

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

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

(наименование)

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки/ специальности)

Электроснабжение

(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Проектирование системы электроснабжения коттеджного поселка

Обучающийся

А. Н. Огнев

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н. В. И. Платов

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

Тольятти 2023

Аннотация

В работе проведена реконструкция системы электроснабжения системы электроснабжения коттеджного посёлка садоводческого потребительского кооператива (далее – СПК) «Солнечное» поселения «Вороновское» Новой Москвы, обусловленная вводом в эксплуатацию новых потребителей, а также несоответствием сечения проводников, электрических аппаратов и силового трансформатора на питающей подстанции 10/0,4 кВ, новым условиям по фактической нагрузке объекта.

Приведена исходная характеристика климатических и топографических условий коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» Новой Москвы.

На основе анализа исходных данных на выполнение работы, проведено техническое обоснование мероприятий по реконструкции силовой части системы электроснабжения данного коттеджного посёлка, в результате чего выбраны и подтверждены основные технические решения, позволяющие повысить показатели надёжности, бесперебойности электроснабжения потребителей, качества электроэнергии, экономичности и безопасности на объекте исследования.

Проведён расчёт основной релейной защиты питающей сети 10 кВ системы электроснабжения коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» Новой Москвы. Выбраны и подтверждены основные схемные решения, выбраны типы и рассчитаны уставки релейной защиты, рекомендуемые для применения в системе электроснабжения объекта в результате его реконструкции.

Работа представлена расчётно-пояснительной запиской, выполненной в ОС «Microsoft Word», а также графической частью, содержащей шесть основных чертежей формата А1, полученных по результатам выполнения работы.

Содержание

Введение.....	4
1 Исходная характеристика системы электроснабжения коттеджного посёлка.....	7
1.1 Исходная характеристика климатических и топографических условий.....	7
1.2 Исходная характеристика существующей системы электроснабжения и потребителей коттеджного посёлка	10
1.3 Обоснование реконструкции системы электроснабжения коттеджного посёлка	12
2 Реконструкция системы электроснабжения коттеджного посёлка.....	16
2.1 Расчёт электрических нагрузок	16
2.2 Выбор мощности трансформатора на питающей подстанции	21
2.3 Выбор и проверка сечения проводников 10 кВ коттеджного посёлка	25
2.4 Выбор и проверка сечения проводников 0,38/0,22 кВ коттеджного посёлка	29
2.5 Расчёт токов короткого замыкания	33
2.6 Выбор и проверка электрических аппаратов 10 кВ.....	40
2.7 Выбор и проверка электрических аппаратов 0,38/0,22 кВ	44
3 Расчёт релейной защиты системы электроснабжения коттеджного посёлка.....	49
Заключение	54
Список используемых источников.....	57

Введение

Развитие строительства коттеджных посёлков в России имеет большой потенциал для улучшения качества жизни и создания комфортных жилищных условий для людей.

Известно, что современные требования к эффективности, надежности и экологической устойчивости энергетических систем коттеджных посёлков рекомендуют применение передовых технологий и инновационных решений в данной области.

Поэтому на стадии проектирования данные проблемы, как правило, отсутствуют.

Однако они имеют место в существующих системах электроснабжения коттеджных посёлков, которые были построены ещё в советский период.

Исходя из этого, многие коттеджные посёлки обеспечиваются электроэнергией по схемам, которые были разработаны несколько десятилетий назад и более, что не отвечает современным критериям надёжности и экономичности.

Кроме того, многое оборудование распределительных устройств и подстанций систем электроснабжения отечественных коттеджных посёлков устарело морально и физически, поэтому требует незамедлительной модернизации и реконструкции.

К такой системе затруднительно подключить новые потребители, а также обеспечить качественный ремонт и эксплуатацию уже существующих электроприёмников.

По этим причинам значительно участились аварии в сетях отечественных коттеджных посёлков, в результате чего потребители во многих случаях не получают электроэнергию требуемого качества.

Решение данных проблем сводится к внедрению в сетях коттеджных посёлков нового современного оборудования и качественных схемных решений, что позволит значительно повысить показатели надёжности,

бесперебойности электроснабжения потребителей, качества электроэнергии, экономичности и безопасности в системах электроснабжения коттеджных посёлков Российской Федерации.

Таким образом, применение современного оборудования и перспективных схемных решений позволит решить перечисленные проблемы, повысив технико-экономические показатели систем электроснабжения коттеджных посёлков.

Данные аспекты обуславливают актуальность настоящей работы.

Основной целью настоящей работы является разработка рекомендаций, направленных на реконструкцию системы электроснабжения коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» Новой Москвы.

Данная реконструкция обусловлена вводом в эксплуатацию новых потребителей на данном объекте, а также несоответствием сечения проводников, электрических аппаратов и силового трансформатора на питающей подстанции 10/0,4 кВ, новым условиям по фактической нагрузке системы электроснабжения коттеджного посёлка.

Объектом исследования в работе является система электроснабжения коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» Новой Москвы.

Предметом исследования является мероприятия по реконструкции, направленные на повышение показателей надёжности, бесперебойности электроснабжения потребителей, качества электроэнергии, экономичности и безопасности в системе электроснабжения объекта исследования.

В работе использованы следующие методы исследования:

- метод анализа нормативно-технической литературы;
- дедуктивный метод исследования;
- индуктивный метод исследования;
- методы теории электрических цепей;
- методы преобразования электрических схем;
- методы подобия и аналогий.

Для достижения основной цели работы, осуществляется решение следующих задач:

- привести исходную характеристику климатических и топографических условий коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» Новой Москвы, рассмотреть основное оборудование и схему системы электроснабжения объекта;
- на основе анализа исходных технических данных на выполнение работы, провести обоснование мероприятий по реконструкции системы электроснабжения типичного жилого коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» Новой Москвы;
- выбрать и подтвердить расчётным путём, основные технические решения по реконструкции силовой части схемы и оборудования системы электроснабжения типичного жилого коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» Новой Москвы, позволяющие повысить показатели надёжности, бесперебойности электроснабжения потребителей, качества электроэнергии, экономичности и безопасности на объекте исследования;
- провести расчёт основной релейной защиты питающей сети 10 кВ системы электроснабжения коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» Новой Москвы, в результате чего выбрать и подтвердить основные схемные решения, с выбором типов и расчётом уставок срабатывания релейной защиты, для применения в системе электроснабжения коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» Новой Москвы в результате её реконструкции.

