

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 «Разработка системы электроснабжения административного здания ФГУП «НО
РАО» с подключением к подстанции 10/0,4 кВ»

Обучающийся

К.А. Куфин
(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., О.В. Самолина
(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2024

Аннотация

Выпускная квалификационная работа по специальности 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» состоит из 62 страниц, 5 таблиц, 24 источников и 6 графических приложений.

Согласно полученным исходным данным выполнена выпускная квалификационная работа результатом, которой является разработка системы электроснабжения административного здания ФГУП «НО РАО» с подключением к подстанции 10/0,4 кВ. Проведен анализ данных, произведены расчеты электрических нагрузок, произведен выбор аппаратов и проводников, проведен выбор релейной защиты и расчет заземления и молниезащиты. Каждый рассмотренный раздел имеет заключение, в котором сформулирован результат исследования. Подготовлены приложения план расположения оборудования, схема распределительных сетей, электрическая схема подстанции, план-разрез подстанции, схема релейной защиты, молниезащита и заземление.

Общим результатом выпускной квалификационной работы является детальный анализ электрических характеристик и потребностей административного здания ФГУП «НО РАО», что позволяет сделать обоснованные выводы и предложения по определению основных элементов системы электроснабжения, которая обеспечит надежную и бесперебойную работу. В данной работе раскрыты вопросы электроснабжения, безопасности и решения, препятствующие возникновению аварийных ситуаций.

Структура выпускной квалификационной работы состоит из титульного листа, аннотации, содержания, введения, теоретической части, практической части, заключения, списка литературы, графические приложения.

Содержание

Введение.....	4
1 Анализ основных данных и требований к проектируемой системе электроснабжения административного здания ФГУП «НО РАО».....	7
2 Расчет электрических нагрузок административного здания ФГУП «НО РАО».....	11
3 Выбор и расчет числа и мощности трансформации.....	22
4 Выбор и расчет электрических аппаратов и проводников.....	26
5 Выбор основного электрооборудования и проверка.....	35
6 Расчет токов короткого замыкания.....	40
7 Выбор устройств релейной защиты и автоматики.....	46
8 Расчет заземления и молниезащиты.....	50
Заключение.....	58
Список используемых источников.....	60

Введение

В настоящее время человек не может существовать без электрической энергии. Используемое оборудование очень критично к качеству электрической энергии, что предъявляет высокие требования к существующим и вновь проектируемым объектам электроснабжения.

Стремительное развитие экономики нашей страны, увеличение производственных мощностей напрямую связано с увеличением потребления электроэнергии соответственно производство электроэнергии соответствующее действующим нормам является одной из главных задач.

В быту каждый человек пользуется электроприборами и невозможно представить жизнедеятельность и проживание человека без электроэнергии [2].

Начиная с 1920 года, когда начиналась электрификация в нашей стране по сегодняшней день электроэнергетика совершила значительный скачек в развитии снабжении электроэнергией.

Учитывая вышеизложенное, обеспечение всех населенных пунктов нашей страны, которая имеет протяженность электрических сетей более 3 200 000 километров, гарантировано обеспечиваются все даже в отдаленных уголках нашей страны качественной электроэнергией.

В связи с непрерывно растущим спросом для электроэнергии в результате стало важным критерий для проектирования энергоэффективных систем электроснабжения [4].

Перед разработчиками современных, энергоэффективных средств электроснабжения стоят следующие вопросы, которые необходимо решить:

- наличие точного перспективного графика расширения производства с прогнозом роста потребления электроэнергии,
- проведение детального обзор объекта изучения,

- определение полной мощности объекта, также проведение анализа распределения электрических нагрузок по различным зонам здания, чтобы определить наиболее эффективные способы их питания,

- проведение анализ различных факторов, воздействующих на выбор трансформатора, таких как мощность, напряжение, ток и условия эксплуатации,

- произведение расчёта, согласно которому необходимо выбрать тип электрических аппаратов и проводников,

- произведение расчёта, согласно которому необходимо подобрать тип основного трансформатора,

- произведение расчёт тока короткого замыкания,

- определение устройств релейной защиты и автоматизации, а так же выполнить анализ разнообразных типов релейной защиты и автоматизации с целью определения наиболее подходящих устройств для конкретных условий функционирования,

- разработка системы заземления и молниезащиты.

Тема данной выпускной квалификационной работы – «Разработка системы электроснабжения административного здания ФГУП «НО РАО» с подключением к подстанции 10/0.4 кВ».

Цель проектирования заключается в обеспечении надежного и качественного электроснабжения исследуемого объекта – здания ФГУП «НО РАО».

Объектом исследования данной выпускной квалификационной работы является система электроснабжения административного здания ФГУП «НО РАО».

Предмет исследования – оптимальные методы проектирования и оптимизации работы систем электроснабжения.

Основной результат данной работы позволят создать эффективный проект системы электроснабжения для административного здания ФГУП

«НО РАО», что приведет к снижению финансовых затрат при эксплуатации системы электроснабжения исследуемого объекта [16].

В процессе подготовки данной выпускной квалификационной работы будут применены разнообразные методы научного исследования. В первую очередь, это изучение научной литературы, посвященной теме исследования, и анализ нормативно-правовой базы, регулирующей аспекты электроснабжения. Также будут использованы аналитические и сравнительные методы, позволяющие проводить детальный анализ существующих систем и находить оптимальные решения. Среди теоретических методов особое внимание уделено анализу и методу классификации, которые помогут структурировать и систематизировать информацию.

Практические методы, задействованные в работе, включают наблюдение за существующими системами электроснабжения и их сравнительный анализ. Это позволит выявить наиболее эффективные и надежные решения для проектирования системы электроснабжения административного здания ФГУП «НО РАО».

Ожидается, что результатом данной выпускной квалификационной работы станет комплексный проект системы электроснабжения здания. Этот проект будет направлен на обеспечение потребителей стабильной, качественной и бесперебойной подачей электроэнергии. В проекте будут учтены все необходимые технические и нормативные требования, что позволит создать надежную и эффективную систему электроснабжения, соответствующую современным стандартам и способную удовлетворить текущие и перспективные потребности здания.

1 Анализ исходных данных и требований к проектируемой системе электроснабжения административного здания ФГУП «НО РАО»

Для проектирования энергосистемы высокого качества необходимо провести детальный обзор объекта изучения, в результате которого представлена общая характеристика объекта, изучены состав и характеристики потребителей электроэнергии исследуемого здания.

В ходе анализа исходных данных для проектирования электрических распределительных сетей административного здания ФГУП «НО РАО» была произведена размещение оборудования. Распределительные сети отражены на структурной схеме [5]. Расстановка оборудования произведена с максимальной компоновкой и рациональным размещением.

В процессе анализа и проектирования особое внимание уделено основному аспекту эффективности благодаря чему расходы на потребление будут ниже, что позволит повысить рентабельность производства «НО РАО».

При проектировании системы электроснабжения административного здания «НО РАО» были рассмотрены следующие основные задачи:

- проведен анализ поэтапного роста потребления электроэнергии «НО РАО»,
- сколько нужно источников электрической энергии для подключения административного здания «НО РАО»,
- какие параметры питания и схема электроснабжения,
- возможные способы сокращения потерь в линиях электропередач [3].

В ходе анализа проектируемой системы электроснабжения административного здания «НО РАО» особое внимание было уделено оборудованию с использованием систем защиты, которые минимизируют выход из строя оборудования в процессе эксплуатации и защищают от возможного возникновения пожара [7].

Проведя изучение объекта, в результате которого представлена общая характеристика объекта, изучены состав и характеристики потребителей

электроэнергии исследуемого здания, также выполнен анализ различных факторов, воздействующих на энергопотребление, таких как типы используемого оборудования, режимы работы и сезонные колебания нагрузки [13]. Исходя из выше перечисленного проектирование системы электроснабжения административного здания с учетом полученной информации в ходе изучения объекта.

Исходя из того, что объект электроснабжения можно отнести к объекту малой мощности то возможно применение схемы с одним приемным пунктом. Для обеспечения электроснабжения административного здания по первой категории используется схема секционных шин приемного пункта с питанием шин от разных источников электроэнергии [20].

Секционные выключатели применены для автоматического включения резерва они подходят для всех категорий потребителей.

Для присоединения потребителей электрической энергии для внутреннего и внешнего электроснабжения используются следующие схемы подачи: радиальные, магистральные и комбинированные.

Вводно-распределительные агрегаты (ВРА) должны располагаться в отдельных помещениях с дверями, которые следует оборудовать замками для предотвращения несанкционированного доступа, соответственно вводно-распределительный блок размещается в помещении щитовой электроустановки.

Исходя из действующих норм прокладки кабелей с отсутствием защитных ограждений необходимо выполнить требование по размещению кабеля, которое составляет два метра двадцать сантиметров от выступающих элементов.

При использовании проводников, не имеющих изоляции расстояние между проводником и оборудованием должно составлять не меньше метра.

В случае, когда необходимо смонтировать с двух сторон проводников, не имеющих изоляцию то расстояние между ними, должно быть один метр пятьдесят сантиметров. Проводники без изоляции, смонтированные на

расстоянии менее два метра двадцать сантиметров должны быть в обязательном порядке оснащены ограждениями.

Проводники без изоляции и без ограждений должны размещаться на высоте не менее два метра двадцать сантиметров.

Горизонтальные ограждения, как правило, имеют высоту не менее одного метра девяноста сантиметров.

Рассмотрев исходные данные и проанализировав режимы работы, проектируемой системы электроснабжения сформировано общее представление об объекте проектирования.

Вывод по разделу 1:

В первом разделе данной работы проведен детальный обзор объекта изучения, в результате которого представлена общая характеристика объекта, изучены состав и характеристики потребителей электроэнергии исследуемого здания.

В этом разделе также выполнен анализ различных факторов, воздействующих на энергопотребление, таких как типы используемого оборудования, режимы работы и сезонные колебания нагрузки. Были рассмотрены ключевые потребители электроэнергии, включая системы освещения, вентиляции, кондиционирования воздуха, а также офисное и бытовое оборудование.

Описаны методы сбора и анализа данных о потреблении электроэнергии, что позволило получить детальную картину энергетических потребностей здания. Были проведены измерения и мониторинг потребления электроэнергии в различных зонах здания, чтобы определить наиболее энергоемкие участки и выявить возможности для оптимизации энергопотребления.

Особое внимание было уделено вопросам энергоэффективности и устойчивого использования ресурсов. Были рассмотрены различные меры по снижению энергопотребления, такие как использование энергоэффективного оборудования, внедрение систем автоматического управления освещением и

климат-контролем, а также применение возобновляемых источников энергии.

