

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 Модернизация системы электроснабжения завода по производству осветительного оборудования

Обучающийся

И. С. Бобов

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., И. В. Горохов

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

Тольятти 2023

## Аннотация

В работе осуществлена модернизация силового оборудования, а также оборудования системы релейной защиты и автоматики завода по производству осветительного оборудования (на примере АО «РАТЕП»).

Проведён анализ исходных данных, включающий анализ сведений по технологии производства осветительного оборудования на объекте проектирования, а также анализ данных нагрузок основных технологических подразделений системы электроснабжения завода по производству осветительного оборудования.

Приведён перечень основных сведений и положений нормативных документов, необходимых для модернизации систем электроснабжения промышленных предприятий, к которым также относится объект исследования в работе. На основании анализа последних, с учётом исходных технических и технологических условий завода по производству осветительного оборудования, разработан комплекс рекомендаций по обеспечению качественных и рациональных мероприятий по модернизации системы электроснабжения объекта.

Осуществлены выбор и проверка основных технических решений в электрической части завода по производству осветительного оборудования, включая выбор основного электрооборудования (силовых трансформаторов главной понизительной и цеховых подстанций, электрических аппаратов), а также сечения электрических сетей всех классов напряжения, схем и типов релейной защиты главной понизительной подстанции объекта проектирования (на примере АО «РАТЕП»).

Расчётно-пояснительная записка работы состоит из введения, трёх основных разделов, заключения, список используемых источников из 20 наименований. Она содержит 73 печатные страницы и выполнена в приложении «Microsoft Word» с использованием для визуализации данных анализа и полученных результатов 9 таблиц и 5 рисунков.

## Содержание

Введение .....	4
1 Анализ исходных данных на выполнение работы .....	7
1.1 Характеристика технологического процесса завода по производству осветительного оборудования .....	7
1.2 Характеристика технологических объектов и оборудования завода по производству осветительного оборудования.....	10
1.3 Обоснование модернизации системы электроснабжения завода по производству осветительного оборудования.....	15
2 Модернизации силовой части системы электроснабжения завода по производству осветительного оборудования.....	20
2.1 Расчёт электрических нагрузок .....	20
2.2 Проверка силовых трансформаторов главной понизительной подстанции завода на допустимую перегрузку .....	29
2.3 Проверка трансформаторов на цеховых трансформаторных подстанциях.....	32
2.4 Выбор и проверка проводников .....	35
2.5 Расчёт токов короткого замыкания .....	41
2.6 Выбор новых электрических аппаратов в системе электроснабжения завода .....	50
3 Модернизация системы релейной защиты и автоматики завода по производству осветительного оборудования.....	57
3.1 Выбор основных типов релейной защиты и автоматики завода .....	57
3.2 Расчёт уставок релейной защиты силовых трансформаторов и линейных присоединений.....	60
Заключение .....	68
Список используемых источников.....	72

## Введение

Развитие промышленного производства осветительного оборудования в Российской Федерации представляет собой многогранный процесс, охватывающий технические, экономические, экологические и социальные аспекты. Известно, что с увеличением числа ввода в эксплуатацию новых промышленных и гражданских объектов, а также в связи с реконструкцией и модернизацией существующих объектов данного типа, с учётом повышения качества жизни населения, растёт потребительский спрос на качественное современное энергоэффективное осветительное оборудование.

Исходя из этого, российские компании активно работают над внедрением современных технологий в производство осветительного оборудования, включая такие современные направления в данной сфере, как светодиодные технологии, интеллектуальные системы управления системами освещения и другие инновации. При этом в последние годы рынок сбыта российских компаний на рынке осветительного оборудования заметно изменился, что связано с политическими и экономическими причинами.

Однако современный мировой рынок осветительного оборудования насыщен продукцией от мировых лидеров, что делает сложным конкуренцию с ними в аспектах качества, цены и технологического уровня. Следовательно, выход из сложившейся ситуации заключается в модернизации и реконструкции оборудования и технологического процесса производства продукции, с учётом снижения пошлин на экспорт и удешевления стоимости товара за счёт энергосбережения и рационального использования технологического процесса на всех уровнях.

Одним из аспектов, способствующих решению данной проблемы, является рациональное использование энергоресурсов и уменьшения расходов на обслуживание системы электроснабжения производства. В области электроэнергетики, этого можно достичь за счёт частичной и полной модернизации оборудования, в частности, в распределительных устройствах

питающих подстанций и распределительных пунктов.

Известно, что за счёт применения современного энергосберегающего оборудования, достигается значительная экономия денежных средств на его монтаж, ремонт и обслуживание, снижается риск аварий в энергосистеме предприятия, а также повышаются показатели надёжности и безопасности.

Таким образом, внедрение современного оборудования в сетях промышленных предприятий по производству осветительного оборудования является актуальной задачей, регламентированной требованиями и положениями [2]. Данные аспекты формируют практическую ценность работы и обуславливают её актуальность.

Основной целью работы является модернизация силового оборудования, а также оборудования системы релейной защиты и автоматики, в системе электроснабжения завода по производству осветительного оборудования (на примере АО «РАТЕП»). Для достижения поставленной основной цели работы, необходимо провести решение основных задач:

- провести анализ исходных данных, включающий анализ сведений по технологии производства осветительного оборудования на объекте проектирования, а также анализ данных нагрузок основных технологических подразделений системы электроснабжения завода по производству осветительного оборудования (на примере АО «РАТЕП»);
- привести перечень основных сведений и положений нормативных документов, необходимых для модернизации систем электроснабжения промышленных предприятий, к которым также относится объект исследования в работе. На основании анализа последних, с учётом исходных технических и технологических условий завода по производству осветительного оборудования, разработать и предложить комплекс рекомендаций по обеспечению качественных и рациональных мероприятий по модернизации системы электроснабжения объекта (на примере АО «РАТЕП»);

- осуществить выбор и проверку основных технических решений по модернизации электрической силовой части завода по производству осветительного оборудования, включая выбор нового основного электрооборудования (силовых трансформаторов главной понизительной и цеховых подстанций, электрических аппаратов), а также сечения электрических сетей всех классов напряжения в системе электроснабжения объекта (на примере АО «РАТЕП»);
- осуществить выбор и проверку основных технических решений по модернизации электрической части системы релейной защиты и автоматики завода по производству осветительного оборудования, включая выбор схем и типов релейной защиты главной понизительной подстанции объекта проектирования (на примере АО «РАТЕП»).

Таким образом, исходя из основной цели работы, с учётом перечня основных задач, требующие решения, определены объект и предмет исследования:

- объектом исследования в работе является система электроснабжения завода по производству осветительного оборудования;
- предметом исследования в работе являются, с одной стороны, электрическое оборудование силовой части и системы релейной защиты объекта исследования, а с другой – показатели, характеризующие параметры надёжности, безопасности, экономичности и прочих аналогичных нормативных параметров модернизируемой системы электроснабжения завода по производству осветительного оборудования.

Решение основных поставленных задач в работе необходимо проводить с практическим внедрением современных требований нормативных документов и инновационных разработок в сфере схемных решений и электротехнического оборудования на объекте исследования.

## **1 Анализ исходных данных на выполнение работы**

### **1.1 Характеристика технологического процесса завода по производству осветительного оборудования**

В работе рассматривается модернизация силового оборудования, а также оборудования системы релейной защиты и автоматики, в системе электроснабжения завода по производству осветительного оборудования (на примере АО «РАТЕП»).

Исходя из основной цели работы, с учётом поставленных задач, на первом этапе необходимо привести характеристику технологического процесса завода по производству осветительного оборудования.

В работе приводится характеристика завода по производству осветительного оборудования на примере АО «РАТЕП», выпускающем новейшие светодиодные светильники, которые находят широкое применение как в промышленных, так и в бытовых целях.

АО «РАТЕП» выпускает осветительную продукцию, начиная с 1938 года [1].

С 2010 года на предприятии проведена модернизация производственных мощностей, с закупкой современного оборудования для производства новейших светодиодных светильников, которые выпускаются на данном предприятии уже более 12 лет.

АО «РАТЕП» относится к предприятиям средней производственной мощности. По состоянию на 2023 год, на предприятии работают около 2500 сотрудников.

АО «РАТЕП» территориально находится в Московской области, в г. Серпухов, на ул. Дзержинского, 11.

Территориальное расположение завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП», который рассматривается в работе, представлено на рисунке 1.

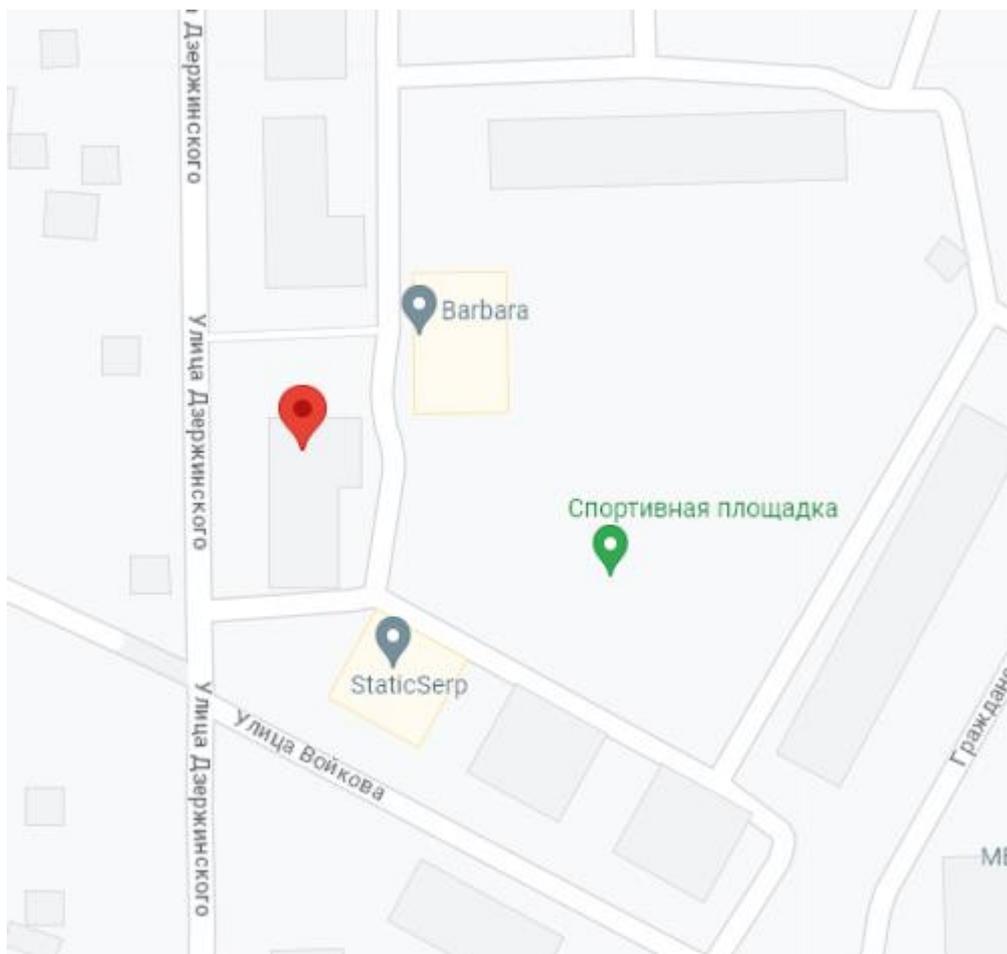


Рисунок 1 – Территориальное расположение завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП»

На первом этапе необходимо привести краткую характеристику технологического процесса и технических условий завода по производству осветительного оборудования на АО «РАТЕП».

Как было указано ранее, АО «РАТЕП» специализируется на производстве новейших светодиодных светильников.

Производство светодиодных светильников на АО «РАТЕП» включает в себя несколько основных этапов:

- первый этап – подготовка компонентов и материалов, необходимых для производства светодиодных светильников. Включает в себя изготовление светодиодов, а также радиаторов, корпусов и прочих необходимых компонентов светодиодных светильников. Изготовление светодиодов начинается с создания кристалла полупроводника, которые затем формируются в чипы, являющиеся

- основой для светодиодов. Помимо светодиодов, для светильников также необходимы резисторы, конденсаторы, платы, провода и другие электронные компоненты. Также для мощных светодиодных светильников требуются дополнительные специальные радиаторы для отвода тепла, которое выделяется при работе светильников. Большую часть указанного оборудования изготавливают на заводе;
- на втором этапе предусматривается непосредственный монтаж и сборка светодиодных светильников. Основные операции, которые производятся на данном этапе, предусматривают установку светодиодов на плату с помощью автоматических монтажных линий, подключение электронных компонентов и сборка полной электрической схемы светодиодных светильников, монтаж собранной схемы в корпус, проверка и тестирование собранной готовой продукции;
  - третий (заключительный) этап предусматривает упаковку и маркировку готовой продукции. При этом готовые светодиодные светильники упаковываются в соответствующую упаковку, которая обеспечивает герметичность и защиту от повреждений во время транспортировки. После упаковки светильников, проставляется соответствующая маркировка с информацией о характеристиках и технических параметрах светильника, его производителе, а также другие необходимые данные.