Результатом работы является разработка рекомендаций, направленных на повышение показателей надёжности, бесперебойности электроснабжения потребителей, качества электроэнергии, экономичности и безопасности в системе электроснабжения коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» Новой Москвы.

1 Исходная характеристика системы электроснабжения коттеджного посёлка

1.1 Исходная характеристика климатических и топографических условий

В работе, для разработки проекта реконструкции коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» Новой Москвы, с целью уточнения исходных данных, приводится исходная характеристика климатических и топографических условий местности.

Данный анализ необходим для выбора и проверки технических решений по установке и использованию типов и марок оборудования и сетей на объекте исследования.

Рассматриваемый в работе коттеджный посёлок СПК «Солнечное» поселения «Вороновское», территориально расположено в Московской области, Подольском районе, Вороновском сельском округе, вблизи деревни Новогромово, уч. 25 (к/н з/у: 50:27:003 05 31:0044).

Подольский район, в котором расположен реконструируемый коттеджный посёлок, как и вся Московская область, находится в умеренном континентальном климате.

Для данного региона характерны четыре различных сезона с достаточно выраженными различиями в температуре и осадках.

Характеристика необходимых климатических условий местности, в которой расположен рассматриваемый коттеджного посёлок:

- район по гололеду – I, расчётная толщина гололёда – не более 15 мм;
- район по ветру – II, расчётная скорость ветра: 30-35 м/с;
- район по грозовым часам – III, количество грозовых часов в год – до 80 ч;
- степень загрязнённости атмосферы – средняя, район I-11.

Исходя из карты рельефа, установлено, что Подольский район включает в себя различные типы рельефа, от равнин до небольших возвышенностей и водоёмов.

Известно, что вся территория Московской области отличается отсутствием крутых гор и горных цепей. В районе также присутствуют водоёмы, к которым относятся небольшие реки, озёра и пруды.

Почвы в Подольском районе, как и во многих районах Московской области, варьируются от черноземов до подзолистых типов почв, что предполагает хорошую плодородность и пригодность для ведения сельского хозяйства.

В районе встречаются луга, леса, поля и другие типы природного ландшафта, которые являются характерными для данного климатического региона.

Географическое расположение поселения «Вороновское» Подольского района Московской области, в котором расположен рассматриваемый коттеджный посёлок СПК «Солнечное», показано на рисунке 1.

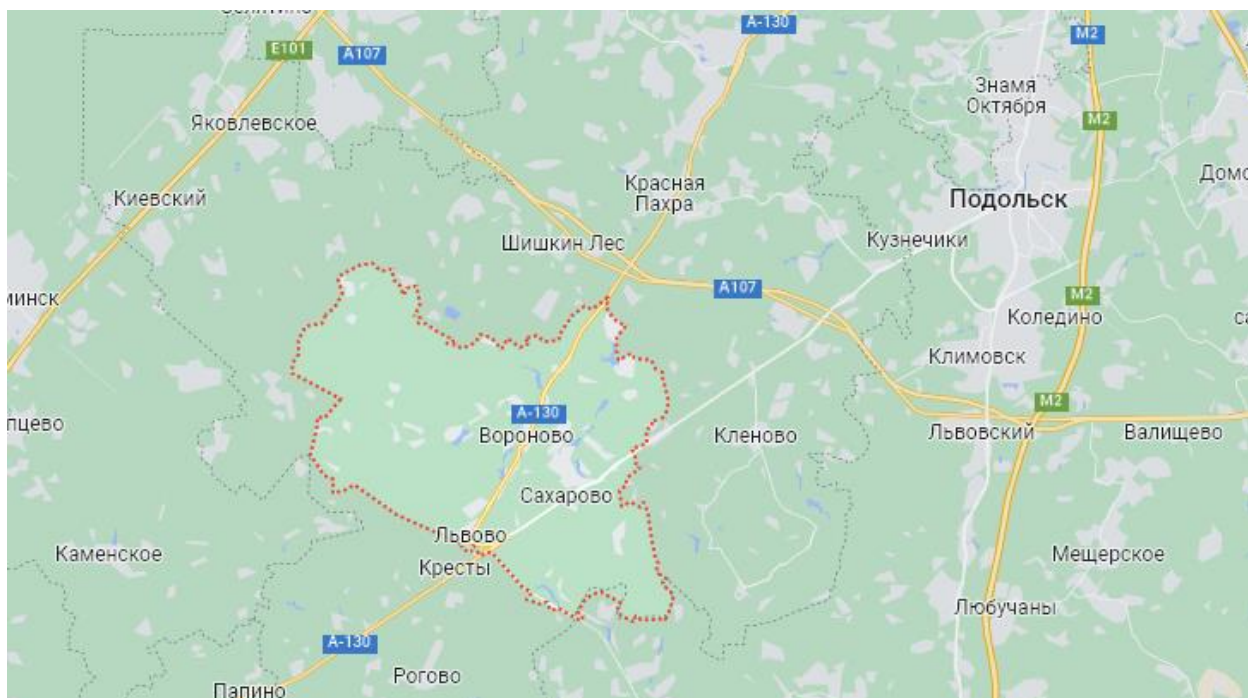


Рисунок 1 – Географическое расположение поселения «Вороновское» Подольского района Московской области, в котором расположен рассматриваемый коттеджный посёлок СПК «Солнечное»

Место проведения работ по реконструкции системы электроснабжения СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» на топографической карте местности показано на рисунке 2.