На основе проведенного анализа были разработаны рекомендации по улучшению энергоэффективности здания и снижению затрат на электроэнергию.

Описаны методы оценки и управления рисками, связанными с электроснабжением здания. Были рассмотрены возможные аварийные ситуации и разработаны меры по их предотвращению и ликвидации последствий. В результате проведенного исследования были предложены меры по повышению надежности и безопасности системы электроснабжения здания.

Таким образом, первый раздел настоящей работы представляет собой комплексное исследование объекта, включающее анализ потребителей электроэнергии, оценку энергоэффективности.

2 Расчёт электрических нагрузок административного здания ФГУП «НО РАО»

В ходе проектирования приоритетными показателями является создание эффективной и надежной энергетической системы.

Основываясь на основные исходные данные объекта, производится, определение количества потребителей и потребляемая мощность каждого потребителя. Исходя, из имеющихся данных производим расчет общей максимальной нагрузки исходя из количества всех потребителей и системы освещения (в расчет не берутся потребители малой мощности).

Основным параметром для определения мощности силового трансформатора и кабельной продукции, как по высоковольтной, так и по низковольтной стороне является общая максимальная нагрузка.

Используя исходные данные проводим расчет нагрузок административного здания «НО РАО».

Разделим потребителей на категории с поведением расчетов для каждой категории электрических приборов:

- первая категория это электроприборы, используемые в течение длительного времени,
- вторая категория это электроприборы, работающие в течение умеренного периода времени,
- третья категория это электроприборы, функционирующие в течение коротких или эпизодических интервалов времени.

Для каждой из этих групп необходимо учитывать специфические требования и особенности эксплуатации. Электроприемники длительного режима работы требуют особого внимания к надежности и бесперебойности электроснабжения, поскольку они функционируют на протяжении длительного времени без перерывов.

Таким образом, расчет электрических нагрузок позволяет точно определить потребности в электроэнергии, что позволяет сделать

правильный выбор оборудования и надежное функционирование всей системы электроснабжения административно здания [14].

Далее следует определить общую мощность электроприемников, используя данные представленные в таблице 1.

Таблица 1- Потребители электрической энергии

Наименование оборудования	Кол., шт	Установ. мощн. Руст., кВт	Род тока, напряжение	Коэф. загр.	коэф. исп.	$\cos \varphi$
Холодильная установка	3	3	0,23	0,9	0,9	0,7
Офисная техника	42	2,5	0,23	0,9	0,9	0,7
Обогреватель	12	11	0,4	0,9	0,9	0,75
Сплит система	6	4	0,4	0,8	0,8	0,8
Бытовые приборы	1	1	0,23	0,4	0,4	0,6
Приборы АПС, ОС	1	3,5	0,4	0,8	0,8	0,9
Вентилятор	12	1	0,23	0,9	0,9	0,85
Приточно вытяжная вентиляция	24	6	0,23	0,9	0,9	0,85
Турникет	8	1	0,23	0,4	0,4	0,9
Вентилятор для сушки рук	44	1,5	0,23	0,3	0,3	0,8
Оповещать	1	1	0,23	0,6	0,6	0,6
Монитор	9	1	0,23	0,7	0,7	0,75
Освещение	-	6,5	0,23	0,9	0,9	0,6

$$\sum P_{n1} = n_1 \cdot P_{n1} + n_2 \cdot P_{n2} + \dots + n_n \cdot P_{nn} \quad (1)$$

где n – количество потребителей, шт;

P_n – мощность потребителя.

$$\begin{aligned} \sum P_{n1} &= 34 \cdot 3 + 42 \cdot 2,5 + 36 \cdot 11 + 4 \cdot 3,5 = \\ &= 102 + 105 + 396 + 14 = 617 \text{ кВт}, \end{aligned}$$

Определяется суммарная средняя активная мощность электроприемников группы:

$$\sum P_{cp1} = n_1 \cdot P_{н1} \cdot K_{и1} + n_2 \cdot P_{н2} \cdot K_{и2} + \dots + n_n \cdot P_{нn} \cdot K_{ин} \quad (2)$$

где $K_{и1} \dots K_{ин}$ – коэффициент использования.

$$\sum P_{cp1} = 468 \text{ кВт}$$

Для электроприемников данной группы производим расчеты суммарную среднюю реактивную мощность:

$$\sum Q_{cp1} = n_1 \cdot P_{н1} \cdot K_{и1} \cdot tg\phi_1 + n_2 \cdot P_{н2} \cdot K_{и2} \cdot tg\phi_2 + \dots + n_n \cdot P_{нn} \cdot K_{ин} \cdot tg\phi_n \quad (3)$$

$$\sum Q_{cp1} = 408 \text{ кВар.}$$

Определяется среднее значение $tg\phi$ группы:

$$tg\phi_{cp1} = \frac{\sum Q_{cp1}}{\sum P_{cp1}} \quad (4)$$

Используя имеющиеся данные произведем расчет по формуле (4):

$$tg\phi_{cp1} = \frac{408}{468} = 0,87.$$

Определяется среднее значение коэффициента использования группы

$$K_{и.ср1} = \frac{\sum P_{cp1}}{\sum P_{н1}} \quad (5)$$

Используя имеющиеся данные произведем расчет по формуле (5):

$$K_{и.ср1} = \frac{468}{617} = 0,75.$$

Произведем расчет количества в группе электроприемников.
Данным расчетом определяем ($n_{эф}$) которое означает эффективное количество электроприемников похожих по техническим параметрам (n) [10]:

Определяем количество электроприемников в группе:

$$n = n_1 + n_2 + \dots + n_n \quad (6)$$

Имея исходные данные производим расчет по формуле (6):

$$n = 34 + 42 + 36 + 4 = 116 \text{ шт.}$$

Для выполнения расчета используем данные самых мощных электроприемников:

$$n_1^{0,5} = 34 + 42 = 76 \text{ шт.}$$

Используя формулу $n_1^{0,5}$ производим вычисления суммарной номинальной мощности :

$$\Sigma p_n^{0,5} = 34 \cdot 3 + 42 \cdot 2,5 = 207 \text{ кВт.}$$

Производим расчет относительного числа электроприемников в группе:

$$n^* = \frac{76}{116} = 0,65 \text{ шт.}$$

Производим расчет относительной номинальной мощности электроприемников в группе:

$$\Sigma P_H^* = \frac{\Sigma P_H^{0,5}}{\Sigma P_H} \quad (7)$$

Используя имеющиеся данные произведем расчет по формуле (7):

$$\Sigma P_H^* = \frac{207}{617} = 0,34 \text{ кВт.}$$

Согласно данным приведенных в таблице [1] определяем эффективное число электроприемников группы:

$$n_{эф}^* = 0,74;$$

Оптимальное значение электроприемников группы определяем по формуле:

$$n_{эф} = n_{эф}^* \cdot n \quad (8)$$

Используя имеющиеся данные произведем расчет по формуле (8):

$$n_{эф} = 0,74 \cdot 116 = 38,48 \text{ шт.}$$

На основании [1, с 54] определить величину показателя для 1-й группы электроприемников:

$$K_{\max 1} = 1,09;$$

Полная активная и реактивная мощность электроприемников первой группы определяем по формуле:

$$P_{\max 1} = \Sigma P_{\text{ср}1} \cdot K_{\max 1} \quad (9)$$

Используя имеющиеся данные произведем расчет по формуле (9):

$$P_{\max 1} = 468 \cdot 1,09 = 510 \text{ кВт}$$

$$Q_{\max 1} = P_{\max 1} \cdot \text{tg } \varphi_{\text{ср}1}, \quad (10)$$

Используя имеющиеся данные произведем расчет по формуле (10):

$$Q_{\max 1} = 510 \cdot 0,86 = 438,6 \text{ квар}$$

$$S_{\max 1} = \sqrt{P_{\max 1}^2 + Q_{\max 1}^2} \quad (11)$$

Используя имеющиеся данные произведем расчет по формуле (11):

$$S_{\max 1} = \sqrt{510^2 + 438,6^2} = 672,2 \text{ кВА.}$$

Ко второй группе электроприемников относятся электроприемники режим которых имеет не постоянных характер работы.

Как правило, у электроприемников второй группы разная мощность и время использования для этого производим вычисление установленной мощности к номинальной, применяя коэффициента использования по следующей формуле:

$$P_{\text{н.}} = P_{\text{уст.}} \cdot \sqrt{\frac{K_{\text{и}}\%}{100\%}}, \quad (17)$$

где $P_{\text{уст.}}$ – установленная мощность одного электроприемника.

Используя имеющиеся данные производим расчет по формуле (17):

$$P_{н1.} = P_{уст1.} \cdot \sqrt{\frac{K_{и1}\%}{100\%}} = 4 \cdot \sqrt{\frac{60\%}{100\%}} = 3,7 \text{ кВт},$$

$$P_{н2.} = P_{уст2.} \cdot \sqrt{\frac{K_{и2}\%}{100\%}} = 3 \cdot \sqrt{\frac{60\%}{100\%}} = 2,4 \text{ кВт},$$

$$P_{н3.} = P_{уст3.} \cdot \sqrt{\frac{K_{и3}\%}{100\%}} = 1,5 \cdot \sqrt{\frac{40\%}{100\%}} = 0,8 \text{ кВт},$$

$$P_{н4.} = P_{уст4.} \cdot \sqrt{\frac{K_{и4}\%}{100\%}} = 3 \cdot \sqrt{\frac{60\%}{100\%}} = 2,4 \text{ кВт}.$$

Проведем вычисления для первой группы электроприемников.