Каждый из перечисленных производственных этапов на АО «РАТЕП» требует внимательности, высокой квалификации сотрудников и соответствия стандартам качества, чтобы обеспечить производство надежных и эффективных светодиодных светильников.

Технологическая схема основного производства светодиодных светильников на АО «РАТЕП» представлена на рисунке 2.

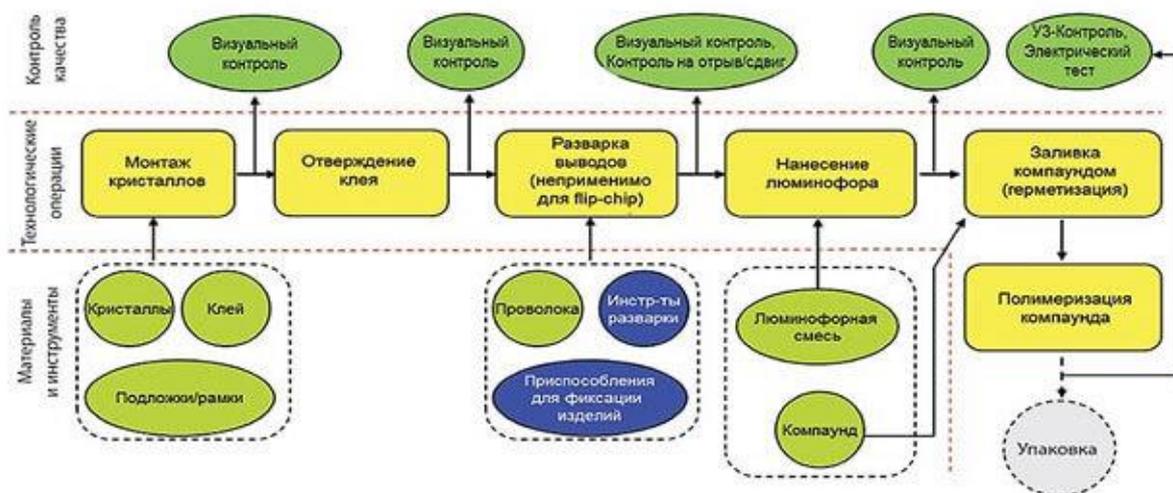


Рисунок 2 – Технологическая схема основного производства светодиодных светильников на АО «РАТЕП»

После этого, производственные этапы для светодиодных светильников на АО «РАТЕП» завершаются, и готовая продукция отправляется на склады или непосредственно к заказчикам.

Приведённая информация используется далее в работе.

## 1.2 Характеристика технологических объектов и оборудования завода по производству осветительного оборудования

Как было указано ранее, по потребляемой электрической мощности АО «РАТЕП» относится к средним производственным предприятиям.

Для электроснабжения всех потребителей на заводе по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП» есть главная понизительная подстанция 35/10 кВ (далее – ГПП-35/10 кВ).

Питание подстанции ГПП-35/10 кВ завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП» осуществляется от энергосистемы Московской области воздушной линией электропередачи напряжением 35 кВ (провод АС-120/19). Данная линия неоднократно проходила реконструкцию, обусловленную авариями вследствие обрыва проводов и разрушения устаревших опор.

Данная линия 35 кВ питает два силовых трансформатора марки ТМН-10000/35, установленных на ГПП-35/10 кВ завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП».

На ГПП-35/10 кВ завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП» есть следующие распределительные устройства:

- открытое распределительное устройство 35 кВ (далее – ОРУ-35 кВ) – выполнено по схеме радиального питания с ремонтной перемычкой (схема «4Н»);
- закрытое распределительное устройство 10 кВ (далее – ЗРУ-10 кВ) – выполнено по радиальной схеме с резервированием секционным выключателем.

При этом, в ОРУ-35 кВ и ЗРУ-10 кВ ГПП-35/10 кВ завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП» предусмотрено раздельное питание потребителей с учётом их резервирования, что соответствует требованиям [11].

«В ОРУ-35 кВ ГПП-35/10 кВ завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП» установлено следующее основное силовое оборудование (графический лист 2):

- масляные баковые выключатели марки МКП-35Б-20-630/1000-У1 – всего в схеме предусмотрено два вводных выключателя (оба в нормальном режиме оперативной схемы включены)» [3];
- разъединители марки РЛНДЗ-2 - 35/600 У1 – всего в схеме ОРУ-35 кВ подстанции предусмотрено шесть разъединителей, которые установлены на линиях в блоках «выключатель-разъединитель» (по одному на каждой линии – до выключателя и по одному – после выключателя, а также два разъединителя в ремонтной перемычке).

Таким образом, в результате проведения анализа установлено, что в ОРУ-35 кВ ГПП-35/10 кВ завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП», установленные в исходной схеме выключатели высокого напряжения и разъединители являются полностью технически

устаревшим оборудованием, которое введено в эксплуатацию в конце семидесятых – начале восьмидесятых годов прошлого века, следовательно, они не подлежат частичной модернизации и требуют полной замены на современные типы соответствующего оборудования.

«Кроме основного силового оборудования, в ОРУ-35 кВ ГПП-35/10 кВ завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП», также установлено следующее оборудование для питания вторичных цепей и защиты от атмосферных перенапряжений (графический лист 2)» [6]:

- измерительные трансформаторы тока марки ТГФМ-35-У3/300 – 6 единиц (схема полной звезды, 2 присоединения);
- ограничители перенапряжения ОПН-35-У3-300.

Данные аппараты – новые и современные, по состоянию на 2023 год их техническое состояние – удовлетворительное, поэтому они в модернизации не нуждаются.

В ЗРУ-10 кВ ГПП-35/10 кВ завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП» установлено следующее основное силовое оборудование (графический лист 2):

- устаревшие масляные горшковые выключатели марки ВМПЭ-10/630 и ВМПЭ-10/1000 – всего в схеме предусмотрено два вводных выключателя (оба в нормальном режиме оперативной схемы включены), один секционный выключатель, а также шестнадцать линейных выключателей;
- измерительные трансформаторы напряжения марки НТМИ-10-66 – две единицы (по одному на каждой секции шин 10 кВ);
- измерительные трансформаторы тока марки ТПК-10 У3 – на каждом присоединении установлено по два трансформатора тока, схема – «неполной звезды»;
- ограничители перенапряжения ОПН-10 УХЛ1 – для защиты вводов и трансформаторов напряжения от недопустимых внутренних перенапряжений в ЗРУ-10 кВ.

Из перечисленных аппаратов ЗРУ-10 кВ ГПП-35/10 кВ завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП», устаревшими являются только горшковые высоковольтные выключатели.

Все остальные аппараты ЗРУ-10 кВ ГПП-35/10 кВ завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП» – новые и современные, по состоянию на 2023 год их техническое состояние – удовлетворительное, поэтому они в модернизации не нуждаются.

Кроме того, установлено, что для релейной защиты ГПП-35/10 кВ завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП» применяются устаревшие типы индукционных реле марки РТ-40 и РТ-80. Они также должны быть модернизированы с полной заменой системы релейной защиты на современный тип.

От шин 10 кВ ГПП-35/10 кВ завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП» получают питание пять трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ, питающие, в свою очередь, потребители производственных и вспомогательных структурных подразделений предприятия.

На всех понизительных подстанциях 10/0,4 кВ завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП» установлено по два трансформатора марки ТМ.

Их также следует проверить на условие допустимой перегрузки в работе далее.

На предприятии есть одиннадцать производственных и вспомогательных структурных подразделений завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП».

Исходные технические данные потребителей производственных и вспомогательных структурных подразделений завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП» представлены в работе в форме исходной таблицы 1.

Таблица 1 – Исходные технические данные потребителей производственных и вспомогательных структурных подразделений завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП»

Наименование структурного подразделения завода	Категория надёжности потребителей	Максимальная потребляемая мощность, $P_{np}$ , кВт
Цех производства осветительной арматуры	I	590
Цех производства светодиодов	I	1000
Цех сборки светильников	I	390
Цех упаковки и маркировки готовой продукции	I	190
Лаборатория контроля качества	II	660
Участок ремонта и обслуживания оборудования	III	930
Пункт приёма и обработки первичного сырья	II	200
Административное здание	III	150
Торгово-выставочный комплекс	III	83
Склады	III	70
Насосная: а) 0,4 кВ б) АД 10 кВ	II	40 2×400=800
Итого по заводу		5103

Из данных таблицы 1 можно сделать выводы, что на территории завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП» расположены четыре структурных подразделения, относящиеся к I категории надёжности и составляющие основное производство, три подразделения – II категории надёжности (вспомогательное производство), и четыре подразделения – III категории надёжности (непроизводственные подразделения).

Установлено также, что нагрузка отдельных производственных и вспомогательных структурных подразделений завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП» варьируется в широком диапазоне (от 40 кВт до 1000 кВт), что предусматривает отдельный комплексный подход к выбору схемы системы электроснабжения объекта и проверке правильности принятых решений по модернизации оборудования.

План расположения производственных и вспомогательных структурных подразделений завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП», представленных в таблице 1, на территории данного предприятия, представлен на графическом листе 1.

### **1.3 Обоснование модернизации системы электроснабжения завода по производству осветительного оборудования**

В результате проведения анализа, представлены основные требования, которые должны быть применимы к системам электроснабжения завода по производству осветительного оборудования [16]:

- высокая надежность и безотказность передачи электроэнергии: включает в себя обеспечение надёжного и гарантированного электроснабжения, при этом система должна быть спроектирована таким образом, чтобы обеспечивать непрерывное электроснабжение важных производственных объектов и технологических процессов завода по производству осветительного оборудования;
- надёжная система резервирования: обеспечение условий аварийного электроснабжения важнейших объектов согласно их категории надёжности. Для потребителей 1 и 2 категории при этом необходимо применение двух независимых источников питания от энергосистемы. Помимо них, потребители особой группы надёжности требуют также наличие резервных источников питания (дизель-генераторы, батареи) для обеспечения электроэнергией в случае отключения основного и резервного источника энергосистемы;
- соблюдение требований по электробезопасности: применение соответствующих защитных устройств, маркировок и обучение персонала по правилам работы с электрооборудованием с последующей периодической проверкой знаний;
- рациональная и надёжная защита от перегрузок и коротких замыканий, а также от прочих ненормальных режимов: системы электроснабжения завода по производству осветительного оборудования требуют применения современных средств защиты для предотвращения повреждения оборудования и минимизации времени простоя в случае аварийных ситуаций;

- оптимизация нагрузки: расчёт мощности завода по производству осветительного оборудования необходимо проводить с учетом эффективного распределения нагрузки с целью рационального распределения мощностей на объектах, а также минимизации потерь электроэнергии. Также требуется учёт распределения и балансировки нагрузки, так как равномерное распределение нагрузки между различными фазами и оборудованием приводит к значительному уменьшению аварий и минимизации искажений параметров электроэнергии в системе электроснабжения завода по производству осветительного оборудования;
- использование энергосберегающего оборудования: применение оборудования с высокой энергоэффективностью для снижения потребления электроэнергии, способно значительно снизить энергопотребление и привести к значительной экономии ресурсов на всех уровнях производственного цикла завода по производству осветительного оборудования;
- применение автоматического управления и мониторинга параметров электрической сети: применение систем автоматизации для контроля и управления работой системы электроснабжения завода по производству осветительного оборудования способен мгновенно локализовать аварии в системе, повысить точность учёта потребления электроэнергии с её мониторингом, а также снизить потери электроэнергии в сетях и оборудовании;
- внедрение параметров оборудования, обладающих гибкостью и масштабируемостью: состоит в проектировании системы электроснабжения завода по производству осветительного оборудования таким образом, чтобы она могла быть легко модернизирована или расширена в будущем. Данный аспект включает применение современных решений по модульным подстанциям,

элегазовому оборудованию и комплектным устройствам распределения электроэнергии;

- использование системы защиты персонала и оборудования от повреждений (заземление, экранирование, зануление, защитное отключение): такие системы должны быть организована согласно нормативам для обеспечения безопасности персонала.

Также при модернизации систем электроснабжения завода по производству осветительного оборудования требуется учесть особенности производства, проводя проектирование с учетом конкретных потребностей и характеристик, а также особенностей его технологического процесса.

На основании данных технических выкладок, а также учитывая проведенный анализ схемы и оборудования завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП», предлагаются следующие мероприятия по модернизации его оборудования системы электроснабжения:

- замена на ГПП-35/10 кВ завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП», устаревшего провода питающей линии 35 кВ марки АС-120/19, на соответствующую марку инновационного провода;
- замена в ОРУ-35 кВ ГПП-35/10 кВ завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП», устаревших выключателей и разъединителей, на соответствующие марки инновационного оборудования;
- замена в ЗРУ-10 кВ ГПП-35/10 кВ завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП», устаревших выключателей на соответствующие марки инновационного оборудования;
- замена системы РЗиА ГПП-35/10 кВ завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП», с выбором современных инновационных микропроцессорных блоков релейной защиты и автоматики.

Выводы по разделу.

Проведён анализ исходных данных, включающий анализ сведений по технологии производства на заводе по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП».

Приведены основные данные по объекту исследования – заводу по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП».