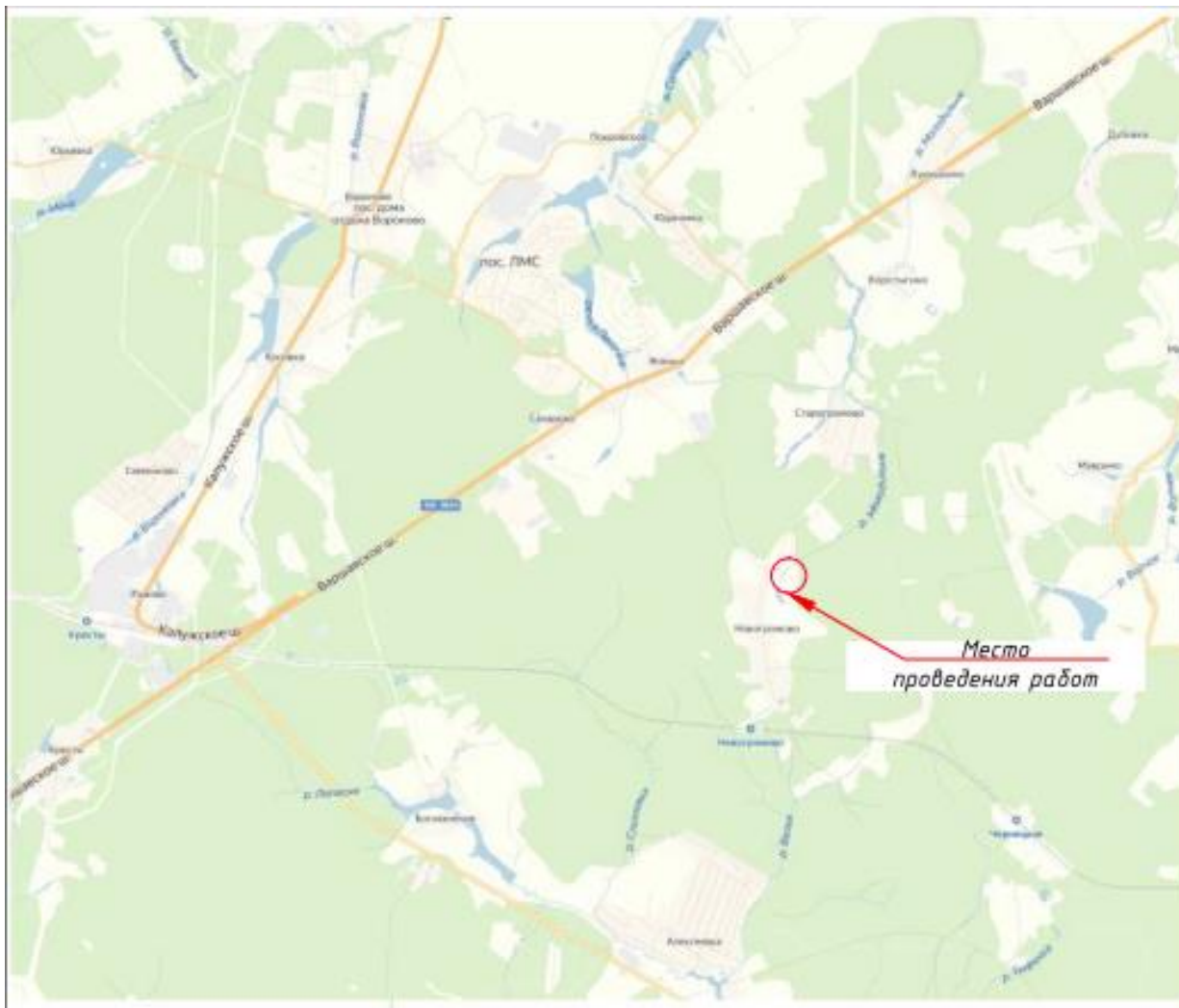


Рисунок 2– Место проведения работ по реконструкции системы электроснабжения СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» на топографической карте местности

Ситуационный план сетей 10 кВ и 0,38/0,22 кВ СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» (с учётом новых коттеджей) представлен на рисунке 3.



Рисунок 3 – Ситуационный план сетей 10 кВ и 0,38/0,22 кВ СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» (с учётом новых коттеджей)

Приведённые условия необходимо учесть в работе далее.

1.2 Исходная характеристика существующей системы электроснабжения и потребителей коттеджного посёлка

Далее в работе приводится исходная характеристика существующей системы электроснабжения и потребителей жилого коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» Новой Москвы.

Рассматриваемый в работе коттеджный посёлок СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» Новой Москвы был построен в середине 80-х годов 20 века как объект кооперативного имущества.

Коттеджный посёлок относится к III категории надёжности, поэтому получает питание от одного независимого источника согласно [12].

Этим источником является трансформаторная подстанция 10/0,4 кВ (диспетчерское наименование – «КТП-213»), с единственным силовым трансформатором марки ТМ-100/10, который понижает и распределяет электроэнергию между потребителями и освещением коттеджного посёлка.

В свою очередь, питание данной ТП-10/0,4 кВ, осуществляется на напряжении 10 кВ воздушной линией от районной подстанции ПС №59 110/10 кВ «Вороново» по магистральной схеме.

Питающая линия напряжением 10 кВ выполнена с применением проводов марки АС-25. Установлено, что данные провода значительно устарели, что приводит к частым их обрывам и возникновению аварийных режимов. Также установлено, что на стороне 10 кВ ТП-10/0,4 кВ для защиты питающей воздушной линии 10 кВ применяется устаревшая релейная защита индукционного типа (реле РТ-80). Таким образом, данные проблемы должны быть решены в работе.

Данная магистральная схема питающей сети коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» подходит для питания потребителей III категории надёжности, к которым также относится рассматриваемый коттеджный посёлок, следовательно, в реконструкции питающей схемы 10 кВ нет необходимости.

В качестве потребителей жилого коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» Новой Москвы, выступают одноэтажные типичные одноэтажные коттеджи советской постройки (построены в 1986-1988 гг.). До реконструкции таких коттеджей было 27, после реконструкции планируется ввести в эксплуатацию ещё 28 коттеджей.

Таким образом, после реконструкции в коттеджном посёлке будет 55 коттеджей.

Питание указанных коттеджей осуществляется одной магистралью, получающей питание от РУ-0,4 кВ ТП-10/0,4 кВ воздушной линией электропередач на напряжении 0,38/0,22 кВ, с применением проводов марки АС-16. Также, как и на питающей линии 10 кВ, провода марки АС-16 на магистральной линии 0,38/0,22 кВ значительно устарели, что приводит к частым их обрывам и возникновению аварийных режимов. Таким образом, данная проблема также должна быть решена в работе.

На основе приведённой информации, далее в работе проводится обоснование мероприятий по реконструкции системы электроснабжения коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское».

1.3 Обоснование реконструкции системы электроснабжения коттеджного посёлка

Далее в работе проводится обоснование реконструкции системы электроснабжения жилого коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» Новой Москвы.