Используя имеющиеся данные, выполним расчет суммарной номинальной активной мощности всех электроприемников группы:

$$\sum P_{н2} = 723 \text{ кВт}.$$

Произведем расчет суммарной средней активной мощности электроприемников группы:

$$\sum P_{ср2} = 617 \text{ кВт}.$$

Проведем расчет суммарной средней реактивной мощности электроприемников группы:

$$\sum Q_{ср} = 569 \text{ кВар}.$$

По формуле $tg\varphi$ произведем расчет среднего значения группы:

$$tg\phi_{cp} = \frac{\Sigma Q_{cp}}{\Sigma P_{cp}} \quad (18)$$

Произведем расчет по формуле (18):

$$tg\phi_{cp} = \frac{569}{617} = 0,92.$$

Произведем вычисление среднего значения коэффициента использования группы:

$$K_{u.cp2} = \frac{\Sigma P_{cp2}}{\Sigma P_{n2}} \quad (19)$$

Произведем расчет по формуле (19):

$$K_{u.cp2} = \frac{617}{723} = 0,85.$$

Произведем вычисление действительного числа электроприемников группы:

$$n = n_1 + n_2 + \dots + n_n = 247 \text{ шт.}$$

Произведем вычисление числа электроприемников в группе, мощность которых составляет половину и более самого мощного электроприемника:

$$n_1^{0,5} = 48 \text{ шт}$$

Произведем вычисление суммарной номинальной мощности числа электроприемников $n_1^{0,5}$:

$$\Sigma p_n^{0,5} = 192 \text{ кВт.}$$

Произведём расчет относительного числа электроприемников в группе:

$$n^* = \frac{n_1^{0,5}}{n} = 0,19 \text{ шт.}$$

Выполним расчет относительной номинальной мощности электроприемников в группе:

$$\Sigma P_n^* = \frac{\Sigma P_n^{0,5}}{\Sigma P_n} = 0,27 \text{ кВт.}$$

Для определения относительного числа электроприемников группы берем данные из таблицы [1]:

$$n_{эф}^* = 0,48 \text{ шт.}$$

Производим расчет числа электроприемников группы:

$$n_{эф} = n_{эф}^* \cdot n = 6,72 \text{ шт.};$$

На основании [1] определить значение коэффициента максимума для второй группы электроприемников:

$$K_{\max 2} = 1,09.$$

Произведем вычисление полной активной и реактивной мощности электроприемников второй группы:

$$P_{\max 2} = \Sigma P_{cp2} \cdot K_{\max 2} = 672,5 \text{ кВт},$$

$$Q_{\max 2} = 672,5 \cdot \operatorname{tg} \varphi_{cp2} = 578,3 \text{ кВар},$$

$$S_{\max 1} = \sqrt{P_{\max 2}^2 + Q_{\max 12}^2} = 886,3 \text{ кВА}.$$

Произведем расчеты для электроприемников относящихся к третьей категории.

К третьей категории в основном относятся осветительное оборудование.

Как правило, на освещение расходуется ориентировочно от десяти до двадцати процентов от общей потребляемой энергии объекта [11]. При проектировании осветительных систем важно правильно определить необходимую освещенность объекта.

Согласно таблице 1, установленная мощность освещения административного здания составляет 148 кВт.

Рассчитаем полную проектную мощность объекта.

$$S_{\max} = \sqrt{(P_{\max 1} + P_{\max 2} + P_{осв})^2 + (Q_{\max 1} + Q_{\max 2})^2}. \quad (20)$$

Получим:

$$S_{\max} = \sqrt{(510 + 612,5 + 148)^2 + (438,6 + 578,3)^2} = 1626,9 \text{ кВА}.$$

Вывод по разделу 2:

Данный раздел является проектной, в котором произведен расчёт электрических нагрузок административного здания ФГУП «НО РАО», полная мощность объекта составляет 1626,9кВА.

В этом разделе также проведен анализ распределения электрических нагрузок по различным зонам здания, чтобы определить наиболее эффективные способы их питания. Были рассмотрены различные типы электрических нагрузок, такие как освещение, вентиляция, кондиционирование воздуха и офисное оборудование, чтобы учесть их влияние на общую мощность.

На основе проведенного анализа были разработаны рекомендации по выбору и установке электрических аппаратов и проводников, которые обеспечат надежное и безопасное питание всех систем здания.

Также в этом разделе описаны методы проверки и тестирования электрических систем, чтобы гарантировать их правильную работу и соответствие требованиям безопасности.

В результате проведенного исследования были предложены меры по улучшению энергоэффективности и надежности электрической системы административного здания.

3 Выбор и числа и мощности трансформации

Исходя из требований ГОСТ 14209-85 [17] для использования промежуточных двух обмоточных трансформаторов имеются основные требования это надежность и перегрузочная способность. Основным требованием надёжности является использование количество трансформаторов не меньше 2-х.

Перегрузочная способность определяется выбором единичной мощности трансформатора, исходя из условия:

$$S_{\text{ТР}} = \frac{S_{\text{Р.ДВ}}}{1,4}, \quad (21)$$

где $S_{\text{Р.ДВ}}$ – полная расчетная нагрузка.

1,4 – усредненная перегрузочная способность силовых трансформаторов для регионов, расположенных в средних широтах.

Проанализировав полученные расчеты, определяем мощность трансформатора согласно ГОСТ 14209-85, перегрузочным коэффициентом.

$$S_{\text{ТР}} = \frac{1626,9}{1,4} = 1162,07 \text{кВА}.$$

Учитывая основные параметры, произведены необходимые расчеты и проведен анализ полученных данных, на основании этого был выбран трансформатор модели ТМ-400/10/0,4 который обеспечивает надежное и эффективное функционирование электрической системы.

При выборе трансформатора отдельное внимание было уделено надежности, так как трансформатор является одним из важнейших элементов проектируемой системы [15]. Данный тип трансформатора по стоимости

выше, чем рассматриваемые в процессе подбора, определяющим критерием возможность регулирования под нагрузкой (РПН). В проектируемой системе будет применен в сети 10 кВ для обеспечения электроэнергией административное здание с разной дневной и ночной нагрузкой. Используя возможности регулирования под нагрузкой можно изменять коэффициент трансформации в пределах от десяти до шестнадцати процентов, путем достаточно плавного изменения питающего напряжения, регулировка выходного напряжения при необходимости можно производить в автоматическом режиме. Так как система регулирования под нагрузкой все чаще стала использоваться и зарекомендовала себя с лучшей стороны ее начали активно использовать в трансформаторах 10 кВ и выше.

Рассмотрена также трансформаторы, которым для регулировки напряжения необходимо произвести полное отключение и регулировка проводится в момент проведения технического обслуживания, ремонта или при изменении нагрузки на длительный период. Так как проектируется новая и современная система электроснабжения данный тип трансформатора применять не стоит [22].

Для создания системы электроснабжения отвечающая настоящим реалиям, а именно экономичной, одной из проблем которую необходимо решить при проектировании это снижение потерь электроэнергии при передачи по проводам.

Для решения задачи по снижению потерь можно добиться, уменьшив реактивную и активную нагрузку, что будет способствовать стабильным показателям напряжения сети [18].

Применение комплексных сопротивлений и уменьшение сопротивления проводов приводит к снижению активной составляющей.

Расщепление фаз проводов с использованием устройств емкостной продольной компенсации приводит к снижению реактивной составляющей однако при применении данного оборудования отрицательно сказывается на величине токов короткого замыкания.

Применяем метод комплексного регулирования который обеспечивает лучшие показатели при регулировании меняя мощность компенсирующих устройств добиваемся необходимых показателей величины трансформации.

Так же с целью снижения потерь электроэнергии используют следующее:

- уменьшение сопротивления проводов путем применения проводов большего сечения или использование шинпроводов,
- уменьшение силы тока в линии электропередач,
- проведение оптимизации работы электросети,
- применение нового оборудования (модернизация),
- уменьшение суммарной мощности,
- оптимизация нагрузки трансформатора.

Вывод по разделу 3:

Третий раздел выпускной квалификационной работы является проектным, в котором произведен расчет, в результате которого выбран трансформатор модели ТМ-400/10/0,4.

В этом разделе также проведен анализ различных факторов, воздействующих на выбор трансформатора, таких как мощность, напряжение, ток и условия эксплуатации. Были рассмотрены разные виды трансформаторов с целью определения наиболее подходящего для конкретных условий эксплуатации.

На основе проведенного анализа был выбран трансформатор модели ТМ-400/10/0,4, который обеспечивает надежное и эффективное функционирование электрической системы.

В этом разделе описаны методы расчета электрических нагрузок и выбора трансформатора, направленные на обеспечение минимальных потерь энергии и надежную передачу электрической энергии. Были учтены требования к изоляции и способы защиты трансформатора от механических повреждений и коррозии.

Особое внимание было уделено вопросам безопасности, включая защиту от коротких замыканий и перегрузок. Были выбраны и установлены современные защитные устройства, обеспечивающие надежную защиту трансформатора и предотвращающие возможные аварийные ситуации.

Описаны методы проверки и тестирования трансформатора с целью обеспечения его правильной работы и соответствия требованиям безопасности. В результате проведенного исследования были предложены меры по улучшению надежности и эффективности трансформатора, а также рекомендации по его техническому обслуживанию и эксплуатации.

Таким образом, данный раздел выпускной квалификационной работы представляет собой комплексное исследование и проектирование системы электроснабжения, охватывающее все необходимые этапы от анализа потребностей до разработки рекомендаций по эксплуатации и развитию системы.

4 Выбор и расчет электрических аппаратов и проводников

Для определения максимальной активной нагрузки используем следующую форму:

$$Q_m = tg \varphi \times P_{m\Sigma} = tg \varphi \times (P_m + P_{н.о} + \Delta P_{\delta в} + \Delta P_{\delta сн}) \quad (22)$$

Нормативное значение $tg \varphi_{ЭК}$ для сборных шин 6-10 кВ подстанции общего назначения вычисляются по формуле:

$$tg \varphi_{ЭК} = \frac{\sin \varphi}{\cos \varphi} = \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \varphi}}{\cos \varphi} = 0,395. \quad (23)$$

$$\cos \varphi = 0,93.$$

На шинах ЗРУ производим вычисление суммарной потребляемой активной нагрузки на:

$$P_{m\Sigma} = P_{м.0,4} + P_{м(6)} + \sum \Delta P_{mp} + \Delta P_{\delta в} = 1626,9 \text{ кВт}.$$

Произведем вычисление реактивной мощности, передаваемой системой:

$$Q_c = P_{m\Sigma} \times tg \varphi = 1626,9 \times 0,395 = 642,7 \text{ кВар}.$$

Произведем расчет реактивной мощности потребляемой с шин ЗРУ:

$$Q_{m\Sigma} = Q_{неск} + Q_{м(6)} + \sum \Delta Q_{mp} = 493 \text{ кВар}.$$

Произведем расчет реактивной мощности, которую необходимо компенсировать:

$$Q_K = 1,15(Q_{m\Sigma} - Q_c) = 1,15 \cdot (493 - 642,7) = -172,1 \text{кVar}.$$

Проанализировав расчеты и составив баланса реактивной мощности, очевидно, что не требуется использование высоковольтного компенсирующего устройства [12].

$$S_{\text{Э}} = \frac{I_p}{\gamma_{\text{Э}}}, \quad (24)$$

где $\gamma_{\text{Э}}=1,4$ – экономическая плотность тока при числе часов использования максимальной нагрузки в год до 6000 ч.

На этапе проектирование необходимо обратить особое внимание на кабели с помощью которых производится передача электрической энергии. На стадии необходимых кабелей обязательно обращают внимание на следующие параметры:

- температура нагрева кабеля в рабочих режимах,
- количество при параллельной прокладке в траншее,
- показатели в нормальных условиях работы,
- характеристики при аварийных режимах,
- характеристики термической стабильности.