Детально рассмотрена исходная схема электроснабжения завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП», проведён анализ состояния его оборудования на 2023 год.

Определено, что на территории завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП» расположены четыре структурных подразделения, относящиеся к I категории надёжности и составляющие основное производство, три подразделения – II категории надёжности (вспомогательное производство), и четыре подразделения – III категории надёжности (непроизводственные подразделения).

Установлено, что нагрузка отдельных производственных и вспомогательных структурных подразделений завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП» варьируется в широком диапазоне (от 40 кВт до 1000 кВт), что предусматривает отдельный комплексный подход к выбору схемы системы электроснабжения объекта и проверке правильности принятых решений по модернизации оборудования объекта исследования.

На основании анализа исходных данных, учитывая проведённый анализ схемы и оборудования завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП», в работе предлагается следующие мероприятия по модернизации его оборудования системы электроснабжения:

- замена на ГПП-35/10 кВ завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП», устаревшего провода питающей линии 35 кВ марки АС-120/19, на соответствующую марку инновационного провода;

- замена в ОРУ-35 кВ ГПП-35/10 кВ завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП», устаревших выключателей и разъединителей, на соответствующие марки инновационного оборудования;
- замена в ЗРУ-10 кВ ГПП-35/10 кВ завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП», устаревших выключателей на соответствующие марки инновационного оборудования;
- замена системы РЗиА ГПП-35/10 кВ завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП», с выбором современных инновационных микропроцессорных блоков релейной защиты и автоматики.

Данные мероприятия планируется внедрить в работе далее, с детальной проверкой принятых решений.

Также в работе предполагается провести проверку силовых трансформаторов ГПП-35/10 кВ и цеховых ТП-10/0,4 кВ, а также сечения кабельных линий 10 кВ объекта исследования, не нуждающихся в модернизации, на соответствие расчётным условиям сети.

На основании приведённой информации, далее в работе осуществляется решение основных поставленных задач по модернизации оборудования системы электроснабжения завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП».

## **2 Модернизации силовой части системы электроснабжения завода по производству осветительного оборудования**

### **2.1 Расчёт электрических нагрузок**

Далее в работе необходимо провести расчёт электрических нагрузок электрической части модернизируемой системы электроснабжения завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП».

Очевидно, что расчёт электрических нагрузок модернизируемой системы электроснабжения завода по производству осветительного оборудования на примере АО «РАТЕП» является важной задачей, решение которой позволяет определить, какое количество электроэнергии может быть передано через питающие и распределительные подстанции системы электроснабжения завода по производству осветительного оборудования без нарушения стабильности работы последней.

Основной целью такого расчёта является обеспечение надёжной и безопасной работы не только модернизируемой системы электроснабжения завода по производству осветительного оборудования, но и всей электроэнергетической инфраструктуры в целом [2].

Задачи расчёта модернизируемой системы электроснабжения завода по производству осветительного оборудования включают следующие аспекты [8]:

- сбор исходных данных. На первом этапе необходимо собрать информацию о всех потребителях, получающих питание от модернизируемой системы электроснабжения завода по производству осветительного оборудования, и определить их энергопотребление, включая как текущее потребление, так и прогнозируемый рост нагрузок;
- определение характера нагрузок: на данном этапе проводится систематизация собранного материала. Известно, что электрические

нагрузки могут быть различными по характеру: активными (потребление активной мощности), реактивными (потребление реактивной мощности) и комбинированными (смешанными). Известно, что определение характера нагрузок важно для правильного расчёта;

- непосредственное определение максимальной мощности нагрузки модернизируемой системы электроснабжения завода по производству осветительного оборудования: с учётом текущих и будущих нагрузок, а также с учётом моментов пикового спроса, необходимо расчётным путём определить максимальную активную и реактивную мощность, которая может быть передана через систему электроснабжения завода по производству осветительного оборудования;
- проверочный расчёт допустимых перегрузок: известно, что электрическое оборудование и сети модернизируемой системы электроснабжения завода по производству осветительного оборудования могут работать в режиме перегрузки определённое время, но данный процесс должен быть ограничен и контролируем. Проверочный расчёт должен определить, насколько допустимы послеаварийные перегрузки (с учётом резервирования) и как долго они могут продолжаться.

Таким образом, основными задачами расчёта максимальных электрических нагрузок модернизируемой системы электроснабжения завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП» является обеспечение стабильной и надёжной работы всей электроэнергетической системы, минимизация рисков перегрузок и аварий, а также оптимизация использования энергоресурсов с учётом обеспечения надёжного и стабильного резерва.

Расчёт нагрузок на всех уровнях модернизируемой системы электроснабжения завода по производству осветительного оборудования выполняется с учётом коэффициента спроса [8].

«Расчетная активная нагрузка силовых электроприёмников соответствующего цеха (участка) модернизируемой системы электроснабжения завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП», квар» [6]:

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

$$P_{p.} = P_n, \quad (2)$$

где  $P_n$  – «значение суммарной номинальной активной мощности цеха (участка) модернизируемой системы электроснабжения завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП», кВт» [8];  $K_c$  – «справочное значение коэффициента спроса цеха(участка) модернизируемой системы электроснабжения завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП»» [8].

«Расчетная реактивная нагрузка силовых электроприёмников соответствующего цеха (участка) модернизируемой системы электроснабжения завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП», квар» [6]:

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

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

«Принимается в зависимости от степени компенсации реактивной нагрузки по справочным данным. Соответствует стандартному значению  $\cos\varphi$ » [16].

«В работе, помимо силовой расчётной нагрузки объекта, также необходимо провести расчёты осветительной нагрузки модернизируемой системы электроснабжения завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП», исходя из площади, которая подлежит освещению» [8].

«Расчётная нагрузка осветительных приёмников соответствующего цеха (участка) модернизируемой системы электроснабжения завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП», кВт» [1]:

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

где « $K_{c.o}$  – справочный коэффициент спроса приемников освещения соответствующего цеха (участка) проектируемого модернизируемой системы электроснабжения завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП»» [4];  
« $P_{n.o}$  – суммарная номинальная мощность приемников освещения соответствующего цеха (участка) проектируемого модернизируемой системы электроснабжения завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП», кВт» [1].

«При этом» [1]:

$$P_{n.o} = P_{уд.o} F, \quad (5)$$

где  $P_{уд.o}$  – «нормируемая удельная мощность освещения соответствующего цеха (участка) проектируемого модернизируемой системы электроснабжения завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП», кВт/м<sup>2</sup>» [4];  
 $F$  – «площадь соответствующего цеха (участка) проектируемого модернизируемой системы электроснабжения завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП» согласно генплану, м<sup>2</sup>» [1].

«Полная нагрузка силовых и осветительных приёмников соответствующего цеха (участка) модернизируемой системы

электроснабжения завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП»» [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) модернизируемой системы электроснабжения завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП»» [13]:

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

«Предварительные потери активной и реактивной мощности в цеховых трансформаторах ЦТП» [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 системы электроснабжения модернизируемой системы электроснабжения завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП» [16]:

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

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

С учётом приведённых расчётных формул, проводится расчёт ожидаемых максимальных электрических нагрузок системы электроснабжения модернизируемой системы электроснабжения завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП» (таблица 2).

Таблица 2 – Результаты расчёта ожидаемых максимальных электрических нагрузок потребителей системы электроснабжения модернизируемой системы электроснабжения завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП»

Наименование цеха (участка)	Осветительная нагрузка объекта					Суммарная расчётная нагрузка объекта		
	$F$ , м <sup>2</sup>	$P_{уд.о.}$ , Вт/м <sup>2</sup>	$P_{н.о.}$ , кВт	$K_{с.о}$	$P_{р.о.}$ , кВт	$P_{р.+P_{р.о.}}$ , кВт	$Q_p$ , квар	$S_p$ , кВА
Потребители 0,38/0,22 кВ								
Цех производства осветительной арматуры	20000	20	400	0,95	380,00	793,00	363,44	872,30
Цех производства светодиодов	20000	20	400	0,95	380,00	1180,00	704,00	1374,10
Цех сборки светильников	2200	20	44	0,95	41,80	169,78	163,30	235,60
Цех упаковки и маркировки готовой продукции	1200	18	21,6	0,95	20,52	172,52	94,24	196,60
Лаборатория контроля качества	2500	17	42,5	0,95	40,38	238,38	174,24	295,30
Участок ремонта и обслуживания оборудования	3500	17	45	0,95	42,75	275,25	174,38	325,80
Пункт приёма и обработки первичного сырья	4000	17	68	0,95	64,60	144,60	60,00	166,64
Административное здание	5000	18	90	0,95	85,50	160,50	76,50	177,80
Торгово-выставочный комплекс	4000	18	72	0,95	39,90	89,70	37,35	89,70
Склады	6400	16	102,4	0,95	97,28	153,28	18,48	154,40
Насосная	4000	18	72	0,95	39,90	71,90	19,84	74,60
Итого 0,4 кВ	-	-	-	-	1423,60	4647,88	2668,07	5359,20
Потребители 10 кВ								
Насосная	-	-	-	-	-	68,00	326,40	754,30
Итого 10 кВ	-	-	-	-	-	680	326,4	754,3

«Кроме того, при расчёте нагрузки всей системы электроснабжения модернизируемой системы электроснабжения завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП», необходимо учесть перспективную нагрузку (запас мощности), который планируется оставить в случае дальнейшего расширения производства» [16].

«Согласно исходным данным, перспективная активная нагрузка объекта проектирования равна  $P_n = 1500$  кВт, следовательно» [9]:

– «по условию (1) для перспективной активной нагрузки» [9]:

$$P_{p.n} = 0,9 \cdot 1500 = 1350 \text{ кВт},$$

– «по условию (2) для перспективной реактивной нагрузки» [9]:

$$Q_{p.n} = 1350 \cdot 0,54 = 729 \text{ квар}.$$

«Численное значение полной расчётной нагрузки  $S_p$  с учётом всех расчётных нагрузок модернизируемой системы электроснабжения завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП», соответствует сумме нагрузок объекта напряжением 0,4 кВ и 10 кВ» [18]:

$$S_p = \sqrt{(P_{p,0,4} + P_{p,10} + P_{p,n})^2 + (Q_{p,0,4} + Q_{p,10} + Q_{p,n})^2}. \quad (12)$$

«Таким образом» [13]:

$$S_p = \sqrt{(4647,88 + 680 + 1350)^2 + (2668,07 + 326,4 + 729)^2} = 8541,4 \text{ кВА}.$$

«Для проектируемой схемы внутреннего электроснабжения питающей сети цеховых ТП-10/0,4 кВ, значение потерь ЭЭ в трансформаторах» [13]:

$$\Delta P_{ТЦ} = 0,02 \cdot 8541,4 = 170,8 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_{ТЦ} = 0,1 \cdot 8541,4 = 854,1 \text{ квар}.$$

«Величина реактивной мощности на шинах 10 кВ ГПП-35/10 кВ» [19]:

$$Q_{KV} = P_M(tg\varphi_O - tg\varphi_M). \quad (13)$$

«Для условий схемы объекта с расчётными значениями нагрузок» [19]:

$$Q_{KV} = 8024,65(0,4 - 0,36) \approx 321 \text{ квар.}$$

«Выбраны для установки в РУ-10 кВ ГПП-35/10 кВ две конденсаторные установки УКРМ-10,5-160-50» [15].

«Суммарная расчетная реактивная нагрузка с учётом КУ» [19]:

$$Q_{p\Sigma} = (Q_{p.n} + Q_{p.в}) \cdot K_{pm} + Q_{TЦ} - Q_{KV}, \text{ квар,} \quad (14)$$

где « $K_{pm}$  – коэффициент одновременности максимумов нагрузки» [12].

«Для условий схемы объекта с расчётными значениями нагрузок» [15]:

$$Q_{p\Sigma} = (2925,7 + 326,4) \cdot 0,95 + 854,1 - 320 \approx 3622,6 \text{ квар.}$$

«Суммарная расчетная активная нагрузка с учётом КРМ» [12]:

$$P_{p\Sigma} = (P_{p.n} + P_{p.в}) \cdot K_{pm} + P_{TЦ} + P_{p.o}, \text{ кВт,} \quad (15)$$

«Для условий схемы объекта с расчётными значениями нагрузок» [15]:

$$P_{p\Sigma} = (6601,04 + 680 + 708,7) \cdot 0,95 + 170,8 + 1423,58 \approx 9184,6 \text{ кВт.}$$

«Суммарная расчетная полная нагрузка модернизируемой системы электроснабжения завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП» с учётом КРМ» [12]:

$$S_{p.\Sigma} = \sqrt{(P_{p.\Sigma})^2 + (Q_{p.\Sigma})^2}, \quad (16)$$

«Для условий схемы объекта» [7]:

$$S_{p.\Sigma} = \sqrt{9184,6^2 + 3622,6^2} \approx 9873,2 \text{ кВА.}$$

«Величина потерь в трансформаторах ГПП-35/10 кВ» [11]:

$$\Delta P_{T.ГПП} = 0,02 \cdot 9873,2 = 197,5 \text{ кВт,}$$

$$\Delta Q_{ТЦ} = 0,1 \cdot 9873,2 = 987,3 \text{ квар.}$$

Таким образом, окончательное расчётное значение полной нагрузки питающей ГПП-35/10 кВ модернизируемой системы электроснабжения завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП»:

$$S_{p.} = \sqrt{(P_{p.\Sigma} + \Delta P_{T.ГПП})^2 + (Q_{p.\Sigma} + \Delta Q_{ТЦ})^2}, \text{ кВА.} \quad (17)$$

В числовых значениях для модернизируемой системы электроснабжения завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП»:

$$S_{p.} = \sqrt{(9184,6 + 197,5)^2 + (3622,6 + 987,3)^2} = 10453,5 \text{ кВА.}$$

Полученные результаты расчёта электрических нагрузок модернизируемой системы электроснабжения завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП» используются для выбора технических решений по модернизации оборудования системы электроснабжения завода.