Как было установлено ранее, реконструкция системы электроснабжения СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» обусловлена вводом в эксплуатацию новых потребителей на данном объекте, а также несоответствием сечения проводников, электрических аппаратов и силового трансформатора на питающей подстанции 10/0,4 кВ, новым условиям по фактической нагрузке системы электроснабжения коттеджного посёлка.

Установлено, что планируется ввести в эксплуатацию в коттеджном посёлке 28 коттеджей. Таким образом, после реконструкции в коттеджном посёлке будет 55 коттеджей.

Определены основные технические условия на разработку проекта реконструкции СПК «Солнечное» поселения «Вороновское»:

- класс напряжения электрических сетей, к которым осуществляется технологическое присоединение источника СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» – 10 кВ;
- класс напряжения электрических сетей, к которым осуществляется технологическое присоединение новых потребителей СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» – 0,38/0,22 кВ;
- точка присоединения – существующая опора ВЛ-10кВ фидер Л-1, отходящей от секции РУ-10 кВ РП-10 кВ № 15 – 156,24 кВт.

Следовательно, исходя из анализа исходных данных на выполнение работы, с учётом основных технических условий на разработку проекта реконструкции СПК «Солнечное» поселения «Вороновское», установлено:

- в связи с тем, что к системе электроснабжения коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» планируется подключить новые потребители (коттеджи), необходимо ввести в эксплуатацию новую магистральную линию 0,38/0,22 кВ, проверить на перегрузочную способность силовой трансформатор питающей ТП-10/0,4 кВ, а также установить новые коммутационные и защитные аппараты в РУ-0,4 кВ ТП-10/0,4 кВ для защиты и коммутации новой магистральной линии;
- питание коттеджей осуществляется воздушными линиями электропередачи на напряжении 0,38/0,22 кВ с применением проводов марки АС, также, как и на питающей линии 10 кВ, провода марки АС на распределительных линиях 0,38/0,22 кВ значительно устарели, что приводит к частым их обрывам и возникновению аварийных режимов, таким образом, данную проблему предлагается решить в работе путём замены устаревших проводников марки АС на питающей и распределительных линиях, на соответствующие марки проводов СИП, обладающих высокой надёжностью, механической прочностью, устойчивостью к образованию гололёда, а также высокими техническими показателями;

- на стороне 10 кВ ТП-10/0,4 кВ для защиты питающей воздушной линии 10 кВ применяется устаревшая релейная защита индукционного типа (реле РТ-80), такая защита требует полной замены на новые современные типы, таким образом, основываясь на данной информации, в работе также предложено провести реконструкцию релейной защиты питающей линии 10 кВ.

Выводы по разделу.

В работе, для разработки проекта реконструкции коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» Новой Москвы, с целью уточнения исходных данных, приведена исходная характеристика климатических и топографических условий местности.

Определено, что данный анализ необходим для выбора и проверки технических решений по установке и использованию типов и марок оборудования и сетей на объекте исследования.

Приведена исходная характеристика существующей системы электроснабжения и потребителей жилого коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» Новой Москвы.

Рассмотрены источники питания и потребители данного коттеджного посёлка, а также техническое состояние оборудования его системы электроснабжения.

Установлено, что планируется ввести в эксплуатацию в коттеджном посёлке 28 новых коттеджей. Предложено запитать их от новой магистральной линии 0,38/0,22 кВ. Таким образом, после реконструкции в коттеджном посёлке будет 55 коттеджей.

Исходя из анализа исходных данных на выполнение работы, с учётом характеристик источников питания, потребителей и состояния оборудования, а также основных технических условий на разработку проекта реконструкции СПК «Солнечное» поселения «Вороновское», установлено следующее:

- в связи с тем, что к системе электроснабжения коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» планируется

подключить новые потребители (коттеджи), необходимо ввести в эксплуатацию новую магистральную линию 0,38/0,22 кВ, проверить на перегрузочную способность силовой трансформатор питающей ТП-10/0,4 кВ, а также установить новые коммутационные и защитные аппараты в РУ-0,4 кВ ТП-10/0,4 кВ для защиты и коммутации новой магистральной линии;

- питание коттеджей осуществляется воздушными линиями электропередачи на напряжении 0,38/0,22 кВ с применением проводов марки АС, также, как и на питающей линии 10 кВ, провода марки АС на распределительных линиях 0,38/0,22 кВ значительно устарели, что приводит к частым их обрывам и возникновению аварийных режимов, таким образом, данную проблему предлагается решить в работе путём замены устаревших проводников марки АС на питающей и распределительных линиях, на соответствующие марки проводов СИП, обладающих высокой надёжностью, механической прочностью, устойчивостью к образованию гололёда, а также высокими техническими показателями;
- на стороне 10 кВ ТП-10/0,4 кВ для защиты питающей воздушной линии 10 кВ применяется устаревшая релейная защита индукционного типа (реле РТ-80), такая защита требует полной замены на новые современные типы, таким образом, основываясь на данной информации, в работе также предложено провести реконструкцию релейной защиты питающей линии 10 кВ.

Приведённые мероприятия по реконструкции системы электроснабжения СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» детально рассматриваются и решаются в работе далее.

2 Реконструкция системы электроснабжения коттеджного посёлка

2.1 Расчёт электрических нагрузок

Далее в работе проводится расчёт электрических нагрузок реконструируемого коттеджного посёлка.

Расчет электрических нагрузок для реконструируемого коттеджного поселка является важной частью процесса проектирования электроснабжения.

Цели и задачи расчета силовых нагрузок в системе электроснабжения коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» Новой Москвы, вытекают из необходимости обеспечения эффективной, устойчивой и безопасной работы электроэнергетической инфраструктуры.

Основные цели и задачи такого расчёта включают в себя [17]:

- непосредственный расчёт нагрузки отдельных потребителей, магистральных линий и общей нагрузки поселка;
- выбор оборудования, сечения проводников и трансформаторов: на основе расчетов и схемы распределения нагрузок, необходимо выбрать рациональное электрооборудование, включая силовой трансформатор питающей ТП-10/0,4 кВ, коммутационные и защитные аппараты, а также сечения новых питающих и распределительных линий коттеджного посёлка после проведения реконструкции;
- проверка схемных решений по питающей линии 10 кВ и магистральным линиям 0,38/0,22 кВ, в случае превышения нагрузки на участках сети, выбрать другие схемные решения;
- учет возможного роста нагрузки («перспективная нагрузка»): по результатам расчёта нагрузок потребителей, магистральных линий и всей системы электроснабжения коттеджного посёлка, необходимо учесть возможный рост энергопотребления в будущем, например, из-за увеличения числа жителей, установки нового оборудования, перспектив развития посёлка.

