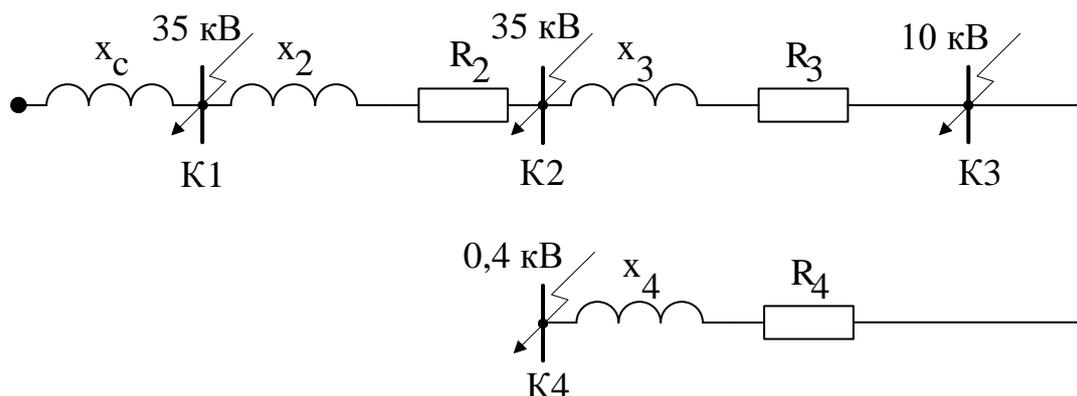


Рисунок 5 – Схема замещения электрической сети для расчета токов короткого замыкания

«Расчет токов трехфазного КЗ выполняется в именованных единицах, принимается за базис напряжение  $U_{\delta} = 35 \text{ кВ}$ » [12].

Сопротивление системы (на напряжение 35 кВ) [12]:

$$X_c = \frac{U_c}{\sqrt{3} \cdot I_{к1.макс}^{(3)}}. \quad (9)$$

В точке К1:

$$X_c = \frac{35}{\sqrt{3} \cdot 1,5} = 13,47 \text{ Ом}.$$

Находятся сопротивления линии электропередачи напряжением 35 кВ и суммарной длиной  $L=20,2$  км, выполненной проводом АС-95 с удельными параметрами  $r_{уд} = 0,37$  Ом/км,  $x_{уд} = 0,385$  Ом/км [12]:

$$R_2 = r_{уд} \cdot L, \quad (10)$$

$$X_2 = x_{уд} \cdot L, \quad (11)$$

где  $x_{уд}$  – «удельное сопротивление ВЛ, Ом/км;

$L$ - суммарная длина ВЛ, км» [12].

Для условий работы:

$$R_2 = 0,37 \cdot 20,2 = 7,47 \text{ Ом.}$$

$$X_2 = 0,385 \cdot 20,2 = 7,78 \text{ Ом.}$$

Суммарное сопротивление до расчётной точки К2:

$$X_{c,2} = X_c + X_2, \text{ Ом.} \quad (12)$$

$$R_{c,2} = R_2, \text{ Ом.} \quad (13)$$

В числовых значениях:

$$X_{c,2} = 13,47 + 7,78 = 21,25 \text{ Ом.}$$

$$R_{c,2} = 7,47 \text{ Ом.}$$

Далее определяются параметры схемы замещения «силового трансформатора, установленного на питающей РТП-35/10 кВ» [12].

Технические данные трансформатора ТМ-4000/35:  $U_{вн}=35$  кВ;  $U_{нн}=10,5$  кВ;  $U_{к\text{ мин}}=6,9$  %;  $U_{к\text{ ср}}=7,5$  %;  $U_{к\text{ макс}}=7,6$  %; ПБВ  $\pm 2 \times 2,5$  %;  $\Delta P_k=33,5$  кВт.

Данный тип трансформатора выполняется с устройством регулирования напряжения типа ПБВ. Известно, что данное устройство имеет 3 основных положения: среднее («нулевое»), минимальное (минус 5% от среднего) и максимальное (плюс 5% к среднему). Расчёты проводятся для каждого из указанных положений. Активное сопротивление трансформатора с учётом напряжения положения устройства ПБВ  $U_n$  [12]:

$$R_{т.п} = \frac{\Delta P_{к} \cdot 10^{-3} \cdot U_{п}^2}{S_{ном.т.}^2} \quad (14)$$

Активное сопротивление трансформатора (ПБВ находится в среднем положении):

$$R_{зср} = \frac{33,5 \cdot 10^{-3} \cdot 35^2}{4^2} = 2,56 \text{ Ом.}$$

Для минимального положения ПБВ:

$$R_{змин} = \frac{33,5 \cdot 10^{-3} \cdot (35 \cdot (1 - 0,05))^2}{4^2} = 2,31 \text{ Ом.}$$

Для максимального положения ПБВ:

$$R_{змакс} = \frac{33,5 \cdot 10^{-3} \cdot (35 \cdot (1 + 0,05))^2}{4^2} = 2,83 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление трансформатора с учётом напряжения положения устройства ПБВ  $U_n$ :

$$X_{т.п} = \frac{U_{к.ср.\%} \cdot U_{п}^2}{100 \cdot S_{ном.т.}^2} \quad (15)$$

Индуктивное сопротивление силового трансформатора в среднем положении ПБВ:

$$X_{3ср} = \frac{7,5 \cdot 35^2}{100 \cdot 4^2} = 22,97 \text{ Ом.}$$

Для минимального положения ПБВ:

$$X_{3мин} = \frac{6,9 \cdot (35 \cdot (1 - 0,05))^2}{100 \cdot 4^2} = 19,07 \text{ Ом.}$$

Для максимального положения ПБВ:

$$X_{3макс} = \frac{7,6 \cdot (35 \cdot (1 + 0,05))^2}{100 \cdot 4^2} = 25,66 \text{ Ом.}$$

Определяется ток КЗ в точке К2 (для среднего положения ПБВ).

Суммарное активное сопротивление [12]:

$$R_{\Sigma} = R_{с.2}, \text{ Ом.} \quad (16)$$

$$R_{\Sigma} = 7,47 \text{ Ом.}$$

Суммарное индуктивное сопротивление [12]:

$$X_{\Sigma} = X_{с.2}, \text{ Ом.} \quad (17)$$

$$X_{\Sigma} = 21,25 \text{ Ом.}$$

Суммарное полное сопротивление [12]:

$$Z_{\Sigma} = \sqrt{R_{\Sigma}^2 + X_{\Sigma}^2}. \quad (18)$$

$$Z_{\Sigma} = \sqrt{7,47^2 + 21,25^2} = 22,52 \text{ Ом}.$$

«Ток трехфазного короткого замыкания в расчётных точках» [12] с учётом напряжения положения устройства ПБВ  $U_n$ :

$$I_{\text{к}}^{(3)} = \frac{U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma}}, \text{ А}. \quad (19)$$

«Ток трёхфазного КЗ точке К2 для среднего положения ПБВ» [12]:

$$I_{\text{к}2}^{(3)} = \frac{35}{\sqrt{3} \cdot 22,52} = 0,897 \text{ кА}.$$

«Ударный ток короткого замыкания» [12]:

$$i_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot k_{\text{уд}} \cdot I_{\text{к}}^{(3)}, \text{ кА}, \quad (20)$$

где « $k_{\text{уд}}$ – ударный коэффициент тока» [12] короткого замыкания.