## 2.2 Проверка силовых трансформаторов главной понизительной подстанции завода на допустимую перегрузку

Известно, что выбор силовых трансформаторов для установки на главной понижающей подстанции (ГПП) завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП» представляет собой комплексный инженерный процесс, требующий учета множества технических и функциональных параметров.

Такой подход к решению данной задачи обусловлен необходимостью обеспечения оптимальной эффективности и надежности электроснабжения в системе электроснабжения завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП».

На первом этапе необходимо провести анализ прогнозируемой активной и реактивной электрической нагрузки, учитывая как текущие, так и перспективные потребности завода по производству осветительного оборудования. Этот аспект важен в обеспечении сбалансированной работы ГПП-35/10 кВ и всей системы электроснабжения завода по производству осветительного оборудования, так как напрямую определяет номинальную величину питающего напряжения.

С учётом постоянной и равномерной нагрузки на протяжении суток практически всех линий потребителей ГПП-35/10 кВ системы электроснабжения завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП», проверка силовых трансформаторов на ней проводится расчётным путём.

$$S_{ном.} \geq \frac{S_p}{N \cdot k_{загр}}, \quad (18)$$

где « $k_{загр}$ » – рекомендуемый коэффициент загрузки трансформаторов на подстанциях;

$n$  – количество трансформаторов, шт.» [10].

«Исходя из условия (18), расчётная мощность трансформатора для применения на ГПП-35/10 кВ системы электроснабжения завода по производству осветительного оборудования» [4]:

$$S_{ном} \geq \frac{10453,5}{2 \cdot 0,65} = 8041,5 \text{ кВА.}$$

Исходя из полученных результатов предварительного выбора силовых трансформаторов, установлено, что наиболее рациональным вариантом для применения на ГПП-35/10 кВ системы электроснабжения завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП», будет установка и использование двух силовых трансформаторов марки ТМН-10000/35 [12].

Таким образом, расчётные и фактические результаты предварительно совпадают.

Далее осуществляется комплекс проверок с целью принятия окончательного решения по выбору силовых трансформаторов ГПП-35/10 кВ завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП».

Основные типы проверок включают проверку на соответствие номинальной мощности расчётным параметрам, а также проверки на загрузку в нормальном режиме и допустимую перегрузку трансформатора в послеаварийном режиме.

Проверка на соответствие номинальной мощности трансформатора расчётным параметрам [16]:

$$S_{ном.т}, \text{ кВА} \geq S_{ном.т.р}, \text{ кВА.} \quad (19)$$

По условию (19) для силовых трансформаторов марки ТМН-10000/35, находящихся на ГПП-35/10 кВ завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП», можно сделать вывод, что их номинальная мощность соответствует нагрузке объекта модернизации:

$$S_{\text{НОМ.Т}} = 10000 \text{ кВА} \geq S_{\text{НОМ.Т.Р}} = 8041,5 \text{ кВА.}$$

«Коэффициент загрузки трансформатора в нормальном режиме» [10]:

$$K_{3.Н} = \frac{0,5 \cdot S_{\text{ПС}}}{S_{\text{НОМ.Т}}} \leq 0,7. \quad (20)$$

Проверка трансформатора в нормальном режиме работы (20) выполняется:

$$K_{3.Н} = \frac{10453,5}{2 \cdot 10000} = 0,52 \leq 0,7.$$

При этом коэффициент загрузки этого трансформатора в послеаварийном режиме не должен превышать [10]:

$$K_{3.П} = \frac{S_{\text{ПС}}}{S_{\text{НОМ.Т}}} \leq 1,4. \quad (21)$$

$$K_{3.П} = \frac{10453,5}{10000} = 1,045 \leq 1,4.$$

Исходя из полученных результатов выбора и проверки силовых трансформаторов, установлено, что наиболее рациональным вариантом для применения на ГПП-35/10 кВ системы электроснабжения завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП», будет установка и использование на объекте двух силовых трансформаторов марки ТМН-10000/35 [12]. Таким образом, расчётные и фактические результаты окончательно совпадают, следовательно, силовые трансформаторы системы электроснабжения завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП», не нуждаются в замене.

### 2.3 Проверка трансформаторов на цеховых трансформаторных подстанциях

Известно, что цеховые трансформаторные подстанции выполняют важную роль в приёме и распределении электроэнергии между конечными потребителями завода по производству осветительного оборудования и ГПП-35/10 кВ.

Далее проводится проверка мощности силовых трансформаторов для установки на пяти цеховых ТП-10/0,4 кВ завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП». Как было указано ранее, на всех ЦТП установлены по два силовых трансформатора масляного типа марки ТМ.

«Минимальная мощность трансформатора для установки на ЦТП-10/0,4 кВ завода по производству осветительного оборудования» [12]:

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{\sum P_p}{N\beta_t}, \quad (22)$$

«Где  $S_{\text{ном.т.р}}$  – расчетная мощность силового трансформатора, кВА;

$\sum P_p$  – активная нагрузка объектов, питающихся от ЦТП, кВт;

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

«Расчёт и выбор мощности силовых трансформаторов на цеховых ТП в работе проводится на примере цеховой ТП-1 завода по производству осветительного оборудования» [8]:

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{793}{2 \cdot 0,8} = 495,6 \text{ кВА.}$$

«Для установки на цеховой ТП-1 завода по производству осветительного оборудования, предварительно приняты два силовых трансформатора марки ТМ-630/10» [12].

Данные трансформаторы ТП-10/0,4 кВ также необходимо проверить далее на допустимую нагрузку и аварийную перегрузку, аналогично выбранным ранее трансформаторам ГПП, по условиям (9) и (10).

При этом принимается во внимание загрузка трансформаторов активной мощностью.

Так как цеховая ТП-1 питает потребители и объекты 1 и 2 категорий надёжности, нормативные рекомендуемые коэффициенты максимальной загрузки силовых трансформаторов на данной подстанции принят согласно рекомендациям [9]:

- максимальный нормативный коэффициент загрузки в нормальном режиме  $K_3 = 0,8$ ;
- максимальный нормативный коэффициент перегрузки в послеаварийном режиме  $K_3 = 1,6$ .

Значит, нормативная загрузка силовых трансформаторов, установленных на цеховой ТП-1 завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП», в нормальном режиме работы соответствует нормативным данным:

$$K_{3.n} = \frac{0,5 \cdot 872,3}{630} = 0,69 \leq 0,8.$$

Таким образом, перегрузка силовых трансформаторов, установленных на цеховой ТП-1 завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП», в послеаварийном режиме работы, не превышает предельно допустимых нормативных данных, следовательно, марка и тип трансформаторов выбраны правильно:

$$K_{3.n} = \frac{872,3}{630} = 1,38 \leq 1,6.$$

В результате проведения проверки силовых трансформаторов на цеховой ТП-1 завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП» было установлено, что условия всех требуемых проверок соблюдается, следовательно, два силовых трансформатора марки ТМ-630/10, которые были предварительно выбраны по результатам расчёта фактических нагрузок производственных и вспомогательных подразделений завода по производству осветительного оборудования, подходят для установки на данном объекте.

«Проверка остальных трансформаторов цеховых ТП-10/0,4 кВ проведён аналогично и результаты приведены в таблице 3» [16].

«Таблица 3 – Результаты проверки трансформаторов на цеховых ТП-10/0,4 кВ завода по производству осветительного оборудования» [19]

Номер ТП	Номер подразделения	Наименование подразделения	Категория надёжности	$P_{p\Sigma}$ , кВт	$n \times S_{ном}$ , кВА
ТП-1	1	Цех производства осветительной арматуры	I	793	2ТМ×630
ТП-2	2	Цех производства светодиодов	I	1180	2ТМ×1000
ТП-3	3	Цех сборки светильников	I	708,7	2ТМ×630
	5	Лаборатория контроля качества	II	238,38	
	Всего по ТП-3			I, II	
ТП-4	4	Цех упаковки и маркировки готовой продукции	I	172,52	2ТМ×400
	6	Участок ремонта и обслуживания оборудования	II	275,25	
	7	Пункт приёма и обработки первичного сырья	II	144,6	
	Всего по ТП-4			I, II	
ТП-5	11	Насосная	II	71,9	2ТМ×400
	8	Административное здание	III	160,5	
	9	Торгово-выставочный комплекс	III	89,7	
	10	Склады	III	153,28	
	Всего по ТП-5			II, III	

Таким образом, установлено, что все силовые трансформаторы, находящиеся на цеховых ТП-10/0,4 кВ завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП», соответствуют всем условиям проверки.

## 2.4 Выбор и проверка проводников

Далее в работе необходимо провести выбор и проверку проводников в системе электроснабжения завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП».

Основной задачей выбора и проверки проводников в системе электроснабжения завода по производству осветительного оборудования является эффективная и надёжная передача электроэнергии с минимальными значениями её потерь.

Ранее в работе, на основании данных технических выкладок, а также учитывая проведённый анализ схемы и оборудования завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП», обоснована замена на ГПП-35/10 кВ завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП», устаревшего провода питающей линии 35 кВ марки АС-120/19, на соответствующую марку инновационного провода.

Также необходимо проверить сечения кабельных линий напряжением 10 кВ, питающие цеховые ТП-10/0,4 кВ от шин ГПП-35/10 кВ завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП».

При выборе и проверке проводников в системе электроснабжения завода по производству осветительного оборудования завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП» необходимо провести выбор и обоснование следующих технических решений [9]:

- выбор типа проводников в зависимости от электрической схемы системы электроснабжения завода по производству осветительного оборудования, величины максимальной нагрузки, условий монтажа и эксплуатации и других факторов. Варианты выбора могут включать алюминиевые или медные проводники, а также различные типы проводников (воздушные, кабельные линии, шинные конструкции);
- выбор сечения проводников в системе электроснабжения завода по производству осветительного оборудования, которое рассчитывается

- и проверяется по условиям максимальной нагрузки с учётом резервирования питания (для потребителей 1 и 2 категорий надёжности);
- проверочный тепловой расчет проводников для подтверждения их работоспособности в системе электроснабжения завода по производству осветительного оборудования во всех режимах без перегрева. Это также особенно важно для предотвращения возможных пожаров, которые могут возникнуть из-за повреждения изоляции (особенно, в кабельных линиях и прочих изолированных проводниках);
  - проверка по механической прочности: особенно важна для проводов воздушных линий электропередачи, так как они подвергаются воздействию ветра, дождя, снега и других климатических факторов;
  - прочие специфические проверки (проверка на динамическую устойчивость шин к токам короткого замыкания, проверка минимального сечения кабельных линий и другие аналогичные проверки).

Таким образом, выбор и проверка проводников в системе электроснабжения завода по производству осветительного оборудования является важным заданием, которое требует комплексного подхода.

В работе для установки в системе электроснабжения завода по производству осветительного оборудования, проводится непосредственный выбор и проверка следующих проводников:

- питающей сети 35 кВ для питания двух силовых трансформаторов ГПП-35/10 кВ от энергосистемы (воздушная линия электропередачи 35 кВ);
- распределительной сети 10 кВ для обеспечения питания ЦТП-10/0,4 кВ от шин РУ-10 кВ ГПП-35/10 кВ и далее, конечных потребителей цехов, в системе электроснабжения завода по производству

осветительного оборудования (кабельные линии электропередачи 10 кВ).

«Выбор сечений проводников напряжением выше 1 кВ в системе электроснабжения завода по производству осветительного оборудования, осуществляется по условию экономической плотности тока» [11]:

$$S_3 = \frac{I_p}{j_3}, \quad (23)$$

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

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

$$I_n = \frac{P_p}{n \cdot \sqrt{3} \cdot U_{НОМ} \cdot \cos \varphi} = \frac{S_p}{n \cdot \sqrt{3} \cdot U_{НОМ}}, \quad (24)$$

«где  $S_p$  – расчётная полная нагрузка линии, кВ [19].

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

$$I_a = 1,4 \frac{S_p}{n \cdot \sqrt{3} \cdot U_{НОМ}} = 1,4 \cdot I_n. \quad (25)$$

«Проверка проводников воздушных и кабельных линий в системе электроснабжения завода по производству осветительного оборудования в нормальном режиме работы» [11]:

$$I_{доп} \geq I_p, \quad (26)$$

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

«Проверка проводников воздушных и кабельных линий системы электроснабжения завода по производству осветительного оборудования в послеаварийном режиме работы» [11]:

$$I_{доп} \geq I_{p.max}, \quad (27)$$

«Где  $I_{p.max}$  – максимальный ток послеаварийного режима работы линии с учётом условий резервирования в схеме, А» [14].