Таким образом, расчет нагрузок в системе электроснабжения коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» Новой Москвы имеет глубокое научное и практическое значение для обеспечения надежной и безопасной работы электрической инфраструктуры данного объекта, с учётом соответствия стандартам и оптимизации энергопотребления.

Как было указано ранее, в системе электроснабжения коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» Новой Москвы находится 55 однотипных коттеджей (с учётом новых объектов).

Расчёт нагрузки проводится по методике [12] с использованием [14].

Согласно схеме электроснабжения, суммарная нагрузка коттеджного посёлка состоит из силовой расчётной нагрузки однотипных коттеджей и нагрузки наружного освещения.

Расчёт проводится для двух случаев – дневного и вечернего режимов работы системы электроснабжения коттеджного посёлка [12].

Принимается в работе значение удельных мощностей нагрузки на один коттедж [12]:

- «в дневном режиме – 3,4 кВт;
- в вечернем режиме – 3,5 кВт» [12].

Значение расчётных силовых нагрузок на вводе коттеджей коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» Новой Москвы [12]

$$P_{p.1} = K_o P_{ном}, \text{ кВт}, \quad (1)$$

$$Q_{p.1} = P_{p.1} \cdot \operatorname{tg}\varphi, \text{ квар}, \quad (2)$$

$$S_{p.1} = \sqrt{P_{p.1}^2 + Q_{p.1}^2}, \text{ кВА}. \quad (3)$$

Коэффициент активной мощности коттеджей коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» Новой Москвы [12]:

$$\cos\varphi = P_{p.1} / S_{p.1}. \quad (4)$$

По условиям (1-4) проводится расчёт силовой нагрузки коттеджей коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» Новой Москвы в дневном режиме:

$$P_{p,1} = 3,4 \cdot 1,0 = 3,4 \text{ кВт.}$$

$$Q_{p,1} = 3,4 \cdot 0,48 = 1,6 \text{ квар.}$$

$$S_{p,1} = \sqrt{3,4^2 + 1,6^2} = 3,8 \text{ кВА.}$$

По условиям (1-4) проводится расчёт силовой нагрузки коттеджей коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» Новой Москвы в вечернем режиме:

$$P_{p,1} = 3,5 \cdot 1,0 = 3,5 \text{ кВт.}$$

$$Q_{p,1} = 3,5 \cdot 0,48 = 1,7 \text{ квар.}$$

$$S_{p,1} = \sqrt{3,5^2 + 1,7^2} = 3,9 \text{ кВА.}$$

Полученные результаты расчёта нагрузок в дневном и вечернем режиме для отдельных коттеджей коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» Новой Москвы приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Полученные результаты расчёта нагрузок в дневном и вечернем режиме для отдельных коттеджей коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» Новой Москвы

Наименование объекта	Кол-во, шт.	Нагрузки (день)			Нагрузки (вечер)		
		Р _д , кВт	Q _д , квар	S _д , кВА	Р _в , кВт	Q _в , квар	S _в , кВА
Коттедж (типичный одноэтажный)	55	3,4	1,6	3,8	3,5	1,7	3,9

Суммарные нагрузки жилых домов [12]:

$$P_{\Sigma I} = P_{\Sigma} \cdot n \cdot K_o, \text{кВт}, \quad (5)$$

$$Q_{\Sigma I} = P_{\Sigma} \cdot n \cdot K_o \cdot \text{tg}\varphi, \text{квар}, \quad (6)$$

$$S_{\Sigma I} = \sqrt{P_{\Sigma I}^2 + Q_{\Sigma I}^2}, \text{кВА}, \quad (7)$$

«где K_o – коэффициент одновременности, в работе принимается для жилой застройки, включающей одноэтажные коттеджи, при $n > 50$, значение $K_o = 0,4$ » [14].

«Расчётные значения суммарных силовых нагрузок коттеджей коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» Новой Москвы» [14]:

– «дневной режим» [14]:

$$P_{\Sigma I} = 3,4 \cdot 55 \cdot 0,4 = 74,8 \text{ кВт};$$

$$Q_{\Sigma I} = 3,4 \cdot 55 \cdot 0,4 \cdot 0,48 = 35,9 \text{ квар};$$

$$S_{\Sigma I} = \sqrt{74,8^2 + 35,9^2} = 82,98 \text{ кВА}.$$

– «вечерний режим» [14]:

$$P_{\Sigma I} = 3,5 \cdot 55 \cdot 0,4 = 77 \text{ кВт};$$

$$Q_{\Sigma I} = 3,5 \cdot 55 \cdot 0,4 \cdot 0,48 = 36,96 \text{ квар};$$

$$S_{\Sigma I} = \sqrt{77^2 + 36,96^2} = 85,4 \text{ кВА}.$$

«Расчетная активная нагрузка наружного освещения коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» Новой Москвы определяется так» [6]:

$$P_{ул.осв.} = P_{уд.осв.} \cdot S, кВт, \quad (8)$$

«где $P_{уд.осв.}$ – удельная мощность уличного освещения, Вт/м, [2];

S – площадь, подлежащая освещению (суммарная длина улиц с асфальтобетонным покрытием рассматриваемого посёлка), м²» [4].