Исходя, из выше изложенных параметров выполняем расчет с целью определения сечения кабеля.

В основном начальным параметром в соответствии с которым производится подбор кабеля является нагрев продолжительными в допустимых пределах I (токами нагрузки), это позволит в дальнейшем определить параметры для прокладки кабелей и их число в траншее [8].

Важно учитывать, что в нормальном режиме работы кабель должен выдерживать длительные нагрузки без перегрева. В аварийном режиме, когда нагрузка может значительно увеличиться, кабель также должен сохранять свою работоспособность и не перегреваться [23].

Второй критерий - это термостойкость кабеля. Термостойкость определяется способностью кабеля выдерживать кратковременные перегрузки без повреждений. Это особенно важно в случае коротких замыканий или других аварийных ситуаций, когда токи могут значительно превышать номинальные значения. Кабель должен быть способен выдерживать такие перегрузки без разрушения изоляции и других элементов конструкции. Для выполнения расчета сечения кабеля необходимо учитывать оба этих критерия. Сначала определяют длительно-допустимый ток нагрузки для данного типа кабеля и условий его прокладки. Затем рассчитывают термическую устойчивость кабеля, чтобы убедиться, что он сможет выдерживать кратковременные перегрузки. На основе этих данных выбирают оптимальное сечение кабеля, которое обеспечит надежную и безопасную работу электрической системы.

$$P_m = \frac{P_{m(1)} \times n_m}{n_\Sigma}, \quad (25)$$

где $P_{m(1)}$ – активная нагрузка;

n_m – количество трансформаторов;

n_Σ – общее количество трансформаторов.

Используя имеющиеся данные произведем расчет по формуле (25):

$$P_m = \frac{769,86 \cdot 1}{2} + \frac{612,36 \cdot 1}{2} + \frac{180,52 \cdot 1}{2} = 781,37 \text{ кВт}$$

$$Q_m = \frac{134,52 \cdot 1}{2} + \frac{158,38 \cdot 1}{2} + \frac{182,88 \cdot 1}{2} = 237,89 \text{ кВар}$$

$Q_{M(1)}$ - некомпенсированная реактивная мощность.

Производим вычисление полной мощности:

$$S_M = \sqrt{P_M^2 + Q_M^2} = \sqrt{781,37^2 + 237,89^2} = 816,8 \text{ кВА}$$

Производим вычисление I линии нормального рабочего режима:

$$I_{пл1} = \frac{S_M}{\sqrt{3} \times U_H} = \frac{816,8}{\sqrt{3} \times 10} = 47,21 \text{ А.}$$

Произведем расчет параметров тока в послеаварийном режиме.

В основном трансформаторы имеют перегрузочную способность сорок процентов, то послеаварийный ток будет равен:

$$I_{n.ав.л1} = \frac{1,4 \times S_{M.пр.} \times n_M}{\sqrt{3} \times U_H} = \frac{1,4 \times 630 \times 1}{\sqrt{3} \times 10 \times 2} + \frac{1,4 \times 400 \times 1}{\sqrt{3} \times 10 \times 2} + \frac{1,4 \times 160 \times 1}{\sqrt{3} \times 10 \times 2} = 77,59 \text{ А.}$$

Определяем поправочный коэффициент, учитывающий количество кабелей проложенных в траншее [5, с.408].

Производим расчет сечение кабеля:

$$S_{ЭК} = \frac{47,21}{1,4} = 33,7 \text{ мм}^2.$$

Результат расчетов показывает, что сечение кабеля должно быть не меньше 33,7 мм². Проведя подбор, кабеля выбираем кабель трехжильный (3×35) типа ААШВ(у).

Определяем длительно-допустимый ток:

$I_{дл.доп} = 115 \text{ А}$, при напряжении 10кВ.

Произведем расчет длительно-допустимой нагрузки:

$$\begin{aligned}
 I_{\text{дл.доп.н.ав}} &= I_{\text{дл.д}} \times \alpha \\
 I_{\text{дл.доп.н.ав.}} &= 1,3 \times I_{\text{дл.доп}} \times \alpha
 \end{aligned}
 \tag{26}$$

$$I_{\text{дл.доп.н.ав.}} = 115 \times 0,82 = 94,3 \text{ A}$$

$\alpha=0,82$ для 6 кабелей проложенных в траншее.

$$I_{\text{дл.доп.н.ав}} = 1,3 \times 94,3 = 122,59 \text{ A},$$

где 1,3 – перегрузочный коэффициент кабеля.

Произведем проверку кабеля по следующим параметрам:

$$I_p \leq I_{\text{дл.доп}} \times \alpha, \tag{27}$$

$$I_{\text{н.ав}} \leq 1,3 \times I_{\text{дл.доп}} \times \alpha. \tag{28}$$

$$47,21 \leq 94,3 \text{ A.}$$

$$77,59 < 122,59 \text{ A.}$$

Так же кабель проверяется на термическую стойкость по формуле:

$$S_T = \frac{I_{\text{н.о}} \times \sqrt{t_{\text{р.з}} + t_{\text{с.в.}} + T_a}}{C} \tag{29}$$

где $t_{\text{р.з}}$ – время срабатывания релейной защиты,

T_a – время затухания апериодической составляющей,

$t_{с.в}$ – собственное время отключения выключателя защищающего этот кабель,

C – тепловой коэффициент.

Используя имеющиеся данные произведем расчет по формуле (29):

$$S_T = \frac{3 \cdot 10^3 \sqrt{0.6}}{90} = 25,8 \text{ мм}^2$$

После проведенных расчетов получаем подтверждение правильности выбора кабеля типа ААШВ(у) - (3×35)мм².

На рисунке 1 представлена схема электроснабжения.

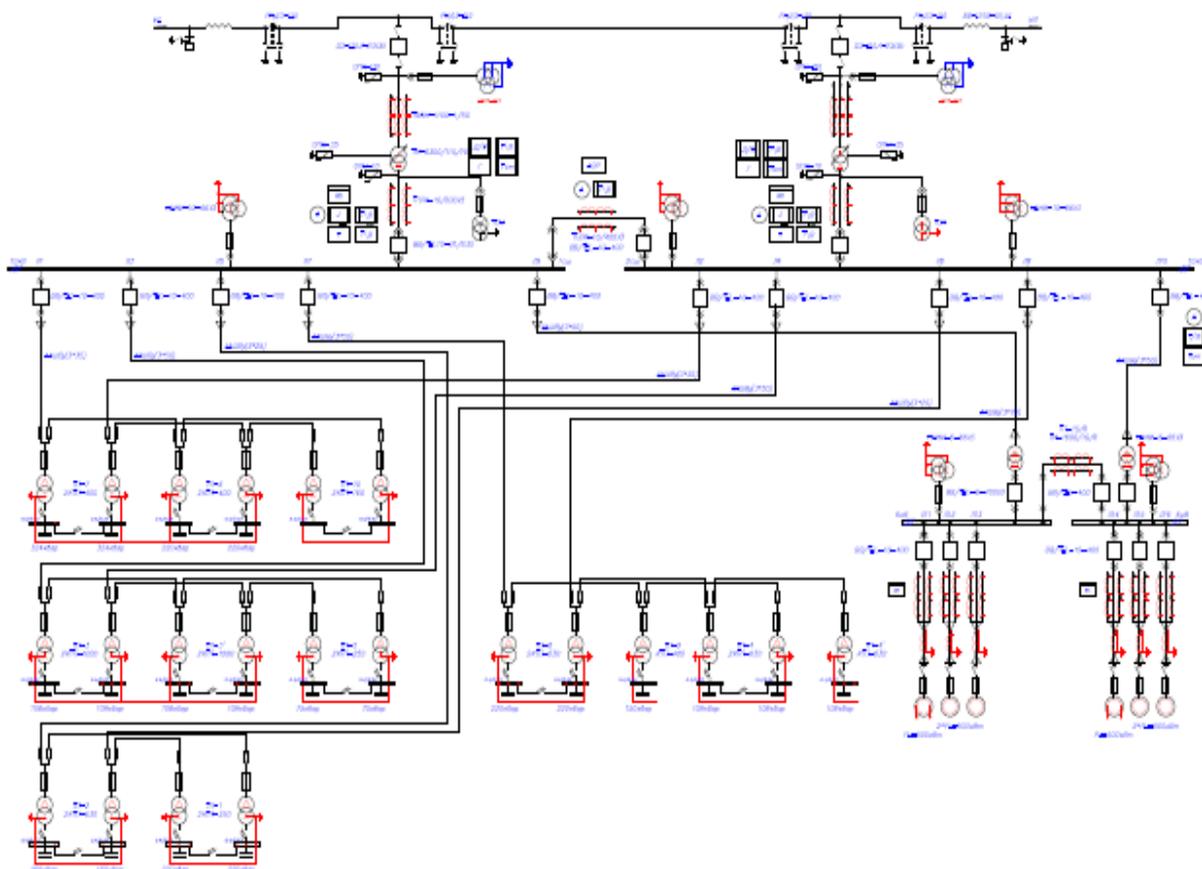


Рисунок 1 – Схема электроснабжения объекта

Исходя из того, что имеются основные требования [6], для электропроводки с помощью которой осуществляется передача электрической энергии проектируемого объекта следует выполнять основные требования.

Тип электропроводки в первую очередь должен подходить к условиям при которых она будет использоваться. В процессе использования она должна гарантирована обеспечивать работу электроприемников не создавая условий при которых работа оборудования будет нарушена или остановлена. Электропроводка при использовании должна обеспечивать необходимый уровень при котором не произойдет возгораний и обеспечит электрическую защищенность [21].

При выборе к использованию электропроводку особое внимание уделяется к материалу из которых выполнена изоляция кабелей и проводов. Подбор электропроводки и типа изоляции производится исходя из условий при которых она будет эксплуатироваться, учитывая температурный режим окружающей среды, чтобы обеспечить безопасную и надежную прокладку.

Монтаж проводов с изоляционным обеспечением методом открытой проводки, а также в каналах и коробках (уровень защиты IP20) выполняется согласно требованиям ГОСТ Р 50571.15-97. Исходя из условий монтажа электропроводки допускается прокладывать сети открыто но только в сухих помещениях где имеется нормальный температурный режим и отсутствует пыль. В помещениях где имеется влажность, пыль в таких случаях незащищенные провода как правило монтируют на высоте два с половиной метра от пола. [9].

Как правило, при длине кабельной линии менее ста метров проверке на потери не подлежат. Все расчетные параметры внесены в таблицу 2.