Проверка проводников по условиям механической прочности:

$$S_{ст} \geq S_{мин}, \text{ мм}^2. \quad (28)$$

Принимаются к установке на питающей линии 35 кВ (ВЛ-35 кВ), необходимой для питания главной понизительной подстанции 35/10 кВ системы электроснабжения завода по производству осветительного оборудования от энергосистемы, современные изолированные провода марки СИП-3-35 кВ.

Данный тип проводников является современным вариантом проводов, применяемых на воздушных линиях электропередачи, и обеспечивает надёжность, бесперебойность передачи электроэнергии, а также высокие показатели безопасности (так как провод – изолированный).

«Ток нормального режима питающей ВЛ-35 кВ ГПП-35/10 кВ завода по производству осветительного оборудования» [20]:

$$I_p = \frac{10453,5}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 35} \approx 86,2 \text{ А.}$$

«Ток послеаварийного режима питающей ВЛ-35 кВ ГПП-35/10 кВ завода по производству осветительного оборудования» [20]:

$$I_{p.\max} = \frac{10453,5}{\sqrt{3} \cdot 35} = 172,4 \text{ А.}$$

«Расчётное сечение питающей ВЛ-35 кВ» [20]:

$$S_{\rho} = \frac{86,2}{1,1} = 78,3 \text{ мм}^2.$$

«Принимается для питающих ВЛ-35 кВ провод марки СИП-3-70-35 с сечением токоведущей жилы 70 мм<sup>2</sup> и максимальной допустимой токовой нагрузкой  $I_{дон} = 265 \text{ А}$ » [5].

«Проверка предварительно выбранного провода марки СИП-3-70-35 по току нормального режима» [5]:

$$265 \text{ А} \geq 84 \text{ А.}$$

«Условия проверки выполняются.

Проверка предварительно выбранного провода марки СИП-3-70-35 по максимальному рабочему току» [5]:

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

«Проверка предварительно выбранного провода марки СИП-3-70-35 по условию механической прочности провода, с учётом климатических и механических факторов, выполняется» [18]:

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

«Окончательно для применения на питающей ВЛ-35 кВ, в работе выбран современный провод марки СИП-3-70-35 сечением токоведущей жилы 70 мм<sup>2</sup> и допустимой токовой нагрузкой  $I_{дон} = 265 \text{ А}$ » [5].

Согласно требованиям [11], в распределительной сети системы электроснабжения завода по производству осветительного оборудования необходимо провести проверку на допустимое падение напряжения на концах сети 10 кВ. Для питающей сети 35 кВ такая проверка не проводится [16].

Проверка кабелей распределительной сети 10 кВ системы электроснабжения завода по производству осветительного оборудования по условиям допустимого падения напряжения:

$$\Delta U_{\%} = \frac{P \cdot \frac{r_0 \cdot l}{n} + Q \cdot \frac{x_0 \cdot l}{n}}{U^2} \leq 5\%, \quad (29)$$

«где  $P, Q$  – соответственно активная и индуктивная нагрузка линий, кВт, квар;

$r_0, x_0$  – удельные сопротивления линии, Ом/км [13].

Результаты проверки кабелей распределительной сети 10 кВ системы электроснабжения завода по производству осветительного оборудования представлены в работе в форме таблицы 4.

Таблица 4 – Результаты проверки кабелей 10 кВ системы электроснабжения завода по производству осветительного оборудования

№ ТП	$n$ , шт.	$I_p$ , А	$I_{p.max.}$ , А	$F_{э.}$ , мм <sup>2</sup>	Марка кабеля	$I_{дон}$ , А	$\Delta U$ , %
ТП-1	2	25,2	50,4	18,0	АСБл–10 (3×16)	75	2,4
ТП-2	2	39,7	79,4	28,3	АСБл–10 (3×25)	90	1,8
ТП-3	2	32,3	64,6	23,0	АСБл–10 (3×25)	90	1,1
ТП-4	2	19,9	39,8	14,2	АСБл–10 (3×16)	75	1,9
ТП-5	2	14,3	28,6	10,2	АСБл–10 (3×16)	75	2,6
Насосная (АД 10 кВ)	2	21,8	43,6	15,6	АСБл–10 (3×16)	75	2,1

Следовательно, сечения всех кабелей 10 кВ в работе подтверждены.

## 2.5 Расчёт токов короткого замыкания

Известно, что расчёт токов короткого замыкания в системе электроснабжения завода по производству осветительного оборудования является важной частью модернизации электроэнергетической системы предприятия [7].

Главной целью этого расчёта является обеспечение безопасной и надёжной работы электрооборудования и электрических сетей, минимизация повреждений в случае короткого замыкания, а также определение параметров релейной защиты и автоматики срабатывания защитных устройств.

Расчёт токов короткого замыкания включает в себя анализ электрических параметров системы (напряжение, сопротивления, мощности, а в энергосистеме, состоящих из разветвлённых линий высокого напряжения – индуктивности и емкости), выбор типа КЗ (асимметричные или симметричные виды КЗ), выбор методов расчёта (расчётный аналитический, графический, метод упорядоченных диаграмм и другие), а также использование математических моделей для описания поведения системы электроснабжения завода по производству осветительного оборудования и энергосистемы в случае короткого замыкания и определение результатов, которые затем используются при выборе и проверке основного оборудования и настройке параметров релейной защиты и автоматики.

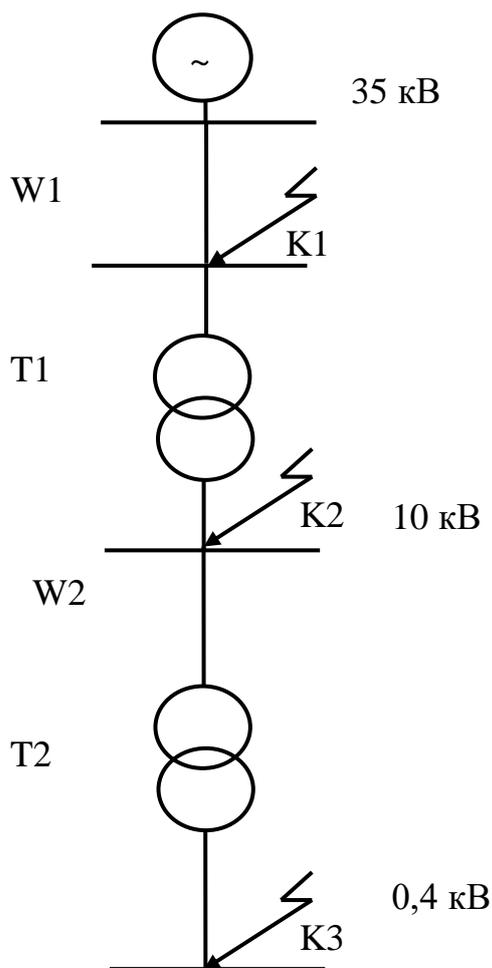
Расчёт токов КЗ в системе электроснабжения завода по производству осветительного оборудования в работе проводится при использовании расчётного метода, в относительных единицах при приведении к базисным условиям.

При этом в энергосистеме предполагается наличие максимального режима работы при возникновении трёхфазного тока КЗ (симметричный вариант).

В таком режиме токи КЗ максимальны [10].

На первом этапе необходимо составить расчётную схему и схему замещения электрической сети завода по производству осветительного оборудования [20].

Исходя из этого, в исходной схеме представлены все три класса напряжения, которые применяются в системе электроснабжения завода по производству осветительного оборудования: 35 кВ, 10 кВ и 0,4 кВ (рисунок 3).



«Рисунок 3 – Исходная расчётная схема для расчёта токов КЗ в системе электроснабжения завода по производству осветительного оборудования» [13]

Таким образом, установлено, что в исходной расчётной схеме для расчёта токов КЗ в системе электроснабжения завода по производству осветительного оборудования находятся следующие основные элементы: воздушная линия W1, трансформатор T1, кабельная линия 10 кВ W2, питающая силовой трансформатор цеховой ТП-10/0,4 кВ. Все перечисленные

элементы обязательно должны быть учтены в схеме, так как они имеют параметры, влияющие на результат расчёта.

Далее в работе составляется исходная схема замещения для расчёта токов КЗ в системе электроснабжения завода по производству осветительного оборудования (рисунок 4)» [13].

В схему замещения вносятся активные и индуктивные сопротивления основных элементов расчётной схемы системы электроснабжения завода по производству осветительного оборудования.

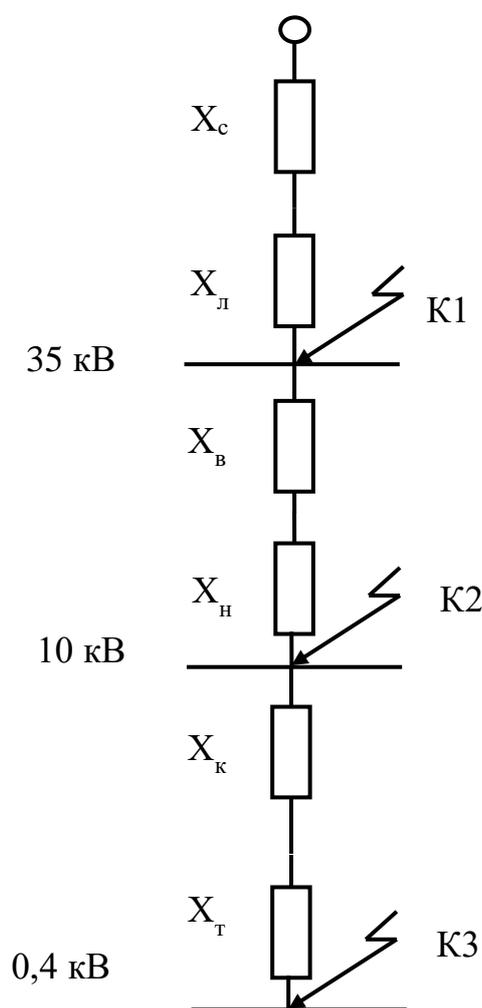


Рисунок 4 – Исходная схема замещения для расчёта токов КЗ в системе электроснабжения завода по производству осветительного оборудования

Все расчёты в работе проводятся до каждой из точек КЗ (К1-К3) поочерёдно.

«В качестве основной базисной ступени для расчёта в работе выбирается ступень высшего напряжения – 35 кВ. Вторая ступень 10 кВ и третья ступень 0,4 кВ, будут неосновными ступенями напряжения» [13].

«Базисная мощность принимается равной номинальной мощности силового трансформатора ГПП системы электроснабжения завода по производству осветительного оборудования, оставшегося в работе в послеаварийном режиме» [12]:

$$S_{\sigma} = 10000 \text{ кВА} = 10 \text{ МВА.}$$

«Базисные напряжения для двух ступеней трансформации схемы (35 кВ и 10 кВ) системы электроснабжения завода по производству осветительного оборудования, принимаются равными напряжениям на шинах ГПП в максимальном режиме работы.

Базисное напряжение для ступени напряжения 35 кВ (основная ступень)» [13]:

$$U_{\sigma 1} = 38,5 \text{ кВ.}$$

«Базисное напряжение для ступени напряжения 10 кВ (первая неосновная ступень)» [13]:

$$U_{\sigma 2} = 10,5 \text{ кВ.}$$

«Базисное напряжение для ступени напряжения 0,38/0,22 кВ (вторая неосновная ступень)» [13]:

$$U_{\sigma 3} = 0,4 \text{ кВ.}$$

«Базисный ток на ступенях системы электроснабжения завода по производству осветительного оборудования» [13]:

$$I_{\sigma} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3}U_{\sigma}}. \quad (30)$$

«Базисный ток для ступени напряжения 35 кВ (основная ступень)» [13]:

$$I_{\sigma 1} = \frac{10}{\sqrt{3} \cdot 38,5} = 0,15 \text{ кА}.$$

«Базисный ток для ступени напряжения 10 кВ (первая неосновная ступень)» [13]:

$$I_{\sigma 2} = \frac{10}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 0,55 \text{ кА}.$$

«Базисный ток для ступени напряжения 0,38/0,22 кВ (вторая неосновная ступень)» [13]:

$$I_{\sigma 3} = \frac{10}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 14,4 \text{ кА}.$$

«Сопротивление энергетической системы» [13]:

$$x_c = \frac{S_{\sigma}}{S_k}, \text{ о.е.}, \quad (31)$$

«где  $S_k$  - полная мощность трёхфазного КЗ энергосистемы» [2].

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

«Сопротивление питающей ВЛ-35 кВ» [10]:

$$x_{l*} = x_0 \cdot L \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{U_{\bar{\sigma}}^2}, \text{ о.е.}, \quad (32)$$

«где  $x_0$  - удельное индуктивное сопротивление ВЛ, Ом/км;

$L$ - суммарная длина ВЛ, км» [15].