$$P_{ул.осв.} = 2,7 \cdot 4800 \cdot 10^{-3} \approx 13 кВт.$$

«Расчётные активная, реактивная и полная нагрузка наружного освещения коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» Новой Москвы с учётом источников света – светодиодных прожекторных ламп, $\cos \varphi = 0,73$ » [4]

$$Q_{ул.осв.} = P_{ул.осв.} \cdot \operatorname{tg} \varphi, квар. \quad (9)$$

$$S_{ул.осв.} = \sqrt{P_{ул.осв.}^2 + Q_{ул.осв.}^2}, кВА. \quad (10)$$

«Результаты расчёта уличного освещения по (8) - (10)» [4]:

$$P_{ул.осв.} = 13 кВт.$$

$$Q_{ул.осв.} = 13 \cdot 0,93 = 12,1 квар.$$

$$S_{ул.осв.} = \sqrt{13^2 + 12,1^2} = 17,8 кВА.$$

«Суммарные нагрузки для вечернего режима рассчитывается с учётом уличного освещения» [14]:

$$P_{\Sigma \varepsilon} = 77 + 13 = 90 кВт;$$

$$Q_{\Sigma \varepsilon} = 36,96 + 12,1 = 49,06 квар;$$

$$S_{\Sigma s} = \sqrt{90^2 + 49,06^2} = 102,5 \text{ кВА.}$$

«Так как полученные значения расчетной электрической нагрузки для вечернего режима больше, чем расчётные нагрузки дневного режима, следовательно, дальнейшие расчёты проводятся для полученных значений вечернего режима нагрузки» [9].

«На основе полученных значений расчётных нагрузок вечернего режима, далее в работе проводится выбор и проверка силовых трансформаторов на питающей ТП-10/0,4 кВ коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» Новой Москвы, а также проводников и аппаратов» [4].

2.2 Выбор мощности трансформатора на питающей подстанции

Известно, что питающая трансформаторная подстанция коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» Новой Москвы ТП-10/0,4 кВ выполняют важную роль в приёме и распределении электроэнергии между конечными потребителями и питающей сетью 10 кВ системы электроснабжения коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» Новой Москвы.

Исходя из того, что в системе электроснабжения коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» Новой Москвы, с учётом перспективной нагрузки, присутствует 55 объектов коттеджного типа, относящихся к III категории надёжности потребителей, а также имеющих незначительную нагрузку, предлагается на питающей ТП-10/0,4 кВ оставить один силовой трансформатор [11].

До реконструкции на питающей ТП-10/0,4 кВ был установлен силовой трансформатор марки ТМ-100/10.

Исходя из этого, в работе необходимо проверить мощность силового

трансформатора для установки на ТП-10/0,4 кВ с учётом питания новой перспективной нагрузки.

«Мощность силового трансформатора на понизительной ТП коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» Новой Москвы выбирается по условию» [19]:

$$S_{тр.ном.} \geq \frac{S_p}{K_3^n \cdot n_{тр.}} \quad (11)$$

«где K_3 – нормируемое значение коэффициента загрузки силового трансформатора на подстанции (в работе для однострансформаторной ТП-10/0,4 кВ принимается значение $K_3 = 0,95$)» [19].

«Для ТП-10/0,4 кВ коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» Новой Москвы» [19]:

$$S_{тр.ном.1} \geq \frac{102,5}{0,95 \cdot 1} = 107,9 \text{ кВА.}$$

Предварительно выбирается силовой трансформатор марки ТМГ-160/10 с номинальной мощностью 160 кВА.

Предварительно выбранный силовой трансформатор ТП-10/0,4 кВ коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» Новой Москвы необходимо проверить далее на допустимую нагрузку и аварийную перегрузку, принимая во внимание загрузку трансформатора активной мощностью [9].

При этом, так как подстанции питает потребители и объекты III категории надёжности, нормативные рекомендуемые коэффициенты максимальной загрузки силового трансформатора на данной подстанции принят согласно рекомендациям [9]:

– нормативный коэффициент загрузки в нормальном режиме работы

равен $K_3 = 0,9-0,95$;

– максимальный нормативный коэффициент перегрузки в послеаварийном режиме $K_3 = 1,8-1,9$.

Так как в схеме отсутствует резервирование в виде второго независимого источника питания (второго силового трансформатора на подстанции 10/0,4 кВ), следовательно, проверка по условиям допустимой перегрузки в послеаварийном режиме единственного силового трансформатора на ТП-10/0,4 кВ не проводится.

«Коэффициент загрузки силового трансформатора в нормальном режиме» [3]:

$$\beta_T = \frac{S_{p.ТП}}{S_{тр.ном.} \cdot n_{тр.}} \quad (12)$$

«Коэффициент загрузки в послеаварийном режиме» [3]:

$$\beta_{ав.Т} = \frac{S_{p.ТП}}{S_{тр.ном.} \cdot (n_{тр.} - 1)} \quad (13)$$

«Коэффициенты загрузки трансформаторов» [19]:

$$0,6 \leq \beta_T \leq 0,9; \beta_{ав.Т} \leq 1,8. \quad (14)$$

Значит, нормативная нагрузка силового трансформатора, установленного на ТП-10/0,4 кВ коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» Новой Москвы, в нормальном режиме работы соответствует нормативным данным:

$$\beta_T = \frac{102,5}{160 \cdot 1} = 0,64 \leq 0,9.$$

Исходя из полученных результатов расчёта, установлено, что силовой трансформатор марки ТМ-100/10, который был установлен до реконструкции на питающей ТП-10/0,4 кВ, не подходит для питания коттеджного посёлка с учётом подключения новой (перспективной) нагрузки.

Его следует заменить на силовой трансформатор марки ТМГ-160/10, отвечающий данным условиям. В работе принимается к установке комплектная трансформаторная подстанция 10/0,4 кВ с одним силовым трансформатором ТМ-160/10.

Конструкция питающей ТП-10/0,4 кВ коттеджного посёлка с применением нового силового трансформатора марки ТМГ-160/10, выбранного в результате реконструкции коттеджного посёлка, показана на рисунке 4.