Ударный коэффициент определяется так:

$$k_{\text{уд}} = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-\frac{3}{X_{\Sigma}/R_{\Sigma}}}. \quad (21)$$

Для расчётной точки К2:

$$k_{уд.к2} = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-\frac{3}{21,25/7,47}} = 1,36.$$

$$i_{уд.к2} = \sqrt{2} \cdot 1,36 \cdot 0,897 = 1,727 \text{ кА.}$$

Рассчитывается ток трехфазного короткого замыкания для точки КЗ (для среднего положения ПБВ).

Суммарное активное сопротивление:

$$R_{\Sigma} = R_{c,2} + R_{3cp}, \text{ Ом.} \quad (22)$$

$$R_{\Sigma} = 7,47 + 2,56 = 10,03 \text{ Ом.}$$

Суммарное индуктивное сопротивление [12]:

$$X_{\Sigma} = X_{C,2} + X_{3cp}, \text{ Ом.} \quad (23)$$

$$X_{\Sigma} = 21,25 + 22,97 = 44,22 \text{ Ом.}$$

Суммарное полное сопротивление [12]:

$$Z_{\Sigma} = \sqrt{R_{\Sigma}^2 + X_{\Sigma}^2}. \quad (24)$$

$$Z_{\Sigma} = \sqrt{10,03^2 + 44,22^2} = 45,34 \text{ Ом.}$$

Ток трёхфазного КЗ точке КЗ для среднего положения ПБВ, при приведении ко второй ступени напряжения, на которой находится точка КЗ (сеть 10 кВ заводского РП-10 кВ):

$$I_{к3}^{(3)} = \frac{35}{\sqrt{3} \cdot 45,34} \cdot \frac{35}{10} = 1,486 \text{ кА.}$$

Ударный коэффициент и ударный ток в точке КЗ определяется так:

$$k_{уд.кз} = 1,02 + 0,98 \cdot e^{\frac{3}{44,22/10,03}} = 1,516.$$

$$i_{уд.кз} = \sqrt{2} \cdot 1,516 \cdot 1,486 = 3,184 \text{ кА}.$$

Аналогично определены токи КЗ в расчётных точках К2, К3 и К4 в минимальном и максимальном положении устройства ПБВ.

Результаты данного расчета токов короткого замыкания и ударных токов сведены в таблицу 3.

Таблица 3 – Токи короткого замыкания и ударные токи в основных расчётных точках КЗ

Положение устройства ПБВ трансформатора РТП-35/10 кВ	Параметр	Точка КЗ		
		К2 (35 кВ)	К3 (10 кВ)	К4 (0,38 кВ)
Среднее	$I_{к(3)}$ , кА	0,897	1,486	0,408
	$i_{уд}$ , кА	1,727	3,185	0,577
Минимум	$I_{к(3)}$ , кА	0,897	1,547	0,410
	$i_{уд}$ , кА	1,727	3,284	0,580
Максимум	$I_{к(3)}$ , кА	0,897	1,476	0,407
	$i_{уд}$ , кА	1,727	3,169	0,576

Полученные результаты используются в работе далее при выборе и проверке электрических аппаратов.

Выводы по разделу.

В работе получены результаты расчёта нагрузок участков и всего объекта проектирования (завода по производству оконных конструкций).

Проведён расчёт токов трёхфазного короткого замыкания на шинах заводского РП-10 кВ в максимальном режиме при трёх положениях устройства ПБВ силового трансформатора питающего РТП-35/10 кВ.

## **4 Выбор основного оборудования**

### **4.1 Выбор и проверка трансформаторов цеховых трансформаторных подстанций**

Выбор и проверка трансформаторов для цеховых трансформаторных подстанций завода выполняются с целью обеспечения надежного и безопасного электроснабжения всех производственных участков предприятия.

Этот процесс включает в себя ряд критически важных аспектов, направленных на оптимизацию работы и увеличение срока службы электрооборудования, а также на минимизацию рисков, связанных с электроснабжением.

Цели данного расчёта и выбора трансформаторов цеховых ТП-10/0,4 кВ заключаются в выборе наиболее подходящего типа трансформаторов, которые могут эффективно справляться с нагрузками, характерными для конкретных условий эксплуатации на предприятии. Данный аспект включает определение подходящих параметров, таких как мощность, тип охлаждения, класс напряжения и прочие технические характеристики, которые должны соответствовать как существующим потребностям, так и перспективным планам развития предприятия.

Задачи процесса включают тщательную проверку технического состояния выбранных трансформаторов, в том числе их испытания на предмет соответствия нормативным требованиям и стандартам безопасности. Такие меры важны для предотвращения возможных аварий и сбоев в работе, которые могут привести к значительным производственным потерям. Кроме того, регулярный анализ эффективности работы трансформаторов позволяет оптимизировать их эксплуатацию, снижая энергопотребление и операционные расходы.

Актуальность выбора и проверки трансформаторов обусловлена растущими требованиями к энергоэффективности и надежности

промышленных предприятий. Учитывая важность непрерывности производственных процессов, правильный выбор и обслуживание трансформаторов являются ключевыми для поддержания стабильности работы всех подразделений завода. Данный аспект также включает в себя необходимость адаптации к изменениям в законодательстве и технологиях, что делает этот процесс непрерывным и динамичным, требующим регулярной оценки и обновления.

Таким образом, систематический подход к выбору и проверке трансформаторов для цеховых трансформаторных подстанций представляет собой комплексную задачу, которая требует глубоких технических знаний и стратегического планирования, обеспечивая тем самым надежное и эффективное электроснабжение на данном заводе по производству оконных конструкций.

С целью обеспечения потребителей электроэнергией с учётом необходимой категории надёжности, для электроснабжения четырёх объектов системы электроснабжения предприятия завода I категории надёжности, а также одного объекта II категориям надёжности, принимаются пять цеховых двухтрансформаторных подстанций (таблица 1).

Объекты III категории надёжности планируется также запитать от ближайших ЦТП-10/0,4 кВ (на стороне 0,4 кВ).

«Мощность трансформаторов для установки на ТП-10/0,4 кВ» [13]:

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{\sum P_p}{N\beta_T}, \quad (25)$$

где  $\sum P_p$  – «суммарная активная нагрузка объектов, кВт;

$N$  – количество трансформаторов цеховой ТП, шт.;

$\beta_m$  – «нормируемое значение коэффициента активной загрузки трансформаторов подстанции» [13].