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

«Аналогично для питающей КЛ-10 кВ (к ЦТП-1)» [13]:

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

«Для обмотки ВН (35 кВ) трансформатора ГПП» [13]:

$$X_{\bar{\sigma}} = \frac{0,125 \cdot U_{\text{квн}\%} \cdot S_{\bar{\sigma}}}{100 \cdot S_{\text{н.т.}}}, \quad (33)$$

$$X_{\bar{\sigma}} = \frac{0,125 \cdot 10,5 \cdot 10}{100 \cdot 10} \approx 0,01 \text{ о.е.}$$

«Для обмотки НН (10 кВ) трансформатора ГПП» [13]:

$$X_{\text{н}} = \frac{1,75 \cdot U_{\text{квн}\%} \cdot S_{\bar{\sigma}}}{100 \cdot S_{\text{н.т.}}}, \quad (34)$$

$$X_{\text{н}} = \frac{1,75 \cdot 10,5 \cdot 10}{100 \cdot 10} \approx 0,18 \text{ о.е.}$$

«Для трансформатора ЦТП-10/0,4 кВ» [13]:

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

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

$$I'' = \frac{E''}{x_{рез}^*} \cdot I_{б}^* \quad (35)$$

«Результирующее сопротивление к точке К1 в относительных расчётных единицах» [13]:

$$x_{рез}^* = x_c^* + x_l^*, \text{ о.е.}, \quad (36)$$

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

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

$$I''_{к1} = \frac{1}{0,038} \cdot 0,15 \approx 3,95 \text{ кА.}$$

«Результирующее сопротивление к точке К2 в относительных расчётных единицах» [18]:

$$x_{рез} = x_c + x_l + x_6 + x_n, \text{ о.е.}, \quad (37)$$

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

«Начальное значение периодической составляющей тока короткого замыкания в расчётной точке К2, при приведении к базисным условиям, в именованных единицах» [18]:

$$I''_{к2} = \frac{1}{0,228} \cdot 0,55 = 2,41 \text{ кА.}$$

«Результирующее сопротивление к точке К3 в относительных расчётных единицах» [18]:

$$x_{рез} = x_c + x_l + x_6 + x_n + x_k + x_m, \text{ о.е.}, \quad (38)$$

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

«Начальное значение периодической составляющей тока короткого замыкания в расчётной точке К3» [18]:

$$I''_{к3} = \frac{1}{0,993} \cdot 14,4 = 14,5 \text{ кА.}$$

«Значение ударного тока в расчётных точках схемы» [12]:

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot k_{уд} \cdot I''_K, \text{ кА}, \quad (39)$$

«Где  $k_{уд}$  – ударный коэффициент, о.е.» [12].

«Значение ударных токов» [13]:

$$i_{уд1} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 3,95 = 10,02 \text{ кА},$$

$$i_{уд2} = \sqrt{2} \cdot 1,4 \cdot 2,41 = 4,77 \text{ кА},$$

$$i_{уд3} = \sqrt{2} \cdot 1,1 \cdot 14,5 = 22,56 \text{ кА}.$$

«Значение двухфазного тока КЗ» [13]:

$$I_{no(\min)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_K'', \text{ кА}. \quad (40)$$

«Значение двухфазного тока КЗ в расчётных точках схемы» [13]:

$$I_{no(\min)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 3,95 = 3,42 \text{ кА},$$

$$I_{no(\min)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 2,41 = 2,09 \text{ кА},$$

$$I_{no(\min)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 14,5 = 12,56 \text{ кА}.$$

«Полученные результаты расчёта токов КЗ на шинах 35 кВ, 10 кВ и 0,4 кВ в максимальном режиме работы системы электроснабжения завода по производству осветительного оборудования, представлены в таблице 5» [13].

Таблица 5 – «Результаты расчёта токов короткого замыкания» [13]

Параметр	Расчётная точка КЗ		
	Точка К1 (35 кВ)	Точка К2 (10 кВ)	Точка К3 (0,4 кВ)
$I_K^{(3)}$ , кА	3,95	2,41	14,50
$i_{уд}$ , кА	10,02	4,77	22,56
$I_K^{(2)}$ , кА	3,42	2,09	12,56

Результаты расчёта токов КЗ используются для проверки оборудования на ГПП и ЦТП, а также в системе РЗиА завода по производству осветительного оборудования [13].

## **2.6 Выбор новых электрических аппаратов в системе электроснабжения завода**

В работе выбор и проверка электрических аппаратов проводится в распределительных устройствах ГПП-35/10 кВ и ЦТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения завода по производству осветительного оборудования (питающая сеть внешней системы электроснабжения).

Выбор и проверка электрических аппаратов в системе электроснабжения завода по производству осветительного оборудования – это важнейший этап проектирования, который направлен на обеспечение надёжной и безопасной работы не только самой системы электроснабжения данного завода, но и всей энергосистемы в целом.

На основании данных технических выкладок, а также учитывая проведённый анализ схемы и оборудования завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП», ранее в работе обоснованы следующие мероприятия по модернизации его оборудования системы электроснабжения:

- замена в ОРУ-35 кВ ГПП-35/10 кВ завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП», устаревших выключателей и разъединителей, на соответствующие марки инновационного оборудования;
- замена в ЗРУ-10 кВ ГПП-35/10 кВ завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП», устаревших выключателей на соответствующие марки инновационного оборудования.

Известно, что наиболее важным высоковольтным электрическим аппаратом на главных понизительных и цеховых подстанциях переменного напряжения энергосистем являются высоковольтные выключатели.

Выбор выключателей – наиболее сложен из-за большого числа проверок.

Поэтому в первую очередь проводится выбор и проверки новых выключателей для установки в ОРУ-35 кВ и ЗРУ-10 кВ ГПП-35/10 кВ завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП».

«Выбор выключателей высокого напряжения производится, исходя из следующих условий:

- по номинальному напряжению» [18]:

$$U_{уст} \leq U_n \quad (41)$$

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

- «по максимальному рабочему току» [16]:

$$I_{раб.макс} \leq I_n \quad (42)$$

где « $I_{раб.макс}$ ,  $I_n$  – соответственно, максимальный рабочий ток ПАВ режима электроустановки и номинальное значение тока выключателя (параметр завода-изготовителя)» [16];

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

$$I_{нт} \leq I_{откн} \quad (43)$$

где « $I_{нт}$  – значение периодической составляющей тока короткого замыкания в момент начала расхождения контактов;

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

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

$$(\sqrt{2} \cdot I_{\pi\tau} + i_{a\tau}) \leq \sqrt{2} \cdot I_{отк.н} (1 + \beta_n), \quad (44)$$

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

$\beta_n$  – номинальное значение относительного содержания аperiodической составляющей в отключаемом токе КЗ;

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

$$t = t_{з.мин} + t_{с.в}, \quad (45)$$

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

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

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

$$i_y \leq i_{np.c}, \quad (46)$$

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

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

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

$$B_k \leq I_T^2 t_T, \quad (47)$$

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

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

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

«При этом тепловой импульс с учётом токов короткого замыкания» [18]:

$$B_k = I_k^2 (t_{отк} + T_a). \quad (48)$$

В результате проведения анализа параметров и конструктивных особенностей РУ различных типов, для применения в ОРУ-35 кВ и ЗРУ-10 кВ ГПП-35/10 кВ завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП», установлено следующее [7]:

- к устаревшим типам относится оборудование с масляной изоляцией и многие устаревшие разработки с воздушной изоляцией. Применение данных типов оборудования в современных РУ не рекомендуется;
- к наиболее перспективным современным типам относится оборудование с вакуумной и элегазовой изоляцией. Применение данных типов оборудования рекомендовано в современных РУ всех классов напряжения.

Таким образом, в РУ в ОРУ-35 кВ и ЗРУ-10 кВ ГПП-35/10 кВ завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП» следует установить современные выключатели с вакуумной изоляцией (таблица 6).

Таблица 6 – Результаты выбора и проверки новых высоковольтных выключателей в электрической сети 35 кВ и 10 кВ системы электроснабжения завода по производству осветительного оборудования

Наименование и место установки аппарата	Условие выбора	Расчетные данные сети	Паспортные технические данные
Выключатели 35 кВ ВПК-35-25/1600 УХЛ2 (вакуумные)	$U_{сети} \leq U_{ном}$	$U_{сети} = 35 \text{ кВ.}$	$U_{ном} = 35 \text{ кВ.}$
	$I_{max} \leq I_{ном}$	$I_{max} = 230,9 \text{ А.}$	$I_{ном} = 1600 \text{ А.}$
	$I_{п.т} \leq I_{отк.ном}$	$I_{п.т} = 3,95 \text{ кА.}$	$I_{отк.ном} = 31,5 \text{ кА.}$
	$i_y \leq i_{дин}$	$i_y = 10,02 \text{ кА.}$	$i_{дин} = 52 \text{ кА.}$
	$B_k \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T = 3,95^2 \cdot 3 = 46,81 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_k = 31,5^2 \cdot 3 \approx 2977 \text{ кА}^2\text{с.}$
	$U_{сети} \leq U_{ном}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ.}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ.}$
	$I_{max} \leq I_{ном}$	$I_{max} = 808,3 \text{ А.}$	$I_{ном} = 2000 \text{ А.}$

Наименование и место установки аппарата	Условие выбора	Расчетные данные сети	Паспортные технические данные
Выключатели 10 кВ ВБ-10-ПЗ-ZETO-31,5/2000 (вакуумные)	$I_{н.т} \leq I_{отк.ном.}$	$I_{н.т} = 2,41 \text{ кА.}$	$I_{отк.ном.} = 20 \text{ кА.}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 4,77 \text{ кА.}$	$i_{дин.} = 20 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 2,41^2 \cdot 3 = 17,42 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2\text{с.}$

Также необходимо выбрать новые современные разъединители в сети 35 кВ ГПП-35/10 кВ системы электроснабжения завода по производству осветительного оборудования (таблица 7).

Таблица 7 – Результаты выбора и проверки новых высоковольтных разъединителей в электрической сети 35 кВ системы электроснабжения завода по производству осветительного оборудования

Наименование и место установки аппарата	Условие выбора	Расчетные данные сети	Паспортные технические данные
Разъединители 35 кВ марки РГ-35/1000 УХЛ1	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 35 \text{ кВ.}$	$U_{ном.} = 110 \text{ кВ.}$
	$I_{max} \leq I_{ном.}$	$I_{max} = 230,9 \text{ А.}$	$I_{ном.} = 1000 \text{ А.}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 4,77 \text{ кА.}$	$i_{дин.} = 63 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 2,41^2 \cdot 3 = 17,42 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 31,5^2 \cdot 3 \approx 2977 \text{ кА}^2\text{с.}$

Таким образом, в результате проведения технических мероприятий по модернизации силовой части системы электроснабжения завода по производству осветительного оборудования, выбраны и проверены следующие новые современные электрические аппараты:

- в ОРУ-35 кВ ГПП-35/10 кВ завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП», приняты выключатели ВБПК-35-25/1600 УХЛ2 (вакуумные) и разъединители РГ-35/1000 УХЛ1;
- в ЗРУ-10 кВ ГПП-35/10 кВ завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП», приняты к установке выключатели ВБ-10-ПЗ-ZETO-31,5/2000 (вакуумные).

Таким образом, основная задача по модернизации оборудования силовой части системы электроснабжения завода по производству

осветительного оборудования, осуществлена в работе путём замены устаревшего оборудования на данном объекте исследования.

Все предложенные мероприятия по модернизации оборудования силовой части системы электроснабжения завода по производству осветительного оборудования подтверждены технически.

Выводы по разделу.

Для достижения поставленной основной цели работы, осуществлено техническое обоснование основных принятых решений по модернизации оборудования силовой части системы электроснабжения завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП».

На основании расчёта электрических нагрузок, установлено, что наиболее рациональным вариантом для применения на ГПП-35/10 кВ системы электроснабжения завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП», будет установка и использование на объекте двух силовых трансформаторов марки ТМН-10000/35. Таким образом, расчётные и фактические результаты окончательно совпадают, следовательно, силовые трансформаторы системы электроснабжения завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП», не нуждаются в замене.

Расчётным путём подтверждено, что все силовые трансформаторы, находящиеся на цеховых ТП-10/0,4 кВ завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП», соответствуют всем условиям проверки.

В результате модернизации, к установке на питающей линии 35 кВ (ВЛ-35 кВ), необходимой для питания главной понизительной подстанции 35/10 кВ системы электроснабжения завода по производству осветительного оборудования от энергосистемы, выбраны и проверены современные изолированные провода марки СИП-3-35 кВ. Данный тип проводников является современным вариантом проводов, применяемых на воздушных линиях электропередачи, и обеспечивает надёжность, бесперебойность передачи электроэнергии, а также высокие показатели безопасности (так как провод – изолированный).

Подтверждены сечения кабельных линий 10 кВ системы электроснабжения объекта.

Рассчитаны токи короткого замыкания в сетях 35 кВ, 10 кВ и 0,4 кВ объекта исследования.

В результате проведения технических мероприятий по модернизации силовой части системы электроснабжения завода по производству осветительного оборудования, выбраны и проверены следующие новые современные электрические аппараты:

- в ОРУ-35 кВ ГПП-35/10 кВ завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП», приняты выключатели ВБПК-35-25/1600 УХЛ2 (вакуумные) и разъединители РГ-35/1000 УХЛ1;
- в ЗРУ-10 кВ ГПП-35/10 кВ завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП», приняты к установке выключатели ВБ-10-ПЗ-ZETO-31,5/2000 (вакуумные).