Вывод по разделу 4:

Четвертый раздел завершающей исследовательской работы, является проектной, в котором произведен расчёт, согласно которому выбран тип электрических аппаратов и проводников.

В этом разделе также проведен анализ различных факторов, которые оказывают значение при выборе аппаратов и проводников, что позволяет определить наиболее подходящие для конкретных условий эксплуатации.

На основе проведенного анализа были выбраны оптимальные электрические аппараты, которые обеспечат надежную и безопасную работу электрической системы.

Кроме того, в этом разделе описаны методы расчета электрических нагрузок и выбора проводников, которые обеспечат минимальные потери энергии и надежную передачу электрической энергии. Были рассмотрены различные материалы для проводников, такие как медь и алюминий, чтобы определить наиболее эффективные и экономически выгодные варианты. Также были учтены требования к изоляции проводников и методы их защиты от механических повреждений и коррозии.

Особое внимание было уделено вопросам безопасности, включая защиту от коротких замыканий и перегрузок. Были выбраны и установлены современные защитные устройства, которые обеспечивают надежную защиту электрической системы и предотвращают возможные аварийные ситуации. Также были разработаны рекомендации по техническому обслуживанию и эксплуатации электрических аппаратов и проводников, что позволяет поддерживать их в рабочем состоянии на протяжении длительного времени.

Таблица 2-Выбор кабелей

№ линии	Назначение	Расч.нагр.линии					Попр коэф.а о.е.	Расч.сеч по Jэк	Станд. сеч по Jэк	Длит. допустимый ток			Термич стойкое сечение	Окончат. выбран. сечение
		Рм кВт	Qнеск квар	Sm кВА	Ip А	Ip.ав. А				Iдд А	Iдд*а А	1.3*Iдд*а А		
КЛ1	ТП-7,6,10	781,37	237,89	816,7807	47,21276	77,59	0,82	33,7234	35	115	94,3	122,59	25	35
КЛ2	ТП-7,6,10	781,37	237,89	816,7807	47,21276	77,59	0,82	33,7234	35	115	94,3	122,59	25	35
КЛ3	ТП-3,3',5	1457,9	538,7	1554,243	89,84061	122,05	0,82	64,17187	50	140	114,8	149,24	25	50
КЛ4	ТП-3,3',5	1457,9	538,7	1554,243	89,84061	122,05	0,82	64,17187	50	140	114,8	149,24	25	50
КЛ5	ТП-2,1	666,76	182,71	691,3406	39,96189	71,1	0,82	28,5442	25	90	73,8	95,94	25	25
КЛ6	ТП-2,1	666,76	182,71	691,3406	39,96189	71,1	0,82	28,5442	25	90	73,8	95,94	25	25
КЛ7	ТП-8,9,4	1122,58	546,16	1248,39	72,16125	134,2	0,82	51,54375	50	140	114,8	149,24	25	50
КЛ8	ТП-8,4,4'	1226,7	559,4	1348,229	77,93231	152,8	0,82	55,66593	70	165	135,3	175,89	25	70
КЛ9	ТП-10/6	1050	27	1050,347	60,7137	129,3	0,82	43,36693	50	140	114,8	149,24	25	50
КЛ10	ТП-10/6	1125	27	1125,324	65,04763	129,3	0,82	46,46259	50	140	114,8	149,24	25	50
КЛ11	СД-500	500	201,1	560,4	48,1232	62,56	0,82	34,37371	35	115	94,3	122,59	25	35
КЛ12	АД-500	500	201,1	560,4	48,1232	62,56	0,82	34,37371	35	115	94,3	122,59	25	35

5 Выбор основного электрооборудования и его проверка

$$\Delta P_T = (\Delta P_{XX} + K_{3.ср}^2 \cdot \Delta P_{кз}) \cdot N_{опт} \quad (30)$$

где ΔP_{XX} , $\Delta P_{кз}$ – данные потерь холостого хода и короткого замыкания [5].

Используя имеющиеся данные произведем расчет по формуле (30):

$$\Delta P_T = (0,55 + 0,98^2 \cdot 3,7) \cdot 2 = 8,26 \text{ кВт},$$

Потери реактивной мощности:

$$\Delta Q_T = \frac{I_{XX} + K_{3.ср}^2 \cdot U_{кз}}{100} \cdot S_T \cdot N_{опт} \quad (31)$$

где I_{XX} – ток холостого хода трансформатора ,

$U_{кз}$ – напряжение короткого замыкания,

S_T – мощность трансформатора,

$N_{опт}$ – оптимальное количество трансформаторов.

Произведем расчет используя формулу (31):

$$\Delta Q_T = \frac{1,9 + 0,98^2 \cdot 4,5}{100} \cdot 250 \cdot 2 = 31,2 \text{ кВар}.$$

Потери сплит систем вычислим по формуле:

$$\Delta P_{\partial в} = P_n \frac{1-\eta}{\eta_n} \quad (32)$$

где η – коэффициент полезного действия системы.

Используя имеющиеся данные произведем расчет по формуле (32):

$$\Delta P_{\partial в} = 500 \frac{1-0,94}{0,94} = 31,95, \text{ кВт.}$$

Расчет потерь сведен в таблицу 3.

Проводим вычисление трансформаторов ГПП [19]. Технические характеристики трансформатора ТМ-6300/110. [5]:

$$\Delta P_{XX}=10\text{кВт};$$

$$I_{XX}=1\%;$$

$$U_{K(вн)}=10,5\%;$$

$$\Delta P_{K.3}=44\text{кВт.}$$

Произведем расчеты по проверке трансформаторов:

$$K_{зр} = \frac{\sqrt{P_{M\Sigma}^2 + Q_{M\Sigma}^2}}{2 \cdot S_{н.мп}} \quad (33)$$

Используя имеющиеся данные произведем расчет по формуле (33):

$$K_{зр} = \frac{1626,9}{2 \cdot 6300} = 0,13$$

Полная расчетная мощность объекта проектирования 1626,9 кВА.

$$K_{з.п.ав} = \frac{\sqrt{P_{M\Sigma}^2 + Q_{M\Sigma}^2}}{S_{н.мп}} \quad (34)$$

Таблица 3 - Расчет потерь

Ед.измер.	Параметр															
	Тип	Ношт	Sn кВА	Rкз кВт	Rхх кВт	Uкз %	Iхх %	B о.е.	dPтр кВт	dQтр квар	Pн сд кВт	псд о.е.	dPсд кВт	Pнад кВт	пад о.е.	dPад кВт
Потребитель																
1	ТМ	2	250	3,7	0,55	4,5	1,9	0,98	8,26	31,27766	500	0,94	31,916	1000	0,94	63,8
2	ТМ	2	630	7,6	1,05	5,5	1,6	0,71	9,70	54,81399	1260	0,94	80,388	2520	0,94	160,7
3	ТМ	4	1000	10,8	1,55	5,5	1,2	0,70	27,15	154,6845	4000	0,94	255,2	8000	0,94	510,4
4	ТМ	3	630	7,6	1,05	5,5	1,6	0,71	14,60	82,4635	1890	0,94	120,6	3780	0,94	241,16
5	ТМ	2	250	3,7	0,55	4,5	1,9	0,65	4,23	19,02279	500	0,94	31,915	1000	0,94	63,83
6	ТМ	2	400	5,5	0,83	4,5	1,8	0,79	8,54	36,90386	800	0,94	51,04	1600	0,94	102,08
7	ТМ	2	400	5,5	0,83	4,5	1,8	0,98	12,16	48,7563	800	0,94	51,04	1600	0,94	102,08
8	ТМ	2	630	7,6	1,05	5,5	1,6	0,72	10,04	56,3826	1260	0,94	80,38	2520	0,94	160,77
9	ТМ	1	400	5,5	0,83	4,5	1,8	0,87	5,00	20,84382	400	0,94	25,52	800	0,94	51,04
10	ТМ	2	160	2,65	0,41	4,5	2	0,80	4,24	15,6859	320	0,94	20,41	640	0,94	40,83
ТП 10\6	ТМ	2	1600	15	2,8	5,5	1,3	0,70	20,30	127,84	3200	0,94	199	6400	0,94	398,11
ИТОГО	-	-	-	-	-	-	-	-	124,22	648,67	-	-	933,9	-	-	1867,8

Используя имеющиеся данные произведем расчет по формуле (34):

$$K_{3.n.ав} = \frac{1626,9}{6300} = 0,26.$$

Для определения потерь в трансформаторах главной понизительной подстанции в нормальном рабочем режиме используем формулу:

$$\Delta P_T = (\Delta P_{XX} + K_{3.ср}^2 \cdot \Delta P_{кз}) \cdot N_{TP} \quad (35)$$

где ΔP_{XX} , $\Delta P_{кз}$ – данные потерь холостого хода и короткого замыкания из таблицы и справочника [5, с.146].

Используя имеющиеся данные произведем расчет по формуле (35):

$$\Delta P_T = (10 + 0,80^2 \cdot 44) \cdot 2 = 76,32 \text{ кВт.}$$

$$\Delta Q_T = \frac{I_{XX} + K_3^2}{100} \cdot S_{H.TP} \cdot N_{онм} \quad (36)$$

$$\Delta P_{TP} = 76,32 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_{TP} = 206,64 \text{ кВар}$$

Используя имеющиеся данные произведем расчет по формуле (36):

$$\Delta Q_T = \frac{1 + 0,8^2}{100} \cdot 6300 \cdot 2 = 206,64 \text{ кВар.}$$

Вывод по разделу 5:

Пятый раздел выпускной квалификационной работы является проектной в котором произведен расчёт, согласно которому был выбран основной трансформатор типа ТМ-6300/110.

6 Расчет токов короткого замыкания

Расчетная схема представлена на рисунке 2.

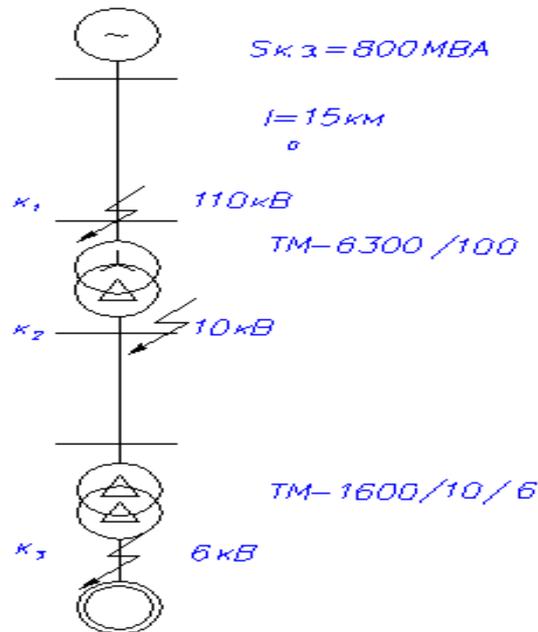


Рисунок 2 – Расчетная схема токов КЗ

Схема замещения представлена на рисунке 3.