«По условию (25) на примере ТП-1» [13]:

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{160}{2 \cdot 0,85} = 94,1 \text{ кВА.}$$

«Исходя из результатов расчёта, на ТП-1 завода рекомендованы к установке два силовых трансформатора ТМГ-100/10» [12].

«Аналогично выбраны марки и типы трансформаторов для установки на остальных ЦТП-10/0,4 кВ» [13] (таблица 4).

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

Наименование подразделения (укрупнённого модуля)	Категория надёжности	Номер ЦТП	Количество трансформаторов	$P_{\Sigma}$ , кВА
Комплекс подготовки материалов	I	ЦТП № 1	2xТМГ-100/10	160,0
Комплекс обработки материалов	I	ЦТП № 2	2xТМГ-100/10	140,0
Сборочный комплекс	I	ЦТП № 3	2xТМГ-100/10	160,0
Комплекс упаковки и контроля производства	I	ЦТП № 4	2xТМГ-100/10	60,0+35 +30 = =125
Складской комплекс	III			
Административно-бытовой комплекс	III			
Комплекс технического обеспечения производства	II	ЦТП № 5	2ТМГ-100/10	180,0
Всего по заводу	I, II, III	5	10	765,0

Конструкция и компоновка ТП-10/0,4 кВ показана в графической части работы.

#### 4.2 Расчёт нормальных и максимальных рабочих токов

Расчёт нормальных рабочих токов в системе электроснабжения завода ориентирован на определение оптимальных токовых параметров, которые обеспечивают безопасное и эффективное функционирование всех элементов электрической сети.

Этот процесс имеет центральное значение для поддержания надёжности и долговечности электрооборудования, а также для предотвращения перегрузок, которые могут привести к авариям и выходу оборудования из строя.

Цели данного расчёта включают обеспечение стабильной работы электросистемы при нормальных условиях эксплуатации и снижение риска возникновения технических сбоев. Данное условие достигается путём точного определения допустимых значений рабочих токов для каждого элемента сети, что позволяет правильно подобрать необходимые компоненты, такие как кабели и защитные устройства, соответствующие условиям эксплуатации и предъявляемым требованиям безопасности. Таким образом, задача расчёта включает анализ потребления энергии на предприятии и определение характеристик сети, которые должны соответствовать текущим и будущим операционным потребностям. Настоящий аспект предполагает оценку возможных изменений в потреблении энергии, связанных с развитием или модернизацией производственных мощностей.

Актуальность такого расчёта постоянно возрастает в связи с необходимостью повышения энергоэффективности и сокращения издержек на энергоресурсы. Оптимальное использование электрической энергии и минимизация потерь напрямую влияют на экономическую эффективность предприятия, что делает расчёт нормальных рабочих токов важной составляющей стратегии управления энергетическими ресурсами предприятия.

«Расчёт нормальных и максимальных рабочих токов» [16]:

$$I_{np} = \frac{S_{np}}{n \cdot \sqrt{3} \cdot U_{ном.}}, \quad (26)$$

где  $n$  – «количество линий, шт.»;

$S_{np}$  – мощность присоединения, кВА;

$U_{ном.}$  – напряжение присоединения, кВ» [16].

С учётом максимальной расчётной нагрузки всего завода, которая распределяется по двум линиям РП-10 кВ при питании от РТП-35/10 кВ:

$$I_{в.нр.10} = \frac{813,7}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} \approx 23,5 \text{ A.}$$

«Максимальный рабочий ток присоединений» [16]:

$$I_{нр.макс} = 1,4 \cdot I_{в.нр.10}, \text{ A.} \quad (27)$$

«Для ввода 10 кВ заводского РП-10 кВ» [16]:

$$I_{в.нр.10макс} = 1,4 \cdot 23,5 \approx 32,9 \text{ A.}$$

Аналогично рассчитаны токи остальных присоединений системы электроснабжения завода.

Результаты расчёта токов нормального и максимального режимов присоединений заводского РП-10 кВ сведены в таблицу 5.

Таблица 5 – Результаты расчёта токов нормального и максимального режимов присоединений заводского РП-10 кВ

Наименование присоединения	$S_{нр.}$ , кВА	Ток нормального режима, $I_{норм.}$ , А	Максимальный рабочий ток, $I_{макс.}$ А
Вводные и секционные присоединения			
Ввод заводского РП-10 кВ	813,7	23,5	32,9
Секционное присоединение заводского РП-10 кВ	813,7	-	32,9
Линейные присоединения			
РП-10 кВ – ЦТП-1	170,2	4,9	6,9
РП-10 кВ – ЦТП-1	148,9	4,3	6,0
РП-10 кВ – ЦТП-1	170,2	4,9	6,9
РП-10 кВ – ЦТП-1	63,8+37,2+31,9=132,9	3,8	5,4
РП-10 кВ – ЦТП-1	191,5	5,5	7,7

Результаты расчёта токов нормального и максимального режимов присоединений заводского РП-10 кВ используются далее при выборе

основного оборудования напряжением 10 кВ (электрические проводники и аппараты) для установки в системе электроснабжения завода.

### 4.3 Выбор и проверка проводников

«В работе предлагается использовать в сети 10 кВ современный тип изолированных проводников с алюминиевыми жилами с изоляцией из сшитого полиэтилена и оболочкой из полимерных композиций, не содержащих галогенов, пониженной горючести» [4] марки АПвБПнг(А)-НГ (рисунок 6).



Рисунок 6 – Кабель марки АПвБПнг(А)-НГ

Кабели марки АПвБПнг(А)-НГ представляют собой продукт, разработанный с учетом современных требований к безопасности, долговечности и экологичности в электротехнической индустрии.

Эти кабели выполнены с использованием алюминиевых проводников, что обеспечивает их легкость и снижение стоимости по сравнению с медными аналогами, при этом сохраняя необходимые электрические характеристики для передачи и распределения электроэнергии.

Изоляционный материал кабелей изготовлен на основе полимеров, не содержащих галогенов, что минимизирует выделение дыма и токсичных газов в условиях пожара, тем самым повышая уровень пожарной безопасности

объектов. Огнестойкость этих кабелей дополнительно усилена благодаря использованию покрытия, которое препятствует распространению пламени и обеспечивает возможность функционирования кабельных систем в экстремальных условиях, что критически важно для объектов с высокими требованиями к надежности электроснабжения. Таким образом, использование кабелей марки АПвБПнг(А)-HF позволяет достигнуть высокого уровня функциональной безопасности и экологической устойчивости в электроэнергетических системах различных объектов, что делает их важным элементом в современной инфраструктуре.

«По экономической плотности тока» [11]:

$$F_{\text{э}} = \frac{I_{\text{р.}}}{j_{\text{э}}}, \quad (28)$$

где « $j_{\text{э}}$  – экономическая плотность тока, А/мм<sup>2</sup>» [11].

«Проверка выбранного сечения кабеля в нормальном режиме» [11]:

$$I_{\text{доп}} \geq I_{\text{р.}}, \quad (29)$$

где « $I_{\text{доп}}$  – предельно – допустимое значение тока проводника, А» [11].