Таким образом, основная задача по модернизации оборудования силовой части системы электроснабжения завода по производству осветительного оборудования, осуществлена в работе путём замены устаревшего оборудования на данном объекте исследования.

Все предложенные мероприятия по модернизации оборудования силовой части системы электроснабжения завода по производству осветительного оборудования подтверждены технически.

### **3 Модернизация системы релейной защиты и автоматики завода по производству осветительного оборудования**

#### **3.1 Выбор основных типов релейной защиты и автоматики завода**

При выборе основных типов релейной защиты и автоматики в системе электроснабжения завода по производству осветительного оборудования, предлагается применить новые типы защит трансформаторов, а также вводных, линейных и секционных присоединений, и выбрать современные микропроцессорные блоки РЗиА для выполнения данной функции.

Таким образом, будет проведена требуемая модернизация системы релейной защиты и автоматики завода по производству осветительного оборудования.

Как известно, устройства релейной защиты и автоматики (РЗиА) устанавливаются на выключателях системы электроснабжения завода по производству осветительного оборудования. Поэтому в работе устройства РЗиА должны быть установлены на ГПП-35/10 кВ завода по производству осветительного оборудования.

На ГПП-35/10 кВ завода по производству осветительного оборудования защите подлежат силовые трансформаторы данной подстанции, а также отходящие, питающие и секционные присоединения сетей напряжением 35 кВ и 10 кВ.

Согласно [1], для защиты силовых трансформаторов системы электроснабжения ГПП-35/10 кВ завода по производству осветительного оборудования, должны быть предусмотрены следующие виды защит:

- дифференциальная защита (ДЗ) – является высокочувствительной РЗиА трансформатора от всех видов короткого замыкания и прочих повреждений, рекомендуется применение продольной ДЗ на микропроцессорной основе;

- максимальная токовая защита (МТЗ) – является основной защитой силового трансформатора от внутренних и внешних коротких замыканий, рекомендуется установка двух комплектов МТЗ (на стороне ВН и на стороне НН трансформатора);
- защита от перегрузки (ЗП) – защищает силовой трансформатор от токов перегрузки, работает на сигнал;
- газовая защита – единственный вид РЗиА, реагирующий на внутренние короткие замыкания и явление «пожара стали» в трансформаторе;
- защита от однофазных КЗ на землю (ЗОЗ) – защищает силовой трансформатор от коротких замыканий на землю.

Согласно [1], на главных понизительных подстанциях на вводных, линейных и секционных присоединениях систем электроснабжения завода, должны быть предусмотрены следующие виды защит:

- дифференциальная защита линий (ДЗЛ) – является основной РЗиА линий и присоединений от внешних токов короткого замыкания, образует двухступенчатую защиту (вместе с МТЗ), устанавливается на всех присоединениях (вводных, линейных и секционных);
- максимальная токовая защита (МТЗ) – является основной защитой линий и присоединений от внутренних и внешних коротких замыканий, является вместе с ДЗЛ основной двухступенчатой защитой, перекрывая «мёртвую зону» ДЗЛ;
- защита от однофазных КЗ на землю (ЗОЗ) – защищает линии и присоединения от коротких замыканий на землю.

Помимо релейной защиты, в схеме ГПП-35/10 кВ завода по производству осветительного оборудования необходимо предусмотреть также устройства автоматики и сигнализацию.

Из устройств автоматики для питающих воздушных линий 35 кВ предусматривается автоматическое повторное включение (далее – АПВ), а для

секционных присоединений – устройство автоматического включения резерва (далее – АВР).

Все принятые в работе дополнительные виды РЗиА при их внедрении способны значительно повысить надёжность релейной защиты, её быстродействие, селективность (избирательность), что в конечном итоге позволит значительно снизить риск аварий в схеме главных электрических соединений всей ГПП-35/10 кВ завода по производству осветительного оборудования.

Для реализации всех перечисленных функций, с целью качественной защиты силовых трансформаторов ГПП-35/10 кВ, а также всех линейных присоединений питающей и распределительной сети 35 кВ и 10 кВ завода по производству осветительного оборудования, предлагается использовать микропроцессорный блок релейной защиты марки РС83-ВС3 (универсальное микропроцессорное устройство защиты по току)[1].

Такие блоки РЗиА марки имеют ряд существенных преимуществ:

- высокая надёжность: блоки релейной защиты марки MICOM разрабатываются с учетом высокой степени надежности для обеспечения защиты силовых трансформаторов и линий от коротких замыканий, перегрузок и других аварийных режимов;
- быстродействие: блоки РЗиА марки РС83-ВС3 способны быстро обнаруживать и реагировать на повреждения в электрических цепях силовых трансформаторов и линий, что позволяет предотвратить их повреждения оборудования и обеспечить безопасность работы всей энергосистемы;
- доступная ценовая категория, значительно меньшая стоимость, чем аналогичных продуктов других компаний;
- простота и удобство монтажа, ремонта и эксплуатации, доступный интерфейс, что упрощает их установку и обслуживание, а также настройку параметров и уставок срабатывания.

Внешний вид, функционал и конструктивное выполнение микропроцессорных блоков РЗиА марки РС83-ВС3 (микропроцессорное устройство защиты по току) представлены на рисунке 5.



Рисунок 5 – Внешний вид, функционал и конструктивное выполнение микропроцессорных блоков РЗиА для защиты силовых трансформаторов и линейных присоединений марки РС83-ВС3 (универсальное микропроцессорное устройство защиты по току)

Таким образом, выбор микропроцессорных блоков РЗиА марки РС83-ВС3 (универсальное микропроцессорное устройство защиты по току), для непосредственного применения на ГПП-35/10 кВ завода по производству осветительного оборудования, технически обоснован.

### **3.2 Расчёт уставок релейной защиты силовых трансформаторов и линейных присоединений**

Далее в работе необходимо провести непосредственный расчёт уставок релейной защиты силовых трансформаторов, установленных на ГПП-35/10 кВ завода по производству осветительного оборудования.

Рабочие токи и токи максимального режима силовых трансформаторов ГПП-35/10 кВ завода по производству осветительного оборудования рассчитаны в работе ранее.

«В качестве защиты трансформаторов ГПП-35/10 кВ от межфазных КЗ, используется продольная дифференциальная токовая защита с абсолютной селективностью. Ток срабатывания этой защиты определяется путём отстройки от тока небаланса» [14]:

$$I_{с.з} \geq K_n \cdot (I_{раб.макс.НН} - I_{раб.макс.ВН}), \quad (49)$$

«Где  $I_{раб.макс.НН}$ ,  $I_{раб.макс.ВН}$  – «соответственно максимальный рабочий ток на сторонах НН и ВН силового трансформатора;  
 $K_n$  – коэффициент надёжности» [14].

«Коэффициент чувствительности дифференциальной токовой защиты должен удовлетворять условию» [13]:

$$K_{\chi} = \frac{K_{сх}^{(к)}}{K_{сх}^{(3)}} \cdot \frac{I_{к.нач.мин}}{I_{с.з}} \geq 1,5. \quad (50)$$

«Ток срабатывания продольной дифференциальной токовой защиты трансформатора подстанции 35/10 кВ» [13]:

$$I_{с.з} \geq 1,5 \cdot (808,3 - 230,9) = 866,1 \text{ А.}$$

«Коэффициент чувствительности продольной дифференциальной токовой защиты трансформаторов удовлетворяет требованиям» [13]:

$$K_{\chi} = \frac{1}{1} \cdot \frac{3950}{866,1} = 4,56 > 1,5.$$

«Защита от перегрузки отстраивается от максимального рабочего тока на стороне ВН силового трансформатора» [13]:

$$I_{с.з} \geq K_n \cdot I_{раб.макс.ВН}, \quad (51)$$

где  $K_n$  – «коэффициент надёжности» [13].

«Ток срабатывания защиты от перегрузки трансформатора» [13]:

$$I_{с.з} \geq 1,05 \cdot 230,9 \approx 242,5 \text{ А.}$$

«Ток срабатывания МТЗ силового трансформатора» [13]:

$$I_{с.з} \geq K_{отс} \cdot K_{сзн} \cdot I_{раб.макс}, \quad (52)$$

где  $K_{отс}$  – «коэффициент отстройки» [13];

$K_{сзн}$  – «коэффициент самозапуска» [13].

«Коэффициент чувствительности МТЗ определяется по формуле» [14]:

$$K_{\psi} = \frac{K_{сх}^{(к)}}{K_{сх}^{(3)}} \cdot \frac{I_{к.мин}^{(к)}}{I_{с.з}} \geq 1,2, \quad (53)$$

«Где  $I_{к.мин}^{(к)}$  – минимальный ток при КЗ в конце защищенной линии;

$K_{сх}^{(3)}$  – коэффициент схемы соединения ТТ и реле;

$K_{сх}^{(к)}$  – коэффициент схемы соединения ТТ и реле при КЗ;

$I_{с.з}$  – ток срабатывания защиты» [14].

«Для комплекта МТЗ силового трансформатора на стороне ВН (35 кВ) значение тока срабатывания защиты» [13]:

$$I_{с.з} \geq 1,1 \cdot 1,6 \cdot 230,9 \approx 406,4 \text{ А.}$$

«Коэффициент чувствительности МТЗ трансформаторов подстанции на стороне ВН удовлетворяет требованиям» [13]:

$$K_{\text{ч}} = \frac{1}{1} \cdot \frac{3950}{406,4} \approx 9,7 > 1,2.$$

«Аналогично проводится расчёт уставки тока срабатывания комплекта МТЗ силового трансформатора на стороне НН (10 кВ)» [13]:

$$I_{\text{с.з}} \geq 1,1 \cdot 1,6 \cdot 808,3 \approx 1422,6 \text{ А.}$$

«Коэффициент чувствительности МТЗ трансформатора на стороне НН удовлетворяет требованиям» [13]:

$$K_{\text{ч}} = \frac{1}{1} \cdot \frac{3950}{1422,6} = 2,78 > 1,2.$$

«Принимается для ЗОЗ трансформаторов  $I_{\text{с.з}} = 5 \text{ А}$ ,  $t_{\text{с.з}} = 0 \text{ с}$ » [13].  
 Результаты выбора уставок РЗиА силовых трансформаторов ГПП-35/10 кВ завода по производству осветительного оборудования представлены в работе в таблице 8.

Таблица 8 – Результаты выбора типа защит и уставок РЗиА силовых трансформаторов ГПП-35/10 кВ завода по производству осветительного оборудования

Тип РЗиА	$I_{\text{с.з.}}$ , А	$t_{\text{с.з.}}$ , с	Работа защиты
ДЗ	866,1	-	отключение
ЗП	242,5	5,0	сигнал
МТЗ (ВН)	406,4	1,0	отключение
МТЗ (НН)	1422,6	1,5	отключение
ЗОЗ	5,0	-	отключение
ГЗ	-	-	отключение

Далее в работе проводится расчёт уставок РЗА линейных присоединений ГПП-35/10 кВ завода по производству осветительного оборудования.

«Ток срабатывания ДЗЛ» [13]:

$$I_{c.з} \geq K_o \cdot I_{\text{раб.макс.}} \quad (54)$$

где  $K_o$  – «коэффициент отстройки ДЗЛ» [13].

«Коэффициент чувствительности ДЗЛ» [13]:

$$K_{\text{ч}} = \frac{K_{\text{сх}}^{(\kappa)}}{K_{\text{сх}}^{(3)}} \cdot \frac{I_{\text{к.нач.мин}}}{I_{c.з}} \geq 1,5. \quad (55)$$

«Для питающей воздушной линии 35 кВ к трансформатору ГПП-35/10 кВ завода по производству осветительного оборудования, токовая уставка ДЗЛ» [13]:

$$I_{c.з} \geq 1,3 \cdot 230,9 \approx 300,2 \text{ А.}$$

$$K_{\text{ч}} = \frac{1}{1} \cdot \frac{3950}{300,2} = 13,2 \geq 1,5.$$

«Выражение для выбора уставок МТЗ линий» [13]:

$$I_{c.з} \geq K_{\text{отс}} \cdot K_{\text{сзн}} \cdot I_{\text{раб.макс.}} \quad (56)$$

«Коэффициент чувствительности МТЗ линий ГПП-35/10 кВ завода по производству осветительного оборудования» [13]:

$$K_{\psi} = \frac{K_{cx}^{(\kappa)}}{K_{cx}^{(3)}} \cdot \frac{I_{\kappa.мин}^{(\kappa)}}{I_{c.3}} \geq 1,2, \quad (57)$$

«Для питающей линии 35 кВ к трансформатору ГПП-35/10 кВ завода по производству осветительного оборудования, уставка МТЗ» [13]:

$$I_{c.3} \geq 1,05 \cdot 1,1 \cdot 230,9 = 266,7 \text{ A.}$$

«Коэффициент чувствительности МТЗ питающей линии 35 кВ ГПП-35/10 кВ завода по производству осветительного оборудования» [13]:

$$K_{\psi} = \frac{1}{1} \cdot \frac{3950}{266,7} = 14,8 \geq 1,2.$$

«Принимается в работе для ЗОЗ всех линейных присоединений  $I_{c.3} = 5 \text{ A}$ ,  $t_{c.3} = 0 \text{ с}$ » [10].