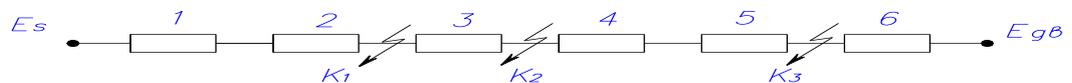


Рисунок 3 – Схема замещения

Выбираем базисные мощности и напряжения и приводим сопротивления всех элементов схемы замещения к базисным условиям.

$$S_6 = 1000 \text{ MVA};$$

$$U_{61}=115\text{кВ};$$

$$U_{62}=10,5\text{кВ};$$

$$U_{63}=6,3\text{кВ}.$$

$$I_{\sigma} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{\sigma}}, \quad (37)$$

Используя имеющиеся данные произведем расчет по формуле (37):

$$I_{61} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 5,02\text{кА}$$

$$I_{62} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 54,9\text{кА}$$

$$I_{63} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 91,7\text{кА}$$

Расчет сопротивлений:

$$X_2 = X_0 \cdot l \cdot \frac{S_{\sigma}}{U_{cp}^2} \quad (38)$$

Используя имеющиеся данные произведем расчет по формуле (38):

$$X_2 = 0,4 \cdot 15 \cdot \frac{1000}{115^2} = 0,45.$$

$$X_3 = \frac{U_{КЗ} \cdot S_E}{100 S_H} \quad (39)$$

Используя имеющиеся данные произведем расчет по формуле (39):

$$X_3 = \frac{10.5 \cdot 1000}{100 \cdot 6,3} = 16,6.$$

$$X_4 = X_0 \cdot l \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{U_{cp}^2} = 0,08 \cdot 0,2 \cdot \frac{1000}{10.5^2} = 0,15.$$

$$X_5 = \frac{U_{K3} \cdot S_B}{100S_H} = \frac{7.5 \cdot 1000}{100 \cdot 1.6} = 46,8.$$

$$X_6 = X_d'' \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{S_{\delta\sigma}} = 0.2 \cdot \frac{1000}{1,5} = 133,3.$$

Определяем результирующее сопротивление в точке К-1:

$$X_7 = X_1 + X_2 \quad (40)$$

Используя имеющиеся данные произведем расчет по формуле (40):

$$X_7 = 1,25 + 0.45 = 1,7.$$

Произведем вычисления токов короткого замыкания в точке К-1.

Для определения тока трех фазного короткого замыкания для точки К-1 используем следующее выражение:

$$I_{K1}^{(3)} = I_{n.o1} = \frac{I_{\delta 1} \cdot E_c}{X_7}, \quad (41)$$

Используя имеющиеся данные произведем расчет по формуле (41):

$$I_{K1}^{(3)} = \frac{5,02 \cdot 1}{1,7} = 2,95 \text{ кА}$$

Расчет ударного тока КЗ.

$$i_{y\partial} = \sqrt{2} \cdot I_{n.o} \cdot K_y, \quad (42)$$

где $K_y=1,608$.

Используя имеющиеся данные произведем расчет по формуле (42):

$$i_{y\partial} = \sqrt{2} \cdot 2,95 \cdot 1,608 = 6,7 \text{ кА}.$$

Расчет теплового импульса:

$$B_K = I_{n.o}^2 (t_{отк} + T_a) \quad (43)$$

где $t_{отк}$ – собственное время отключения выключателя.

Используя имеющиеся данные произведем расчет по формуле (43):

$$B_K = 2,95^2 \cdot 0,5 = 4,35 \text{ кА}^2 \text{ с}.$$

Определяем результирующее сопротивление в точке короткого замыкания К-2:

$$X_8 = X_1 + X_2 + X_3 \quad (44)$$

Используя имеющиеся данные произведем расчет по формуле (44):

$$X_8 = 1,25 + 0,45 + 16,6 = 18,3.$$

Рассчитаем ток КЗ в точке К-2:

$$I_{K2}^{(3)} = I_{n.o2} = \frac{I_{\delta 2} \cdot E_c}{X_8}, \quad (45)$$

Используя имеющиеся данные произведем расчет по формуле (45):

$$I_{K2}^{(3)} = \frac{54,9 \cdot 1}{18,3} = 3 \text{ кА}.$$

$$i_{y\delta} = \sqrt{2} \cdot I_{n.o2} \cdot K_y \quad (46)$$

Используя имеющиеся данные произведем расчет по формуле (46):

$$i_{y\delta} = \sqrt{2} \cdot 3 \cdot 1,601 = 6,82 \text{ кА}.$$

$K_y = 1,601$.

$$B_K = I_{n.o2}^2 (t_{отк} + T_a) \quad (47)$$

Используя имеющиеся данные произведем расчет по формуле (47):

$$B_K = 3^2 \cdot 0,5 = 4,5 \text{ кА}^2 \text{ с}.$$

Расчет токов КЗ в точке К-3.

$$X_{13} = X_8 + X_4 + X_5 \quad (48)$$

Используя имеющиеся данные произведем расчет по формуле (48):

$$X_{13} = 18,3 + 0,15 + 46,8 = 65,25$$

$$B_K = I_{n.o2}^2(t_{omk} + T_a) = 3^2 \cdot 0,5 = 4,5 \text{кА}^2 \text{с.}$$

$$I_{K3}^{(3)} = I_{n.o3} = \frac{I_{б3} \cdot E_c}{X_{13}} + \frac{I_{б3} \cdot E_H}{X_6},$$

$$I_{K3}^{(3)} = \frac{91,7 \cdot 1}{65,25} + \frac{91,7 \cdot 1,1}{133,3} = 2,09 \text{кА.}$$

$$i_{y\partial} = \sqrt{2} \cdot I_{n.o3} \cdot K_y = \sqrt{2} \cdot 2,09 \cdot 1,601 = 4,76 \text{кА.}$$

$$K_y = 1,601$$

$$B_K = I_{n.o3}^2(t_{omk} + T_a) = 2,09^2 \cdot 0,5 = 2,18 \text{кА}^2 \text{с.}$$

Расчет токов КЗ завершен.

Вывод по разделу 6:

Шестой раздел исследовательской работы представляет собой проектную часть, проведены необходимые расчеты в точках К-1, К-2, К-3. Были изучены различные методики расчёта тока короткого замыкания с целью выбора наиболее точного и надёжного подхода для специфических условий эксплуатации. На основе проведённого анализа были разработаны рекомендации по выбору защитных устройств, обеспечивающих надёжную защиту электрической системы от коротких замыканий.

Также в этом разделе описаны методы проверки и тестирования выбранных защитных устройств, чтобы гарантировать их правильную работу в случае короткого замыкания. В результате проведенного исследования были предложены меры по улучшению надежности и безопасности электрической системы.

7 Выбор устройств релейной защиты и автоматики

Это поможет обеспечить надежную и безопасную работу системы в долгосрочной перспективе:

$$I_{\text{раб.макс}} = \frac{S_{\text{н.тр}}}{\sqrt{3} \times U_{\text{н}}} \times 1,4 \quad (49)$$

ГПП: На напряжение 10 кВ:

$$I_{\text{раб.макс}} = \frac{6300}{\sqrt{3} \cdot 10} \cdot 1,4 = 509,2 \text{ А.}$$

ТП-10/6: На напряжение 10 кВ:

$$I_{\text{раб.макс}} = \frac{1600}{\sqrt{3} \cdot 10} \cdot 1,4 = 129,3 \text{ А.}$$

ТП-10/6: На напряжение 6кВ:

$$I_{\text{раб.макс}} = \frac{1600}{\sqrt{3} \cdot 6} \cdot 1,4 = 215,5 \text{ А.}$$

$$I_p = 0,7 \div 0,6 I_{\text{н.вв}(6,10)},$$

где $I_{\text{н.вв}}$ – номинальный ток вводного выключателя;

ГПП: на напряжение 10 кВ: $I_p = 356,4 \text{ А}$,

ТП-10/6: на 10кВ: $I_p = 90,51 \text{ А}$,

ТП-10/6: на 6 кВ: $I_p = 150,8 \text{ А}$.

Имея величину максимального рабочего тока $I_{\text{раб. макс.}}$ которая является определяющей для дальнейшего определения подходящих по основным техническим параметрам выключателей которые будут

использованные на отходящих линиях. К выбору выключателей всегда подходят с особой щепетильностью.

Исходя из расчетов выбираем и производим проверку выключателей и данные заносим в таблицу 4.

При выборе трансформаторов тока руководствуемся характеристиками:

- напряжение использования,
- ток нагрузки,
- условия монтажа.

Исходя из того, что трансформаторы тока возможны как к наружной установки, так и к внутренней установки. В сетях 110кВ используют трансформаторы наружной установки и соответственно в сетях 10 и 6 кВ используют трансформаторы тока внутренней установки.

Так как трансформаторы тока имеют важную роль в проектируемой системе к выбору также относимся очень щепетильно и проверяем их на термическую стойкость, динамическую стойкость и по вторичной нагрузке.

Заключительным элементом в данном разделе является подбор трансформаторов напряжения. Исходя из имеющихся значений нагрузки и U (напряжения) вторичной стороны производим подбор трансформаторов напряжения.