«Проверка кабеля в послеаварийном режиме работы» [11]:

$$I_{\text{доп}} \geq I_{\text{р.макс}}, \quad (30)$$

где « $I_{\text{р.макс}}$  – максимальный ток, А» [11].

«Проверка кабеля по климатическим условиям» [11]:

$$F_{\text{ст}} \geq F_{\text{мин}}, \text{ мм}^2. \quad (31)$$

Проводится выбор кабеля питающей линии 10 кВ (от шин 10 кВ РТП-35/10 кВ до шин РП-10 кВ завода):

$$F_9 = \frac{23,5}{1,4} = 16,8 \text{ мм}^2.$$

Таким образом, для данной силовой питающей кабельной линии предварительно принят силовой кабель марки АПвБПнг(А)-HF 3×25 [4].

«Условия проверки сечения питающей КЛ-10 кВ соблюдены» [11]:

$$112 \text{ А} \geq 23,5 \text{ А}.$$

$$112 \text{ А} \geq 32,9 \text{ А}.$$

$$25 \text{ мм}^2 = 25 \text{ мм}^2.$$

«Сечение КЛ остальных линий распределительной сети 10 кВ завода выбраны аналогично» [11] и представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Результаты выбора сечения кабельных линий 10 кВ

Линия	$I_p, \text{ А}$	$I_{p.max}, \text{ А}$	Марка кабеля	$I_{доп}, \text{ А}$
Питающая сеть 10 кВ				
Питающая КЛ-10 кВ (РТП-РП-10) – ввод 1	23,5	32,9	АПвБПнг(А)-HF 3×25	112
Питающая КЛ-10 кВ (РТП-РП-10) – ввод 2	23,5	32,9	АПвБПнг(А)-HF 3×25	112
Распределительная сеть 10 кВ				
РП-10 – ЦТП-1	4,9	6,9	АПвБПнг(А)-HF 3×16	94
РП-10 – ЦТП-2	4,3	6,0	АПвБПнг(А)-HF 3×16	94
РП-10 – ЦТП-3	4,9	6,9	АПвБПнг(А)-HF 3×16	94
РП-10 – ЦТП-4	3,8	5,4	АПвБПнг(А)-HF 3×16	94
РП-10 – ЦТП-5	5,5	7,7	АПвБПнг(А)-HF 3×16	94

Полученные результаты показаны в графической части работы.

#### 4.4 Выбор и проверка электрических аппаратов

В виду принятых ранее в работе схемных решений, все аппараты устанавливаются в ячейках РП-10 кВ завода.

«Для РП-10 кВ завода было принято решение использовать вакуумное комплектное распределительное устройство с выкатным элементом КРУ-ZETO-10, произведенное ЗАО «ЗЭТО»» [8].

«Конструктивное выполнение ячейки вакуумного комплектного распределительного устройства напряжением 10 кВ с выкатным элементом КРУ-ZETO-10 (ЗАО «ЗЭТО») представлено на рисунке 7» [7].



Рисунок 7– «Конструктивное выполнение ячейки вакуумного комплектного распределительного устройства напряжением 10 кВ с выкатным элементом КРУ-ZETO-10 (ЗАО «ЗЭТО»)» [7]

Исходя из выбранных типов ячеек в РП-10 кВ, также приняты решения по выбору вводных, секционных и линейных выключателей марки ВБ-10-ПЗ-ЗЕТО-31,5/2000 (вакуумные).

«Выбор выключателей по номинальному напряжению» [7]:

$$U_{уст} \leq U_n \quad (32)$$

«Выбор выключателей по максимальному рабочему току» [7]:

$$I_{раб.макс} \leq I_n \quad (33)$$

«Проверка выключателя на симметричный ток отключения» [7]:

$$I_{пт} \leq I_{откн} \quad (34)$$

«где  $I_{пт}$  – периодическая составляющая тока КЗ;

$I_{откн.н}$  – номинальный ток отключения выключателя, кА» [7].

«Проверка выключателя на отключение асимметричного тока КЗ» [15]:

$$(\sqrt{2} \cdot I_{пт} + i_{ат}) \leq \sqrt{2} \cdot I_{откн.н} (1 + \beta_n) \quad (35)$$

«где  $i_{ат}$  – значение аperiodической составляющей тока КЗ;

$\beta_n$  – номинальное значение аperiodической составляющей КЗ;

$\tau$  – наименьшее время до момента расхождения контактов» [7].

«Наименьшее время от начала КЗ до расхождения контактов» [7]:

$$t = t_{з.мин} + t_{с.в} \quad (36)$$

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

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

«Проверка на электродинамическую устойчивость» [7]:

$$i_y \leq i_{np.c}, \quad (37)$$

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

$i_y$  – ударный ток короткого замыкания в цепи выключателя» [7].

«Проверка на термическую стойкость» [7]:

$$B_k \leq I_T^2 t_T, \quad (38)$$

«где  $B_k$  – тепловой импульс,  $A^2 \cdot c$ ;

$I_T$  – ток термической устойчивости,  $A^2 \cdot c$ ;

$t_T$  – время протекания тока термической устойчивости,  $c$ » [7].

«Тепловой импульс короткого замыкания» [7]:

$$B_k = I_k^2 (t_{отк} + T_a). \quad (39)$$

«Результаты выбора выключателей высокого напряжения для установки в ячейках РП-10 кВ завода» [7] представлены в таблице 7.

Таблица 7 – «Результаты выбора выключателей высокого напряжения для установки в ячейках РП-10 кВ завода» [7]

Наименование и место установки аппарата	Условие выбора	Расчетные данные сети	Паспортные технические данные
Вводы 1 и 2, выключатели РУ-10 кВ: ВБ-10-ПЗ-ZETO-31,5/2000 (вакуумные)	$U_{сети} \leq U_{ном}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
	$I_{max} \leq I_{ном}$	$I_{max} = 32,9 \text{ А}$	$I_{ном} = 2000 \text{ А}$
	$I_{н.т} \leq I_{отк.ном}$	$I_{н.т} = 1,547 \text{ кА}$	$I_{отк.ном} = 31,5 \text{ кА}$
	$i_y \leq i_{дин}$	$i_y = 3,284 \text{ кА}$	$i_{дин} = 31,5 \text{ кА}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T = 3,284^2 \cdot 3 = 32,35 \text{ кА}^2 \text{ с}$	$B_K = 31,5^2 \cdot 3 = 2976,8 \text{ кА}^2 \text{ с}$