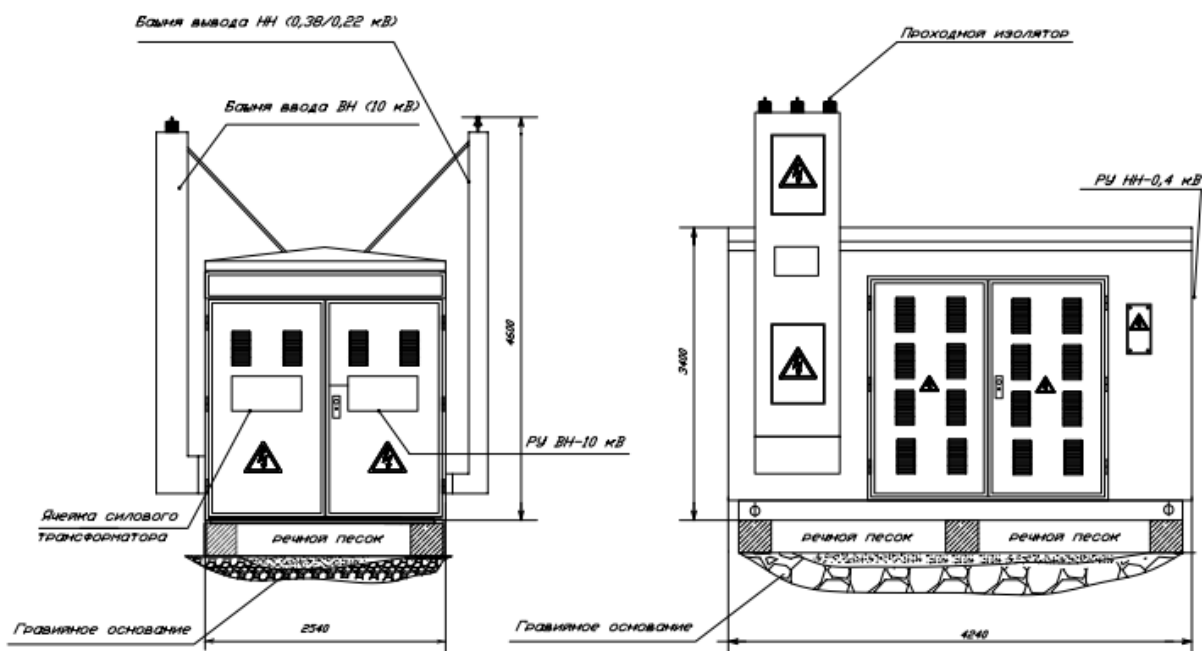


Рисунок 4 – Конструкция питающей ТП-10/0,4 кВ коттеджного посёлка с применением нового силового трансформатора марки ТМГ-160/10, выбранного в результате реконструкции коттеджного посёлка

Такая конструкция питающей ТП-10/0,4 кВ коттеджного посёлка характеризуется следующими значительными преимуществами:

- компактность;

- надёжность;
- простота в монтаже, обслуживании и ремонте;
- возможность расширения и модернизации.

Таким образом, применение нового типа трансформаторной подстанции в виде КТП-10/0,4 кВ с одним силовым трансформатором марки ТМГ-160/10, обоснован.

2.3 Выбор и проверка сечения проводников 10 кВ коттеджного посёлка

Как было указано ранее, электроснабжение на всех звеньях реконструируемого коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» Новой Москвы осуществляется с помощью воздушных линий электропередачи, выполненных с применением устаревших проводов марки АС.

Установлено, что на питающей линии 10 кВ, провода марки АС-25 значительно устарели, что приводит к частым их обрывам и возникновению аварийных режимов. Таким образом, данную проблему предлагается решить в работе путём замены устаревших проводников марки АС-25 на питающей линии 10 кВ, на соответствующие марки проводов СИП, обладающих высокой надёжностью, механической прочностью, устойчивостью к образованию гололёда, а также высокими техническими показателями.

Известно, что современные самонесущие изолированные провода марки СИП имеют ряд значительных преимуществ по сравнению с устаревшими проводами марки АС [11]:

- высокая надёжность конструкции;
- высокая безопасность вследствие изоляции проводника;
- высокая механическая устойчивость к повреждениям;
- большая пропускная способность,

- меньшие потери электроэнергии за счёт сниженных значений удельного сопротивления;
- долговечность;
- защита от радиопомех и электромагнитных полей;
- возможность применения в агрессивных средах;
- удобство монтажа, эксплуатации и ремонта.

Таким образом, выбор проводников марки СИП для замены устаревших проводников на питающей линии 10 кВ коттеджного посёлка, является обоснованным решением.

В работе для применения на питающей линии 10 кВ выбрана модификация изолированного самонесущего провода марки СИП-3.

«Выбор сечения питающей ВЛ 10 кВ осуществляется по максимальной нагрузке коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» Новой Москвы для режима вечерней нагрузки по экономической плотности тока с использованием следующей формулы» [20]:

$$S_{\text{ек}} = \frac{I_{\text{макс}}}{j_{\text{эк}}}, \text{ мм}^2, \quad (15)$$

«Где $I_{\text{макс}}$ – значение максимального расчётного тока в нормальном режиме, А;

$j_{\text{эк}}$ – нормируемое значение экономически выгодной плотности тока в проводнике, А/мм²» [20].

«По условию (13)» [20]:

$$F_{\text{экв}} = \frac{5,92}{1,4} = 4,2 \text{ мм}^2.$$

«Выбирается для питающей линии 10 кВ, провод СИП-3 1×25 с допустимым током 130 А.

Значение максимального расчётного тока проводится для режима «вечерней нагрузки» [4]:

$$I_{\text{макс}} = \frac{S \sum^{\varepsilon}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}}, A, \quad (16)$$

«где $U_{\text{ном}}$ – номинальное напряжение сети, кВ» [4].

«По условию (16)» [20]:

$$I_{\text{макс}} = \frac{102,5}{\sqrt{3} \cdot 10} = 5,92 A.$$

«Сечение выбранного провода отпайки ВЛ - 10 кВ, осуществлено проводом СИП выбранного сечения, проверяется на нагрев током максимального режима по условию» [11]:

$$K_{\text{рез}} I'_{\text{доп}} \geq I_{\phi} = K_{\text{рез}} I_{\text{макс}}, A, \quad (17)$$

«где $K_{\text{рез}}$ - коэффициент резервирования;

$I'_{\text{доп}}$ – допустимое значение тока СИП с учётом отклонений от стандартных условий, А» [11].

«Допустимый ток СИП с учётом отклонений от стандартных условий» [10]:

$$I'_{\text{доп}} = K_{\text{сп}} K_{\text{пр}} I_{\text{доп}}, A, \quad (18)$$

«где $K_{\text{пр}}$ – поправочный коэффициент на количество фазных проводников, находящихся рядом. Принимается $K_{\text{пр}} = 0,9$.

$K_{\text{рез}}$ - коэффициент резервирования» [10].