Таблица 4- Выбор и проверка вводных выключателей, разъединителей, трансформаторов тока и напряжения

Расчетные данные	Табличные данные			
	Выключатели	Разъединители	Трансформаторы тока	Трансформаторы напряжения
110 кВ $U_{уст} = 110 \text{ кВ}$ $I_{МАХ} = 46,29 \text{ А}$ $I_{п.о.} = 2,95 \text{ кА}$ $I_{уд} = 6,7 \text{ кА}$ $ВК = 4,35 \text{ кА}^2\text{с}$	-	РДН-110/400У1 $U_H = 110 \text{ кВ}$ $I_H = 400 \text{ А}$ $I_{дин} = 41 \text{ кА}$ $I^2_T \times t_T = 16^2 \times 4 \text{ кА}^2\text{с}$	ТФЗМ-110Б-1 $U_H = 110 \text{ кВ}$ $I_H = 50-100 \text{ А}$ $I_{дин} = 10-20 \text{ кА}$ $I^2_T \times t_T = (2/4)^2 \times 3 \text{ кА}^2\text{с}$	НКФ-110-83У1 $U_H = 110 \text{ кВ}$
10 кВ $U_{уст} = 10 \text{ кВ}$ $I_{МАХ} = 509,2 \text{ А}$ $I_{п.о.} = 3 \text{ кА}$ $I_{уд} = 6,82 \text{ кА}$ $ВК = 4,5 \text{ кА}^2\text{с}$	ВВ/TEL – 10/630 $U_H = 10 \text{ кВ}$ $I_H = 630 \text{ А}$ $I_{отк.н} = 10 \text{ кА}$ $I_{дин} = 25 \text{ кА}$ $I^2_T \times t_T = 10^2 \times 3 \text{ кА}^2\text{с}$	-	ТПЛК-10-У3 $U_H = 10 \text{ кВ}$ $I_H = 600 \text{ А}$ $I_{дин} = 74,5 \text{ кА}$ $I^2_T \times t_T = 28,3^2 \times 3 \text{ кА}^2\text{с}$	НТМИ-10-66 $U_H = 10 \text{ кВ}$
6 кВ $U = 6 \text{ кВ}$ $I_{МАХ} = 215,5 \text{ кА}$ $I_{п.о.} = 2,09 \text{ кА}$ $I_{уд} = 4,76 \text{ кА}$ $ВК = 2,18 \text{ кА}^2\text{с}$	ВВ/TEL – 10/400 $U_H = 10 \text{ кВ}$ $I_H = 400 \text{ А}$ $I_{отк.н} = 10 \text{ кА}$ $I_{дин} = 25 \text{ кА}$ $I^2_T \times t_T = 10^2 \times 3 \text{ кА}^2\text{с}$	-	ТВЛМ-6-У3 $U_H = 6 \text{ кВ}$ $I_H = 300 \text{ А}$ $I_{дин} = 52 \text{ кА}$ $I^2_T \times t_T = 20,5^2 \times 1 \text{ кА}^2\text{с}$	НТМИ-6-66 $U_H = 6 \text{ кВ}$

Выводы по седьмому разделу:

Седьмой отдел выпускной работы представляет собой проект, в рамках которого произведен отбор устройств релейной защиты и автоматизации. В этом разделе выполнен анализ разнообразных типов релейной защиты и автоматизации с целью определения наиболее подходящих устройств для конкретных условий функционирования. Были изучены различные характеристики, такие как надежность, скорость реакции и стоимость данных устройств. На основе проведенного анализа были выбраны оптимальные устройства, которые обеспечат надежную защиту и автоматизацию электрической системы. Также в этом разделе описаны методы установки и настройки выбранных устройств, а также рекомендации по их эксплуатации и техническому обслуживанию. В результате проведенного исследования были разработаны предложения по улучшению системы релейной защиты и автоматики.

8 Расчет заземления и молниезащиты

Все используемое электрооборудование очень чувствительно к отклонению от основных параметров нормальной работы оборудования.

Очень важным аспектом проектирования это создание системы защиты от скачков напряжения таких как попадания молнии в оборудование или линию электропередач, которое создаст условия для стабильного обеспечения потребителей электрической энергией и защиты дорогостоящего оборудования [24]. Используется для защиты оборудования следующие виды заземлений:

Защитное заземление его основная цель предотвратить поражение электрическим током в случае замыкания на землю.

Рабочее заземление - это заземление, необходимое для создания условий при которых оборудование будет работать в штатном режиме. Одним из важных является молниезащитное заземление. Данный вид заземления создает условия при которых происходит защита сооружений и зданий от скачков напряжения в следствии попадания молнии.

Составной частью защиты оборудования является заземляющее устройство. Заземляющее устройство в основном выполнено из двух составляющих как заземлителя и заземляющих проводников. Если рассматривать заземляющее устройство – это одна часть, такая как заземлитель состоящий из проводов или нескольких проводов соединенные с землей. В свою очередь заземлители бывают естественными или искусственными. Естественные заземлители могут быть проложенные в земле трубы, закопанные в земле конструкции из металла, а также все металлическое которые уже находятся в контакте с землей. Искусственные заземлители, с другой стороны, специально устанавливаются для обеспечения надежного заземления и могут включать в себя металлические стержни, пластины или проволочные сети, закопанные в землю.

Заземляющие проводники соединяют заземлитель с электрическим оборудованием, которое необходимо заземлить. Эти проводники должны быть изготовлены из материалов с низким сопротивлением, таких как медь или алюминий, чтобы обеспечить эффективное заземление. Важно, чтобы заземляющие проводники были правильно установлены и защищены от механических повреждений и коррозии, чтобы гарантировать их долгосрочную надежность.

Заземление играет ключевую роль в обеспечении безопасности электрических систем. Оно помогает защитить людей и оборудование от электрических ударов и повреждений, вызванных короткими замыканиями или перенапряжениями. Заземление также способствует стабилизации напряжения в электрической системе и уменьшает помехи, которые могут повлиять на работу чувствительного оборудования.

Для обеспечения надежного заземления важно соблюдать установленные нормативами допустимые значения сопротивлений заземляющих устройств. Регулярные проверки и испытания заземляющих устройств помогают выявить и устранить возможные проблемы, такие как увеличение сопротивления из-за коррозии или повреждений проводников. В случае обнаружения неисправностей необходимо принять меры по их устранению, чтобы обеспечить надежное и эффективное заземление.

В современных электрических системах часто используются комбинированные заземляющие устройства, которые включают в себя как естественные, так и искусственные заземлители. Это позволяет повысить надежность и эффективность заземления, а также уменьшить затраты на установку и обслуживание заземляющих устройств. Важно также учитывать особенности грунта и климатические условия при выборе и установке заземляющих устройств, чтобы обеспечить их долгосрочную надежность и эффективность. Природные заземлители могут включать разнообразные объекты, такие как водопроводные трубы или металлические конструкции, имеющие непосредственный контакт с землей.

Для обеспечения надежного заземления важно соблюдать установленные нормативами допустимые значения сопротивлений заземляющих устройств. В данном разделе также рассматриваются различные методы измерения сопротивления заземляющих устройств с целью гарантирования их соответствия нормативным требованиям. Были проведены испытания и проверки заземляющих устройств в различных условиях эксплуатации для определения их надежности и эффективности. На основе проведенного анализа были разработаны рекомендации по улучшению заземляющих устройств и их техническому обслуживанию. Также в этом разделе описаны методы устранения возможных неисправностей и проблем, связанных с заземляющими устройствами. В результате проведенного исследования были предложены меры по повышению безопасности и надежности электрической системы за счет улучшения системы заземления. Основные характеристики заземляющих устройств приведены в таблице 5.

Таблица 5 - Сопротивление заземляющих устройств

Наибольшее значение	Характеристика электроустройств
$R_3 \leq \frac{250}{I_3}$	Для ЭУ свыше 1000В с расчетным током замыкания выше 500А
$R_3 = \frac{250}{I_3} \leq 10$	Для ЭУ при условии, что заземляющее устройство заземляется общим для высокого и низкого напряжения током замыкания ниже 500А
$R_3 < 4\Pi$	В устройствах 380/220В
$R_3 < 444211$	В устройствах 660/3 80В

Произведем вычисление сопротивление первого вертикального заземлителя используя следующую формулу:

$$R_B = 0,302 \cdot \rho_{\text{расч}} \cdot K_c \quad (50)$$

Используя имеющиеся данные произведем расчет по формуле (50):

$$R_B = 0,302 \cdot 20 \cdot 1,8 = 10,87 \text{ ом.}$$

Для определения количества электродов для обеспечения необходимой величины, нормируемого сопротивления 4 ом используем формулу:

$$\frac{R_B}{\eta_{\text{ЭК}}} \tag{51}$$

Используя имеющиеся данные произведем расчет по формуле (51):

$$\frac{10,87}{4} = 2,72.$$

При коэффициенте экранирования $\eta_{\text{ЭК}} = 0,679$ количество электродов

$$\frac{2,72}{0,679} = 4 \text{ электрода.}$$

Рассчитаем сопротивление горизонтального заземлителя используя следующую формулу:

$$R_{\Gamma} = \frac{0,366 \cdot \rho_{\text{расч}}}{e} \cdot \log \frac{e^2}{dt} \tag{52}$$

где: e - длина горизонтального заземлителя, определяется по формуле:

$$e_{\Gamma з} = m_{\text{эл}} \cdot e \cdot 1,05 = 4 \cdot 2,5 \cdot 1,05 = 10,5 \text{ м.}$$
$$R_{\Gamma} = \frac{0,366 \cdot 20 \cdot 1,35}{e^{10,5}} \cdot \log \frac{10,5^2}{0,11 \cdot 0,5} = 4,08 \text{ ом.}$$

Произведем расчёт общего сопротивления, используя следующую формулу:

$$R_3 = \frac{1}{\frac{\rho_{ЭК}}{R_r} + \frac{m \cdot \rho_{ЭК}}{R_B}} \quad (53)$$

Используя имеющиеся данные произведем расчет по формуле (53):

$$R_3 = \frac{1}{\frac{0,679}{4,08} + \frac{4 \cdot 0,679}{10,87}} = 2,41 \text{ ом.}$$

Произведем расчет высоты молниеотводов h_0 выражением:

$$h_0 = 0,85 \cdot h = 0,85 \cdot 35 = 29,8 \text{ м.}$$

Произведем расчет радиуса защиты на уровне земли r_0 :

$$r_0 = (1,1 - 2 \cdot 10^{-3} \cdot h) \cdot h = (1,1 - 2 \cdot 10^{-3} \cdot 35) \cdot 35 = 36,1 \text{ м.}$$

Находится радиус защиты на высоте защищаемого сооружения $h = 9$ м:

$$R_x = (1,1 - 2 \cdot 10^3 \cdot h) \cdot (h - 1,2 \cdot h_x). \quad (54)$$

Используя имеющиеся данные, произведем расчет по формуле (54):

$$R_x = (1,1 - 2 \cdot 10^3 \cdot 35) \cdot (35 - 1,2 \cdot 8) = 24,9 \text{ м.}$$

Высота h_c и ширина r_{cx} средней части определяется выражением:

$$h_c = h_0 - (0,17 + 3 \cdot 10^{-4} \cdot h) \cdot (L - h) \quad (55)$$

Используя имеющиеся данные, произведем расчет по формуле (55):

$$h_c = (0,17 + 3 \cdot 10^{-4} \cdot 35) \cdot (48 - 35) = 27,5 \text{ м,}$$

где $L = 48 \text{ м}$ – расстояние между двумя стержневыми молниеотводами.

$$R_{cx} = r_0 \cdot (h_c - h_x) \cdot \frac{1}{h_c} \quad (56)$$

Проведем расчет по формуле (56):

$$R_{cx} = 36,1(27,5 - 9) \cdot \frac{1}{27,5} = 24,3 \text{ м.}$$

Возможная поражаемость защищаемого объекта рассчитывается по следующей формуле:

$$N = [(B + 6 \cdot h_x) \cdot (A + 6 \cdot h_x) - 7,7 \cdot h_x^2] \cdot n \cdot 10^{-6} \quad (57)$$

где A и B – длина и ширина здания.