Продолжение таблицы 7

Наименование и место установки аппарата	Условие выбора	Расчетные данные сети	Паспортные технические данные
Секционное присоединение, выключатели РУ-10 кВ: ВБ-10-ПЗ-ZETO-31,5/2000 (вакуумные)	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ.}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ.}$
	$I_{max} \leq I_{ном.}$	$I_{max} = 32,9 \text{ А.}$	$I_{ном} = 2000 \text{ А.}$
	$I_{н.т} \leq I_{отк.ном.}$	$I_{н.т} = 1,547 \text{ кА.}$	$I_{отк.ном} = 31,5 \text{ кА.}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 3,284 \text{ кА.}$	$i_{дин.} = 31,5 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 3,284^2 \cdot 3 = 32,35 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 31,5^2 \cdot 3 = 2976,8 \text{ кА}^2\text{с.}$
Линейное присоединение (РП-10 кВ – ЦТП-1), выключатели РУ-10 кВ: ВБ-10-ПЗ-ZETO-31,5/2000 (вакуумные)	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ.}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ.}$
	$I_{max} \leq I_{ном.}$	$I_{max} = 6,9 \text{ А.}$	$I_{ном} = 2000 \text{ А.}$
	$I_{н.т} \leq I_{отк.ном.}$	$I_{н.т} = 1,547 \text{ кА.}$	$I_{отк.ном} = 31,5 \text{ кА.}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 3,284 \text{ кА.}$	$i_{дин.} = 31,5 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 3,284^2 \cdot 3 = 32,35 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 31,5^2 \cdot 3 = 2976,8 \text{ кА}^2\text{с.}$
Линейное присоединение (РП-10 кВ – ЦТП-2), выключатели РУ-10 кВ: ВБ-10-ПЗ-ZETO-31,5/2000 (вакуумные)	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ.}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ.}$
	$I_{max} \leq I_{ном.}$	$I_{max} = 6,0 \text{ А.}$	$I_{ном} = 2000 \text{ А.}$
	$I_{н.т} \leq I_{отк.ном.}$	$I_{н.т} = 1,547 \text{ кА.}$	$I_{отк.ном} = 31,5 \text{ кА.}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 3,284 \text{ кА.}$	$i_{дин.} = 31,5 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 3,284^2 \cdot 3 = 32,35 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 31,5^2 \cdot 3 = 2976,8 \text{ кА}^2\text{с.}$
Линейное присоединение (РП-10 кВ – ЦТП-3), выключатели РУ-10 кВ: ВБ-10-ПЗ-ZETO-31,5/2000 (вакуумные)	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ.}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ.}$
	$I_{max} \leq I_{ном.}$	$I_{max} = 6,9 \text{ А.}$	$I_{ном} = 2000 \text{ А.}$
	$I_{н.т} \leq I_{отк.ном.}$	$I_{н.т} = 1,547 \text{ кА.}$	$I_{отк.ном} = 31,5 \text{ кА.}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 3,284 \text{ кА.}$	$i_{дин.} = 31,5 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 3,284^2 \cdot 3 = 32,35 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 31,5^2 \cdot 3 = 2976,8 \text{ кА}^2\text{с.}$
Линейное присоединение (РП-10 кВ – ЦТП-4), выключатели РУ-10 кВ: ВБ-10-ПЗ-ZETO-31,5/2000 (вакуумные)	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ.}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ.}$
	$I_{max} \leq I_{ном.}$	$I_{max} = 5,4 \text{ А.}$	$I_{ном} = 2000 \text{ А.}$
	$I_{н.т} \leq I_{отк.ном.}$	$I_{н.т} = 1,547 \text{ кА.}$	$I_{отк.ном} = 31,5 \text{ кА.}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 3,284 \text{ кА.}$	$i_{дин.} = 31,5 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 3,284^2 \cdot 3 = 32,35 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 31,5^2 \cdot 3 = 2976,8 \text{ кА}^2\text{с.}$

Продолжение таблицы 7

Наименование и место установки аппарата	Условие выбора	Расчетные данные сети	Паспортные технические данные
Линейное присоединение (РП-10 кВ – ЦТП-1), выключатели РУ-10 кВ: ВБ-10-ПЗ-ZETO-31,5/2000 (вакуумные)	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ.}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ.}$
	$I_{max} \leq I_{ном.}$	$I_{max} = 7,7 \text{ А.}$	$I_{ном} = 2000 \text{ А.}$
	$I_{н.т} \leq I_{отк.ном.}$	$I_{н.т} = 1,547 \text{ кА.}$	$I_{отк.ном} = 31,5 \text{ кА.}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 3,284 \text{ кА.}$	$i_{дин.} = 31,5 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 3,284^2 \cdot 3 = 32,35 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 31,5^2 \cdot 3 = 2976,8 \text{ кА}^2\text{с.}$

Ограничители перенапряжения представляют собой критически важные компоненты в электроустановках, задачей которых является защита оборудования от воздействия импульсных и коммутационных перенапряжений, возникающих в результате атмосферных разрядов или переключений в сети. Устройство этих элементов базируется на принципе непосредственного ограничения величины напряжения до безопасного уровня, что достигается за счет использования нелинейных резисторов или разрядников, способных быстро реагировать на изменение электрических параметров.

Ограничители перенапряжения обеспечивают непрерывную работу и долговечность электрических устройств и систем за счет предотвращения возникновения опасно высоких напряжений, которые могут привести к пробое изоляции и выходу из строя оборудования. Роль этих устройств в электроустановках особенно значима на объектах с повышенными требованиями к надежности электроснабжения, таких как больницы, промышленные предприятия и инфраструктурные объекты, где даже кратковременное прерывание питания или повреждение оборудования может привести к серьезным финансовым потерям и угрозам безопасности.

Применение ограничителей перенапряжения охватывает широкий спектр электротехнических систем, включая распределительные сети, энергосистемы промышленных объектов и устройства связи. Эффективность

их работы напрямую зависит от правильного выбора типа и характеристик ограничителя, что требует тщательного анализа потенциальных рисков и условий эксплуатации электроустановки.

Таким образом, ограничители перенапряжения играют ключевую роль в обеспечении стабильности и безопасности функционирования современных электрических сетей, предотвращая возможные аварии и увеличивая общую эффективность электроэнергетических систем.

Результаты выбора ОПН приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Результаты выбора ОПН

Наименование и место установки аппарата	Условие выбора	Расчетные данные сети	Паспортные технические данные
РП-10 кВ: ограничители перенапряжения нелинейные типа ОПН-П-10/12,7/10/1,1 (на примере вводного присоединения)	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ.}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ.}$
	$I_{max} \leq I_{ном.}$	$I_{max} = 32,9 \text{ А.}$	$I_{ном} = 1000 \text{ А.}$
	$I_{н.т} \leq I_{отк.ном.}$	$I_{н.т} = 1,547 \text{ кА.}$	$I_{отк.ном} = 10 \text{ кА.}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 3,284 \text{ кА.}$	$i_{дин.} = 12,7 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 3,284^2 \cdot 3 =$ $= 32,35 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 12,7^2 \cdot 3 =$ $= 483,87 \text{ кА}^2\text{с.}$

Для питания устройств вторичных цепей (измерения, учёт и контроль электроэнергии, релейная защита и автоматика и прочие) используются измерительные трансформаторы тока и напряжения.