«Для устройств автоматики принимаются следующие уставки времени срабатывания согласно рекомендациям:

- для АПВ на питающей линии 35 кВ  $t_{c.3} = 1 \text{ с}$ ;
- для АВР на секционном соединении  $t_{c.3} = 2 \text{ с}$ » [10].

На кабельных линиях электропередачи распределительной сети 10 кВ системы электроснабжения завода по производству осветительного оборудования устройства АПВ не устанавливаются [1].

Аналогично рассчитаны уставки РЗиА остальных линейных присоединений ГПП-35/10 кВ завода по производству осветительного оборудования.

Результаты выбора уставок РЗиА линейных присоединений ГПП-35/10 кВ завода по производству осветительного оборудования представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Результаты выбора уставок РЗиА линейных присоединений ГПП-35/10 кВ завода по производству осветительного оборудования

Наименование линии	Тип РЗиА	$I_{с.з.}, А$	$t_{с.з.}, с$	Работа РЗиА
Питающая ВЛ-35 кВ	ДЗ	300,2266,7	-	отключение
	МТЗ		0,5	отключение
	ЗОЗ	5,0	-	отключение
	АПВ	-	1,0	включение
Ввод 10 кВ	ДЗ	1683,2	-	отключение
	МТЗ	1482,3	2,0	отключение
	ЗОЗ	5,0	-	отключение
Секционное присоединение 10 кВ	ДЗ	1319,1	-	отключение
	МТЗ	1075,3	2,0	отключение
	ЗОЗ	5,0	-	отключение
	АВР	-	2,0	включение
ГПП-ТП-1	ДЗ	135,5	-	отключение
	МТЗ	125,0	2,5	отключение
	ЗОЗ	5,0	-	отключение
ГПП-ТП-2	ДЗ	78,3	-	отключение
	МТЗ	72,2	2,5	отключение
	ЗОЗ	5,0	-	отключение
ГПП-ТП-3	ДЗ	151,1	-	отключение
	МТЗ	139,4	2,5	отключение
	ЗОЗ	5,0	-	отключение
ГПП-ТП-4	ДЗ	96,7	-	отключение
	МТЗ	89,3	2,5	отключение
	ЗОЗ	5,0	-	отключение
ГПП-ТП-5	ДЗ	209,3	-	отключение
	МТЗ	193,2	2,5	отключение
	ЗОЗ	5,0	-	отключение
ГПП-Насосная (АД-10 кВ)	ДЗ	196,0	-	отключение
	МТЗ	181,0	2,5	отключение
	ЗОЗ	5,0	-	отключение

Таким образом, силовые трансформаторы и линейные присоединения системы электроснабжения завода по производству осветительного оборудования будут надёжно защищены от основных ненормальных и аварийных режимов.

Выводы по разделу.

В работе проведена модернизация системы релейной защиты завода по производству осветительного оборудования.

Осуществлён выбор устройств и расчёт уставок релейной защиты силовых трансформаторов и линейных присоединений (вводных, секционных

и отходящих) ГПП-35/10 кВ завода по производству осветительного оборудования.

Для реализации всех перечисленных функций, с целью качественной защиты силовых трансформаторов ГПП-35/10 кВ, а также всех линейных присоединений питающей и распределительной сети 35 кВ и 10 кВ завода по производству осветительного оборудования, предложено использовать микропроцессорный блок релейной защиты марки РС83-ВС3 (универсальное микропроцессорное устройство защиты по току).

В работе для защиты силовых трансформаторов ГПП-35/10 кВ и линейных присоединений приняты все защиты мгновенного действия (ДЗ, МТЗ, ЗОЗ), работающие на «отключение».

Защита от перегрузки силовых трансформаторов ГПП-35/10 кВ выполняется с действием на сигнал, информируя оператора (диспетчера) о явлении перегрузки в цепи трансформатора и необходимости разгрузки системы.

Осуществлён расчёт уставок релейной защиты силовых трансформаторов и линейных присоединений ГПП-35/10 кВ завода по производству осветительного оборудования.

Таким образом, силовые трансформаторы, установленные на ГПП-35/10 кВ завода по производству осветительного оборудования, а также все линейные присоединения системы электроснабжения объекта проектирования, будут надёжно защищены от основных ненормальных и аварийных режимов.

## Заключение

В работе осуществлена модернизация силового оборудования, а также оборудования системы релейной защиты и автоматики завода по производству осветительного оборудования (на примере АО «РАТЕП»).

Проведён анализ исходных данных, включающий анализ сведений по технологии производства на заводе по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП».

Приведены основные данные по объекту исследования – заводу по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП». Детально рассмотрена исходная схема электроснабжения завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП», проведён анализ состояния его оборудования на 2023 год.

Определено, что на территории завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП» расположены четыре структурных подразделения, относящиеся к I категории надёжности и составляющие основное производство, три подразделения – II категории надёжности (вспомогательное производство), и четыре подразделения – III категории надёжности (непроизводственные подразделения).

Установлено, что нагрузка отдельных производственных и вспомогательных структурных подразделений завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП» варьируется в широком диапазоне (от 40 кВт до 1000 кВт), что предусматривает отдельный комплексный подход к выбору схемы системы электроснабжения объекта и проверке правильности принятых решений по модернизации оборудования объекта исследования.

На основании анализа исходных данных, учитывая проведённый анализ схемы и оборудования завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП», в работе предлагается следующие мероприятия по модернизации его оборудования системы электроснабжения:

- замена на ГПП-35/10 кВ завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП», устаревшего провода питающей линии 35 кВ марки АС-120/19, на соответствующую марку инновационного провода;
- замена в ОРУ-35 кВ ГПП-35/10 кВ завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП», устаревших выключателей и разъединителей, на соответствующие марки инновационного оборудования;
- замена в ЗРУ-10 кВ ГПП-35/10 кВ завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП», устаревших выключателей на соответствующие марки инновационного оборудования;
- замена системы РЗиА ГПП-35/10 кВ завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП», с выбором современных инновационных микропроцессорных блоков релейной защиты и автоматики.

Данные мероприятия планируется внедрить в работе далее, с детальной проверкой принятых решений.

Также в работе предполагается провести проверку силовых трансформаторов ГПП-35/10 кВ и цеховых ТП-10/0,4 кВ, а также сечения кабельных линий 10 кВ объекта исследования, не нуждающихся в модернизации, на соответствие расчётным условиям сети.

Для достижения поставленной основной цели работы, осуществлено техническое обоснование основных принятых решений по модернизации оборудования силовой части системы электроснабжения завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП».

На основании расчёта электрических нагрузок, установлено, что наиболее рациональным вариантом для применения на ГПП-35/10 кВ системы электроснабжения завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП», будет установка и использование на объекте двух силовых

трансформаторов марки ТМН-10000/35. Таким образом, расчётные и фактические результаты окончательно совпадают, следовательно, силовые трансформаторы системы электроснабжения завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП», не нуждаются в замене.

Расчётным путём подтверждено, что все силовые трансформаторы, находящиеся на цеховых ТП-10/0,4 кВ завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП», соответствуют всем условиям проверки.

В результате модернизации, к установке на питающей линии 35 кВ (ВЛ-35 кВ), необходимой для питания главной понизительной подстанции 35/10 кВ системы электроснабжения завода по производству осветительного оборудования от энергосистемы, выбраны и проверены современные изолированные провода марки СИП-3-35 кВ. Данный тип проводников является современным вариантом проводов, применяемых на воздушных линиях электропередачи, и обеспечивает надёжность, бесперебойность передачи электроэнергии, а также высокие показатели безопасности (так как провод – изолированный). Подтверждены сечения кабельных линий 10 кВ системы электроснабжения объекта. Рассчитаны токи короткого замыкания в сетях 35 кВ, 10 кВ и 0,4 кВ объекта исследования.

В результате проведения технических мероприятий по модернизации силовой части системы электроснабжения завода по производству осветительного оборудования, выбраны и проверены следующие новые современные электрические аппараты:

- в ОРУ-35 кВ ГПП-35/10 кВ завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП», приняты выключатели ВБПК-35-25/1600 УХЛ2 (вакуумные) и разъединители РГ-35/1000 УХЛ1;
- в ЗРУ-10 кВ ГПП-35/10 кВ завода по производству осветительного оборудования АО «РАТЕП», приняты к установке выключатели ВБ-10-ПЗ-ZETO-31,5/2000 (вакуумные).

Таким образом, основная задача по модернизации оборудования силовой части системы электроснабжения завода по производству

осветительного оборудования, осуществлена в работе путём замены устаревшего оборудования на данном объекте исследования.

В работе проведена модернизация системы релейной защиты завода по производству осветительного оборудования. Осуществлён выбор устройств и расчёт уставок релейной защиты силовых трансформаторов и линейных присоединений (вводных, секционных и отходящих) ГПП-35/10 кВ завода по производству осветительного оборудования. Для реализации всех перечисленных функций, с целью качественной защиты силовых трансформаторов ГПП-35/10 кВ, а также всех линейных присоединений питающей и распределительной сети 35 кВ и 10 кВ завода по производству осветительного оборудования, предложено использовать микропроцессорный блок релейной защиты марки РС83-ВС3 (универсальное микропроцессорное устройство защиты по току).

Для защиты силовых трансформаторов ГПП-35/10 кВ и линейных присоединений приняты все защиты мгновенного действия (ДЗ, МТЗ, ЗОЗ), работающие на «отключение». Защита от перегрузки силовых трансформаторов ГПП-35/10 кВ выполняется с действием на сигнал, информируя оператора (диспетчера) о явлении перегрузки в цепи трансформатора и необходимости разгрузки системы.

Осуществлён расчёт уставок релейной защиты силовых трансформаторов и линейных присоединений ГПП-35/10 кВ завода по производству осветительного оборудования.

Установлено, что силовые трансформаторы ГПП-35/10 кВ завода по производству осветительного оборудования, а также все линейные присоединения системы электроснабжения объекта исследования, будут надёжно защищены от основных ненормальных и аварийных режимов.

Таким образом, все предложенные мероприятия по модернизации оборудования силовой части и РЗиА системы электроснабжения завода по производству осветительного оборудования подтверждены технически.

## Список используемых источников

1. АО «РАТЕП» [Электронный ресурс]: URL: <https://производитель.рф/producer/rater> (дата обращения: 26.09.2023).
2. ГОСТ 32144-2013. «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения». [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200104301> (дата обращения: 26.09.2023).
3. ГОСТ Р 59279-2020 «Схемы принципиальные электрические распределительных устройств от 35 до 750 кВ подстанций». [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200177281> (дата обращения: 26.09.2023).
4. Ермилов А. А. Электроснабжение промышленных предприятий. М.: Эксмо, 2021. 159 с.
5. Кабышев А.В., Обухов С.Г. Расчет и проектирование систем электроснабжения объектов и установок. Томск: ТПУ, 2019. 249 с.
6. Кадомская К.П., Лавров Ю.А. Электрооборудование высокого напряжения нового поколения. Вологда: Инфра-Инженерия, 2018. 343 с.
7. Киреева Э.В. Электроснабжение и электрооборудование организаций и учреждений. М.: КноРус, 2019. 236 с.
8. Мукосеев Ю.Л. Электроснабжение промышленных предприятий. М.: «Энергия», 2020. 84 с.
9. 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.
10. Немировский А.Е. Электрооборудование электрических сетей, станций и подстанций. М.: Инфра-Инженерия, 2018. 148 с.
11. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок

потребителей. 6-е изд., перераб. и доп. М: Энергоатомиздат, 2019. 174 с.

12. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. 4-е изд., перераб. и доп. М: Энергоатомиздат, 2018. 392 с.: ил.

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

14. Производство осветительного оборудования (бизнес-план) [Электронный ресурс]: URL: [https://dzen.ru/media/id/5b3f63ec1577a800a9b6e306/proizvodstvo-osvetitelnogo-oborudovaniia-biznesplan-5df2110bdddaf400b313c332?utm\\_referer=www.google.com](https://dzen.ru/media/id/5b3f63ec1577a800a9b6e306/proizvodstvo-osvetitelnogo-oborudovaniia-biznesplan-5df2110bdddaf400b313c332?utm_referer=www.google.com) (дата обращения: 25.09.2023).

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

16. Светодиодное оборудование производство изготовление [Электронный ресурс]: URL: <https://wrlplib.ru/svetodiiodnoe-oborudovanie-proizvodstvo-izgotovlenie-tehnologiya/> (дата обращения: 25.09.2023).

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

18. Сибикин Ю.Д. Пособие к курсовому и дипломному проектированию электроснабжения промышленных, сельскохозяйственных и городских объектов. Учебное пособие. М.: Форум, Инфра-М, 2019. 384 с.

19. Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю., Яшков В.А. Электроснабжение промышленных предприятий. Учебное пособие. М.: Форум, Инфра-М, 2018. 368 с.

20. Фризен В.Э. Расчет и выбор электрооборудования низковольтных распределительных сетей предприятий. Екатеринбург: Издательство УГУ, 2018. 184 с.