Произведем расчет по формуле (57):

$$N = [(28 + 6 \cdot 8) \cdot (48 + 6 \cdot 8) - 7,7 \cdot 8^2] \cdot 7 \cdot 10^{-6} = 3,9$$

$N = 3,9$ - округляем до 4 – среднегодовое число ударов молний в 1 км² земной поверхности в месте нахождения здания.

Зона защиты молниеотвода представлена на рисунке 4.

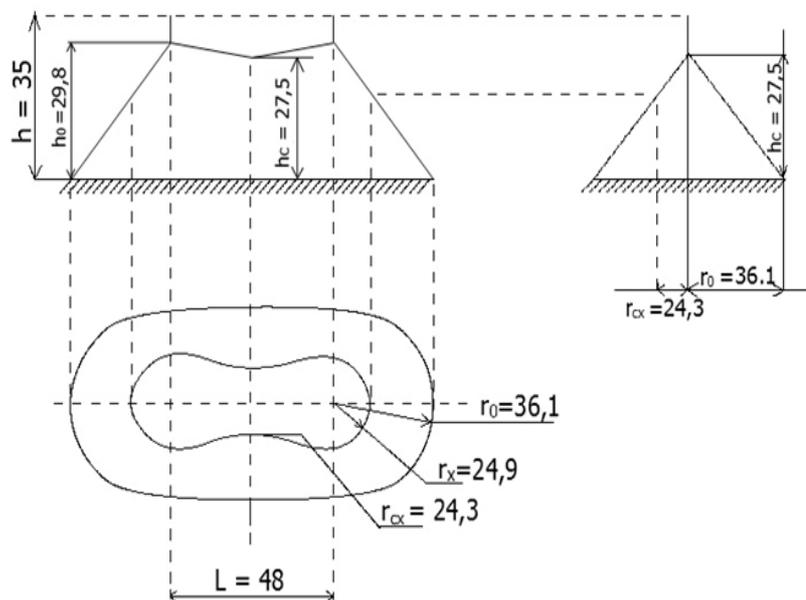


Рисунок 4 – Зона защиты молниеотвода

В восьмом разделе был выполнен расчет молниестойчивости для подстанции 110/10 кВ с учетом ее оборудования и компоновки. Были определены высокие объекты на территории подстанции, относительно которых произведен расчет зон действия молниеотводов. Для каждого объекта были рассчитаны зоны защиты, чтобы обеспечить максимальную эффективность молниезащиты и минимизировать риск повреждения оборудования от ударов молнии. В расчетах учитывались различные факторы, такие как высота объектов, их расположение и тип используемых молниеотводов.

Также была спроектирована система заземления для подстанции с учетом размещения оборудования на ее территории. Эта система включает в себя как горизонтальные, так и вертикальные заземлители. Горизонтальные заземлители обеспечивают равномерное распределение тока по поверхности земли, что снижает риск повреждения оборудования и повышает общую

надежность системы. Вертикальные заземлители, в свою очередь, обеспечивают глубокое проникновение тока в землю, что позволяет эффективно отводить избыточный ток и предотвращать его накопление на поверхности.

Проведен анализ различных типов заземлителей и их эффективности в различных условиях эксплуатации. Были рассмотрены различные материалы для заземлителей, такие как медь и сталь, чтобы определить наиболее подходящие для конкретных условий эксплуатации. На основе проведенного анализа были выбраны оптимальные заземлители, которые обеспечат надежную и эффективную работу системы заземления.

В этом разделе описаны методы проверки и тестирования системы молниезащиты и заземления, чтобы гарантировать их правильную работу и соответствие требованиям безопасности. Были проведены испытания и проверки системы, что подтвердило ее соответствие всем требованиям и стандартам. В результате проведенного исследования были предложены меры по улучшению надежности и эффективности системы молниезащиты и заземления, а также рекомендации по их техническому обслуживанию и эксплуатации.

Заключение

Исходя из основных исходных параметров, была поведена разработка системы электроснабжения для административного здания «НО РАО». Электрификация этого здания позволила не только автоматизировать множество процессов, но и повысить эффективность труда, обеспечить более комфортные условия для работы и улучшить общий уровень комфорта. В работе проведен обзор объекта исследования, изучены особенности и потребности его электропотребления, сделаны выводы о главных потребителях электроэнергии. Был выполнен проект системы электроснабжения с учетом подключения к подстанции 10/0,4 кВ.

В процессе разработки системы электроснабжения административного здания «НО РАО» был получен огромный опыт в области проектирования и получен практический опыт использования теоретических знаний для разработки реальных проектов.

В процессе разработки системы электроснабжения были учтены все современные требования и стандарты, что позволило создать надежную и эффективную систему. Были проведены расчеты по определению оптимальных параметров электрических аппаратов и проводников, что обеспечило их надежную работу в различных условиях эксплуатации. Также были рассмотрены вопросы энергоэффективности, что позволило снизить затраты на электроэнергию и уменьшить воздействие на окружающую среду.

Особое внимание было уделено вопросам безопасности, включая защиту от коротких замыканий и перегрузок. Были выбраны и установлены современные защитные устройства, которые обеспечивают надежную защиту электрической системы и предотвращают возможные аварийные ситуации. Также были разработаны рекомендации по техническому обслуживанию и эксплуатации.

Список используемых источников

1. Аполлонский С.М. Испытания и системы контроля электрических аппаратов: учеб. пособие / С. М. Аполлонский, А. Е. Козярук, Ю. В. Куклев. - СПб.: Троицкий мост, 2019. – 328 с.
2. Быстрицкий Г.Ф. Общая энергетика (производство тепловой и электрической энергии): учебник для студ. вузов / Г. Ф. Быстрицкий, Г. Г. Гасангаджиев, В. С. Кожиченков. – М.: Кнорус, 2018. – 408 с. – (Бакалавриат). – 421 с.
3. Афонин В.В. Электрические станции и подстанции. Часть 1. Электрические станции и подстанции: учебное пособие/ Афонин В.В., Набатов К.А. – Электрон. текстовые данные. – Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2019. – 90 с.
4. Балаков Ю.Н. Безопасность энергоустановок в вопросах и ответах : практ. пособие. В 2 ч. Ч. 1. Устройство и эксплуатация энергоустановок / Ю. Н. Балаков. – М. : МЭИ, 2018. – 766 с.
5. Бохмат И. С, Воротницкий В. Э., Татаринов Е. П. Снижение коммерческих потерь в электроэнергетических системах. – «Электрические станции», 2018, № 9.
6. Бударгин О. М., Бердников Р. Н., Перстнев П. А., Шимко М. Б., Воротницкий В. Э. Энергосбережение и повышение энергетической эффективности в Единой национальной электрической сети. Красноярск: ИПК «Платина», 2019. – 224 с.
7. Бурман А.П. Управление потоками электроэнергии и повышение эффективности электроэнергетических систем : учебное пособие для студентов вузов / А. П. Бурман, Ю. К. Розанов, Ю. Г. Шакарян. – М.В : МЭИ, 2019. – 335 с.
8. Игнатович В.М. Электрические машины и трансформаторы: учебное пособие / Игнатович В.М., Ройз Ш.С. – Электрон. текстовые данные. – Томск: Томский политехнический университет, 2019. – 182 с.

9. Инструкция по снижению технологического расхода электрической энергии на передачу по электрическим сетям энергосистем и энергообъединений. М.: СПО «Союзтехэнерго», 2017. – 234 с.

10. Короткие замыкания и выбор электрооборудования : учебное пособие для студентов вузов / ред.: И. П. Крючков, В. А. Старшинов. – М. : МЭИ, 2019. – 567 с.

11. Костенко Е.М. Электрооборудование и средства автоматизации. Монтаж, техническое обслуживание и ремонт: Практ. пос. / Е.М. Костенко. – М.: НЦ ЭНАС, 2019. – 320 с.

12. Костин В.Н. Электроэнергетические системы и сети: учеб. пособие для бакалавров / В.Н. Костин. – СПб. : Троицкий мост, 2018. – 304 с.

13. Кравченко А.В. Экономика энергетики и управление энергопредприятием: слайд-конспект/ Кравченко А.В., Малькова Е.В., Чернов С.С. – Электрон. текстовые данные. – Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2019.

14. Красник В. В. Эксплуатация электрических подстанций и распределительных устройств. – М.: ЭНАС, 2017. – 374 с.

15. Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок – Электрон. текстовые данные. – М.: Издательский дом ЭНЕРГИЯ, 2013. – 232 с.

16. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов (вторая редакция) (утверждены Минэкономки России, Минфин России, Госстрой России 21.06.1999 г.). – М.: Экономика, 2010.

17. Методические указания по определению климатических нагрузок на ВЛ с учетом ее длины. Стандарт организации ОАО «ФСК ЕЭС». – М.: ОАО «ФСК ЕЭС», 2019. – 100 с.

18. Можяева С. В. Экономика энергетического производства : учебное пособие / С. В. Можяева. – Санкт-Петербург : Лань, 2017. – 208 с.

19. Назарычев, А. Н. Справочник инженера по наладке, совершенствованию технологии и эксплуатации электрических станций и сетей / А. Н. Назарычев, Д. А. Андреев, А. И. Таджибаев. – Электрон. текстовые данные. – Вологда: Инфра-Инженерия, 2016. – 928 с.

20. Оперативно-диспетчерское управление в электроэнергетике. Правила безопасной организации работ оперативного персонала электроустановок / – Электрон. текстовые данные. – М.: Издательский дом ЭНЕРГИЯ, Альвис, 2019. – 800 с.

21. Павелко Н.Н. Правила безопасности в процессе монтажа, обслуживания и ремонта электрооборудования предприятий. Справочное издание / Н.Н. Павелко, С.О. Павлов. М.: КноРус, 2018. – 288 с.

22. Панибратов, Ю. П. Экономические расчеты в курсовом и дипломном проектировании: учебное пособие / Ю. П. Панибратов, Н. И. Барановская, А. А. Артамонов. – Электрон. текстовые данные. – СПб.: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2018.

23. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации / – Электрон. текстовые данные. – М.: Издательский дом ЭНЕРГИЯ, 2019. – 348 с.

24. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. – М.: Центр охраны труда, промышленной безопасности, социального партнерства и профессионального образования, 2017.