Их основной выбор осуществляется по потребляемой мощности в требуемом классе точности. «Результаты выбора и проверки трансформаторов тока для установки в ячейках РП-10 кВ завода» [7] представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Результаты выбора и проверки трансформаторов тока для установки в ячейках РП-10 кВ завода

Тип ТН	Схема ТТ	Мощность на один ТТ, ВА	Класс точности	$\frac{U_n}{U_{уст}}$ , кВ	$\frac{S_n}{S_2 \sum}$ , ВА
ТОЛ-СЭЩ-10-21	«Неполная звезда»	30	1,0	$\frac{10}{10}$	$\frac{60,0}{\leq 60,0}$

«Выбор трансформаторов напряжения» [7] представлены в таблице 10.

Таблица 10 – «Результаты выбора трансформаторов напряжения для установки в ячейках РП-10 кВ завода» [7]

Тип ТН	Кол-во ТН	Мощность на один ТН, ВА	Класс точности	$\frac{U_n}{U_{уст}}$ , кВ	$\frac{S_n}{S_2 \sum}$ , ВА
НАМИТ-10	2	100/2	1,0	$\frac{10}{10}$	$\frac{200,0}{\leq 200,0}$

Всё выбранное оборудование подходит для установки в ячейках РП-10 кВ завода по производству оконных конструкций.

#### 4.5 Выбор устройств релейной защиты

«Известно, что релейная защита и автоматика в системе электроснабжения предприятия представляют собой важный компонент, обеспечивающий безопасность, стабильность и эффективность работы электроэнергетической системы. Основная цель релейной защиты заключается в обнаружении и быстром устранении возможных неисправностей и аварийных ситуаций в электрооборудовании. Релейная защита выполняет функции обнаружения перегрузок, коротких замыканий, не допускает превышение параметров напряжения и тока за пределами допустимых значений. Она также играет важную роль в изоляции и отключении дефектных участков сети, предотвращая распространение сбоев и минимизируя возможные повреждения оборудования» [1].

«В работе предлагается принять для защиты трансформаторов питающей РТП-35/10 кВ микропроцессорный блок релейной защиты марки МІСОМ Р-632» [1] (рисунок 8).



Рисунок 8 – «Блок РЗиА марки МІСОМ Р-632 (для защиты силовых трансформаторов питающей РТП-35/10 кВ)» [1]

Блок релейной защиты марки MiCOM P632 является высокотехнологичным устройством, предназначенным для обеспечения надежной защиты силовых трансформаторов электроэнергетических систем. Оснащенный передовыми функциями цифровой обработки сигналов, MiCOM P632 способен выполнять комплексный анализ параметров сети, обеспечивая тем самым точное и быстрое срабатывание защиты в случаях нештатных ситуаций.

Отличительной особенностью данного блока является его универсальность, поскольку он адаптируется к различным типам сетевых конфигураций и может применяться как в распределительных, так и в передающих сетях.

Защита, реализуемая с помощью MiCOM P632, включает функции защиты от коротких замыканий, замыканий на землю, перегрузок и других потенциально опасных состояний, что существенно повышает безопасность эксплуатации электрооборудования и увеличивает его срок службы. Кроме того, блок обладает возможностями для интеграции в системы автоматизации

и управления электростанциями и подстанциями, что позволяет операторам в реальном времени мониторить состояние сети и оперативно реагировать на изменения.

Дополнительным преимуществом MiCOM P632 является его модульная структура, которая позволяет гибко настраивать устройство под конкретные технические нужды и требования безопасности. Это делает блок релейной защиты не только функциональным, но и экономически выгодным решением для современных энергосистем.

Таким образом, блок релейной защиты MiCOM P632 представляет собой эффективное и технологически продвинутое решение, предназначенное для повышения надежности и безопасности электроэнергетических установок, отвечая при этом современным требованиям промышленной автоматизации и энергетического менеджмента.

«Для защиты линий применяется микропроцессорный блок дифференциально-фазной защиты линий MiCOM P-547» [1] (рисунок 9).



Рисунок 9 – «Блок РЗиА марки MiCOM P-547 (для защиты линий)» [1]

Микропроцессорный блок дифференциально-фазной защиты линий MiCOM P547 представляет собой современное устройство,

специализированное для защиты высоковольтных передающих линий от различных видов электрических неисправностей.

Он интегрирует передовые технологии обработки сигналов и алгоритмы быстрого распознавания аномалий в электросети, что обеспечивает немедленное реагирование на фазные и дифференциальные токи, возникающие в случае аварий.

Это значительно снижает риск повреждения оборудования и улучшает общую стабильность системы электроснабжения.

MiCOM P547 оснащен функциями, которые позволяют ему точно идентифицировать место и характер неисправности, благодаря чему возможно оперативное устранение проблем без воздействия на неаварийные участки сети.

Благодаря гибкости в настройках, MiCOM P547 может быть адаптирован к разнообразным конфигурациям линий и специфическим условиям эксплуатации, что делает его подходящим для использования в широком спектре электроэнергетических систем, включая сложные сети с разветвленными линиями передачи.

Дополнительное преимущество блока заключается в его способности к интеграции в системы диспетчерского и автоматизированного управления, что облегчает мониторинг и управление защитными функциями в реальном времени. Это не только улучшает эффективность защиты, но и способствует повышению общей оперативности реагирования на изменения в электрической сети.

В целом, MiCOM P547 предоставляет надежную, точную и гибко настраиваемую систему защиты, способную эффективно справляться с задачами дифференциально-фазной защиты в современных электроэнергетических установках, обеспечивая тем самым высокий уровень безопасности и надежности передачи электроэнергии.

Таким образом, выбор блоков MiCOM, для применения в системе электроснабжения объекта проектирования, обоснован.

Выводы по разделу.

В работе осуществлено практическое обоснование технических решений по проектированию системы электроснабжения завода по производству оконных конструкций.

В системе электроснабжения завода по производству оконных конструкций предложено установить пять двухтрансформаторных цеховых подстанций (ЦТП) классом напряжения 10/0,4 кВ. При этом они установлены на объектах I и II категорий, требующих двух независимых источников питания. Выбраны и проверены мощности трансформаторов цеховых ТП-10/0,4 кВ, которые предназначены для питания проектируемой нагрузки. На всех ЦТП выбраны для установки по два силовых трансформатора ТМГ-100/10 (герметичных, без расширительного бака).

Проведён расчёт нормальных рабочих токов вводных, секционного и линейных присоединений РП-10 кВ завода.

Для питающей линии (от шин 10 кВ РТП-35/10 кВ до заводского РП-10 кВ) приняты силовые кабели марки АПвБПнг(А)-HF 3×25.

Для распределительной сети (от заводского РП-10 кВ до РУ-10 кВ ЦТП-10/0,4 кВ) приняты силовые кабели марки АПвБПнг(А)-HF 3×16.

В результате проведения анализа, для применения в РП-10 кВ выбрано «комплектное распределительное устройство с выкатным элементом КРУ-ZETO-10» производства ЗАО «ЗЭТО» (Великолукский завод электротехнического оборудования).

Для защиты и коммутации вводных, секционного и линейных присоединений РП-10 кВ выбраны и проверены современные вакуумные выключатели марки ВБ-10-ПЗ-ZETO-31,5/2000. Для установки в ячейках РП-10 кВ приняты трансформаторы напряжения марки НАМИТ-10. Для применения в РП-10 кВ завода выбраны и проверены ограничители перенапряжения нелинейные типа ОПН-П-10/12,7/10/1,1.

На стороне 10 кВ для применения в ячейках КРУ-10 кВ, выбраны трансформаторы тока марки ТОЛ-СЭЩ-10-21.

## 5 Выбор системы учёта и контроля электроэнергии

Далее в работе проводится разработка и выбор рациональных решений по применению информационной системы контроля и учёта электрических параметров в проектируемой системе электроснабжения завода по производству оконных конструкций.

Известно, что информационные системы контроля и учёта электрических параметров на трансформаторных подстанциях являются важной частью энергетической инфраструктуры.

Они предназначены для мониторинга, управления и обеспечения эффективной работы трансформаторных подстанций.

В результате проведения анализа по данной тематике, установлено, что информационные системы контроля и учёта электрических параметров на трансформаторных подстанциях должны включать следующие основные аспекты:

- непосредственный мониторинг электрических (напряжение, токи, мощности, нагрузки, частота сети и прочие) и неэлектрических (температура оборудования, давление в трансформаторах и прочие) параметров;
- контроль и учёт потребления электроэнергии;
- диагностика и обнаружение неисправностей в оборудовании;
- системы безопасности (пожарная безопасность, электробезопасность);
- система удаленного управления оборудованием;
- системы управления событиями, включающие автоматическое реагирование на непредвиденные события с целью минимизации времени простоя;
- удобство работы с данными;
- сетевая интеграция с другими системами для обеспечения единого управления энергетической инфраструктурой;

– энергосбережение и оптимизация, включающие мониторинг и управление энергопотреблением с целью оптимизации работы систем.

Такие информационные системы обеспечивают более надежное и эффективное управление трансформаторными подстанциями, а также помогают в предотвращении аварий и улучшении производительности энергетической системы.

Таким образом, в результате проведенного анализа наиболее перспективных современных типов АИИСКУЭ, для применения в качестве информационной системы контроля и учёта электрических параметров в проектируемой системе электроснабжения завода по производству оконных конструкций, рекомендовано использовать системы типа SCADA.

Известно, что SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) – это системы управления и сбора данных, которые играют важную роль в мониторинге, управлении и контроле электроэнергии.

Они предоставляют операторам и инженерам возможность централизованного контроля над энергетической инфраструктурой и технологическими процессами.

В контексте управления распределительной электроэнергией, SCADA системы обеспечивают выполнение всех важнейших функций, приведённых ранее.

Системы SCADA в электроэнергетике обеспечивают эффективное управление и контроль над электроэнергией во всей энергосистеме, включая питающие подстанции, что является важным элементом обеспечения надежности и эффективности её работы.

«Далее детально рассмотрены и проанализированы основные модели (марки) системы АИИСКУЭ (таблица 11), на основании чего выбрана и предложена наиболее перспективная модель АИИСКУЭ для применения на объекте исследования» [19].

Таблица 11 – «Анализ наиболее перспективных современных моделей АИИСКУЭ на основе системы SCADA для применения в качестве информационной системы контроля и учёта электрических параметров на объекте проектирования» [19]

Критерий/модель (марка) системы АИИСКУЭ, производитель	УСПД 164-01М	Меркурий 230 ART	Матрица
Применяемость для поставленной задачи работы	+	+	+
Надёжность работы системы	+	+	+
Доступность, удобство использования, поддержка ПО	+	+	-
Простота монтажа, обслуживания и ремонта	+	-	-
Применяемость с другими системами учёта и контроля энергоресурсов	+	+	+
Относительно низкая стоимость	+	+	-

Таким образом, в результате проведённого анализа наиболее перспективных современных моделей (марок) АИИСКУЭ, для применения в качестве информационной системы контроля и учёта электрических параметров в проектируемой системе электроснабжения завода по производству оконных конструкций рекомендовано использовать систему АИИСКУЭ на основе системы SCADA с использованием трёхфазного счётчика СЕ 304 с устройством сбора и передачи данных марки УСПД 164-01М отечественного производителя ТМ «Энергомера», который лучше многих аналогичных отечественных разработок [2].

Такая разработка является современной и перспективной, а также предполагает гибкость принятия решений.

Основные элементы информационной системы АИИСКУЭ типа SCADA с использованием трёхфазного счётчика СЕ 304 с устройством сбора и передачи данных марки УСПД 164-01М ТМ «Энергомера» представлены в форме таблицы 12.

Таблица 12 – Основные элементы информационной системы АИИСКУЭ типа SCADA с использованием трёхфазного счётчика СЕ 304 с устройством сбора и передачи данных марки УСПД 164-01М ТМ «Энергомера»

Наименование параметра (характеристики)	Значение параметра (характеристики)	Размерность
Измеряемая физическая величина	Электроэнергия активная потребленная, отпущенная. Электроэнергия реактивная потребленная, отпущенная. Электрическая мощность активная потребленная, отпущенная. Электрическая мощность реактивная потребленная, отпущенная	кВт·ч, квар·ч, кВт, квар
Общие характеристики АИИСКУЭ	Модель-УСПД164-01М ПО - Uspd164-01m.hex (версия 8.0) Алгоритм вычисления - CRC32	-
Напряжения основного и резервного источника питания	24 ± 2	В
Максимальная потребляемая мощность от основного или резервного источников питания	5	Вт
Интерфейсы для чтения собранных (измеренных) данных и конфигурирования УСПД	RS485, CAN, RS232	-
Интерфейсы для сбора данных со счетчиков с цифровым интерфейсом	RS485-1, RS485-2, CAN	-
Поддерживаемые протоколы для сбора данных со счетчиков с цифровым интерфейсом	ГОСТ Р МЭК 61107-2001, Modbus, CE ЗАО «Энергомера»	-
Каналообразующая аппаратура для сбора данных со счетчиков с цифровым интерфейсом	- радиомодемы CE831, CE833, ЕМВ-250 всех исполнений; - PLC модемы CE832, CE834 всех исполнений; - все счетчики с цифровым интерфейсом ЗАО «Энергомера»	-

Продолжение таблицы 12

Наименование параметра (характеристики)	Значение параметра (характеристики)	Размерность
Количество каналов учета, общее	не более 1000	-
Количество импульсных каналов учета	8	-
Количество групп учета	4	-
Абсолютная погрешность измерения текущего времени (без воздействия внешней синхронизации)	не более $\pm 3$	с/сутки
Средняя наработка до отказа, не менее	100000	ч

Таким образом, выбор данной АИИСКУЭ для применения на объекте проектирования обоснован.

Выводы по разделу.

В результате проведённого анализа наиболее перспективных современных моделей (марок) АИИСКУЭ, для применения в качестве информационной системы контроля и учёта электрических параметров в проектируемой системе электроснабжения завода по производству оконных конструкций рекомендовано использовать систему АИИСКУЭ на основе системы SCADA с использованием трёхфазного счётчика СЕ 304 с устройством сбора и передачи данных марки УСПД 164-01М отечественного производителя ТМ «Энергомера», который лучше многих аналогичных отечественных разработок.

## Заключение

В работе осуществлено проектирование системы электроснабжения завода по производству оконных конструкций.

Рассмотрен состав и характеристики производственных и вспомогательных подразделений предприятия с приведением данных по номинальным установленным параметрам (напряжению, мощности и фазности).

Для достижения поставленной цели, при разработке проекта системы электроснабжения завода по производству оконных конструкций, в работе проведено решение следующих практических мероприятий:

- выбор схемных решений;
- расчёт нагрузок и токов короткого замыкания;
- выбор основного оборудования;
- выбор системы учёта и контроля электроэнергии.

Приведены технические данные максимальных проектных нагрузок подразделений завода по производству оконных конструкций.

Установлено, что все потребители проектируемой системы электроснабжения завода (за исключением освещения) – трёхфазные, они работают на номинальном напряжении 0,38 кВ.

Также установлено, что завод относится к предприятиям со средней нагрузкой.

На основании систематизации технических данных объекта проектирования, а также анализа современных норм технологического проектирования установлено, что наиболее рациональным вариантом питания объекта проектирования является питание от заводского РП-10 кВ, получающего питание от РТП-35/10 кВ энергосистемы.

В свою очередь, от РП-10 кВ питаются ЦТП-10/0,4 кВ.

При этом на всех уровнях и подсистемах схемы применяются два независимых ввода.

Получены результаты расчёта нагрузок участков и всего объекта проектирования (завода по производству оконных конструкций).

Проведён расчёт токов трёхфазного короткого замыкания на шинах заводского РП-10 кВ в максимальном режиме при трёх положениях устройства ПБВ силового трансформатора питающего РТП-35/10 кВ.

В системе электроснабжения завода по производству оконных конструкций предложено установить пять двухтрансформаторных цеховых подстанций (ЦТП) классом напряжения 10/0,4 кВ. При этом они установлены на объектах I и II категорий, требующих двух независимых источников питания.

Выбраны и проверены мощности трансформаторов цеховых ТП-10/0,4 кВ, которые предназначены для питания проектируемой нагрузки. На всех ЦТП-10/0,4 кВ выбраны для установки по два силовых трансформатора ТМГ-100/10 (герметичных, без расширительного бака).

Для питающей линии (от шин 10 кВ РТП-35/10 кВ до заводского РП-10 кВ) приняты силовые кабели марки АПвБПнг(А)-НГ 3×25.

Для распределительной сети (от заводского РП-10 кВ до РУ-10 кВ ЦТП-10/0,4 кВ) приняты силовые кабели марки АПвБПнг(А)-НГ 3×16.

Для защиты и коммутации вводных, секционного и линейных присоединений РП-10 кВ выбраны и проверены современные вакуумные выключатели марки ВБ-10-ПЗ-ЗЕТО-31,5/2000.

Для установки в ячейках РП-10 кВ приняты трансформаторы напряжения марки НАМИТ-10 и ОПН-П-10/12,7/10/1,1.

В качестве информационной системы контроля и учёта электрических параметров в проектируемой системе электроснабжения завода по производству оконных конструкций рекомендовано использовать систему АИИСКУЭ на основе системы SCADA с использованием трёхфазного счётчика СЕ 304 с устройством сбора и передачи данных марки УСПД 164-01М отечественного производителя ТМ «Энергомера», который лучше многих аналогичных отечественных разработок.

## Список используемых источников

1. Агафонов А.И., Бростилова Т. Ю., Джазовский Н. Б. Современная релейная защита и автоматика электроэнергетических систем: учебное пособие. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Инфра-Инженерия, 2020. 300 с.
2. АИИСКУЭ промышленные ЭНЕРГОМЕРА. [Электронный ресурс]: URL: <https://energomera.nt-rt.ru/catalog/askue-promyslennye> (дата обращения: 18.02.2024).
3. ГОСТ Р 59279-2020 «Схемы принципиальные электрические распределительных устройств от 35 до 750 кВ подстанций». [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200177281> (дата обращения: 18.02.2024).
4. Кабель АПвБПнг(А)-HF [Электронный ресурс]: URL: [https://k-  
ps.ru/spravochnik/kabeli-silovye/s-izolyacziej-iz-sshitogo-polietilena-  
10kv/apvbpng\(a\)-hf-10kv/](https://k-<br/>ps.ru/spravochnik/kabeli-silovye/s-izolyacziej-iz-sshitogo-polietilena-<br/>10kv/apvbpng(a)-hf-10kv/) (дата обращения: 18.02.2024).
5. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов. М.: Академия, 2021. 400 с.
6. Куксин А.В. Электроснабжение промышленных предприятий. Учебное пособие. М.: Инфра-Инженерия, 2021. 156 с.
7. Немировский А.Е. Электрооборудование электрических сетей, станций и подстанций. М.: Инфра-Инженерия, 2020. 174 с.
8. Оборудование ЗАО «ЗЭТО». Каталог. [Электронный ресурс]: URL: [https://zeto.ru/products\\_and\\_services/catalog/](https://zeto.ru/products_and_services/catalog/) (дата обращения: 18.02.2024).
9. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок (Приказ от 15 декабря 2020 г. № 903н / Приказ от 29 апреля 2022 г. № 279н). Изд-во Мини-Тайп, 2023. 216 с.
10. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. Изд-во ДЕАН, 2022. 192 с.
11. Правила устройства электроустановок. 7-е издание. Изд-во ЦентрМаг, 2022. 584 с.

12. РД 153-34.0-20.527-98 «Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования» [Электронный ресурс]: URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294817/4294817179.htm> (дата обращения: 18.02.2024).

13. Сибикин Ю.Д. Пособие к курсовому и дипломному проектированию электроснабжения промышленных, сельскохозяйственных и городских объектов. Учебное пособие. М.: Форум, 2021. 383 с.

14. Сибикин Ю.Д. Электроснабжение промышленных и гражданских зданий. Учебное пособие. М.: Форум, Инфра-М, 2022. 406 с.

15. Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий и установок. Изд-во Директ-Медиа, 2020. 463 с.

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

17. Технологическая карта производства ПВХ конструкций [Электронный ресурс]: URL: <https://allprofile.ru/stati/125> (дата обращения: 18.02.2024).

18. Федеральный закон от 23.11.2009 № 261-ФЗ (ред. от 29.07.2017) «Об энергосбережении, повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».

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

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