«Выбранный провод марки СИП-3 1×25 с допустимым током 130 А проверяется по условию (18)» [10]:

$$1 \cdot 0,9 \cdot 130 = 117 \text{ А} > 1 \cdot 5,92 = 5,92 \text{ А}.$$

«Проверка провода на потерю напряжения» [1]:

$$\Delta U_n \leq \Delta U_{\text{дон}} = 5 \%. \quad (19)$$

«Потери напряжения в линии в нормальном режиме работы» [1]:

$$\Delta U_n = \frac{S_p \cdot l \cdot (r_0 \cdot \cos \varphi + x_0 \cdot \sin \varphi)}{U_n^2} \cdot 100, \%. \quad (20)$$

«Для провода СИП-3 3×25: $r_0=2,06$ Ом/км; $x_0=0,405$ Ом/км» [4].

«По условию (18) для отпайки ВЛ-10 с проводом СИП-3 1×25 и длиной линии 0,078 км» [7]:

$$\Delta U_n = \frac{150320 \cdot 0,078 \cdot (2,06 \cdot 0,9 + 0,405 \cdot 0,44)}{10000^2} \cdot 100 = 0,24\%.$$

«Условие (17) выполняется» [15]:

$$\Delta U_n = 0,24\% \leq \Delta U_{\text{дон}} = 5 \%.$$

Условия всех проверок выполняются, следовательно, окончательно принимается провод марки СИП-3 1×25 на отпайке ВЛ-10 кВ для питания ТП-10/0,4 кВ коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» Новой Москвы.

2.4 Выбор и проверка сечения проводников 0,38/0,22 кВ коттеджного посёлка

Также, как и на питающей линии 10 кВ, провода марки АС на распределительных линиях 0,38/0,22 кВ значительно устарели, что приводит к частым их обрывам и возникновению аварийных режимов.

Таким образом, данную проблему предлагается решить в работе путём замены устаревших проводников марки АС на питающей и распределительных линиях, на соответствующие марки проводов СИП, обладающих высокой надёжностью, механической прочностью, устойчивостью к образованию гололёда, а также высокими техническими показателями

В работе для применения на распределительных линиях 0,38/0,22 кВ выбрана модификация изолированного самонесущего провода марки СИП-2.

«С учётом присоединения дополнительных потребителей, на территории коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» Новой Москвы имеются две питающих магистрали: М1 и М2, от которых также предусмотрены отпайки (графический лист 1)» [17].

С учётом того, что в работе для питания коттеджей, относящихся к III категории надёжности, применяется магистральная схема без резервирования, на первом этапе проводится расчёт эквивалентных мощности и токов двух основных магистралей 0,38/0,22 кВ.

«Расчет эквивалентной мощности магистрали проводится по формуле» [17]:

$$S_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (S_{\text{уч}i}^2 \cdot l_{\text{уч}i})}{\sum_{i=1}^n l_{\text{уч}i}}}, \text{кВА.} \quad (21)$$

«Расчёт эквивалентного тока магистрали» [17]:

$$I_{\text{экв}} = \frac{S_{\text{экв}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}}, \text{А.} \quad (22)$$

«Определение сечения провода магистрали по экономической плотности тока» [4]:

$$F_{\text{экв}} = \frac{I_{\text{экв}}}{j_{\text{ЭК}}}, \text{мм}^2.$$

Расчёт потери напряжения, в процентах [1]:

$$\Delta U \% = \frac{S \cdot l \cdot (r_0 \cdot \cos \varphi + x_0 \cdot \sin \varphi)}{U_n^2} \cdot 100, \%. \quad (23)$$

«Проводится расчёт магистрали М1 с отпайками М1.1 – М1.3» [17].

«Расчётная схема магистрали М1 с отпайками М1.1 – М1.3 напряжением 0,38/0,22 кВ коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» Новой Москвы представлена на рисунке 2» [13].

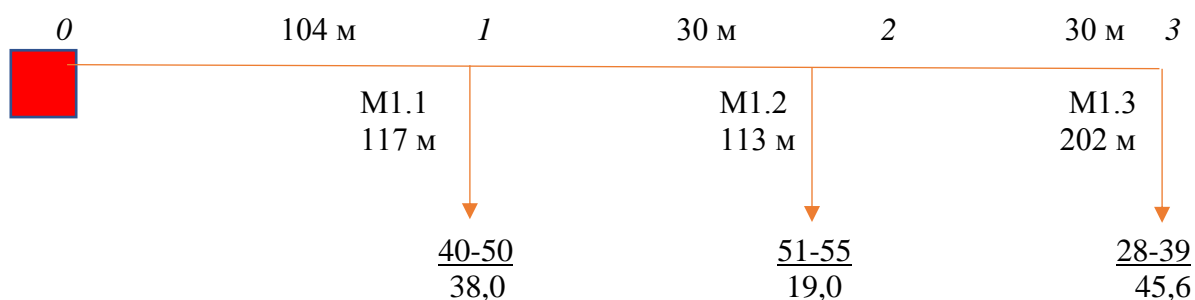


Рисунок 2 – «Расчётная схема магистрали М1 с отпайками М1.1 – М1.3 напряжением 0,38/0,22 кВ коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» Новой Москвы» [13]

«Проводится расчет эквивалентной мощности и тока магистрали М1 по условиям (22) и (23)» [13]:

$$S_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{38^2 \cdot 104 + 19^2 \cdot 30 + 45,6^2 \cdot 30}{104 + 30 + 30}} = 38,05 \text{ кВА},$$
$$I_{\text{экв}} = \frac{38,05}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 58,5 \text{ А}.$$

«Стандартное сечение провода магистрали М1» [4]:

$$F_{\text{экв}} = \frac{58,5}{1,3} = 45,03 \text{ мм}^2.$$

«Принимается сечение провода на магистрали М1 марки СИП-2 (3×50+1×50): $r_0=0,822$ Ом/км; $x_0=0,07$ Ом/км. Также принимается сечение проводников на отпайках магистрали М1 (М1.1 – М1.3) марки СИП-2 (3×35+1×35): $r_0=1,54$ Ом/км; $x_0=0,078$ Ом/км» [4].

«Потеря напряжения на первом участке М1.1 питающей магистрали М по условию (23)» [13]:

$$\Delta U\%_{0-1} = \frac{3805 \cdot 0,104 \cdot (0,9 \cdot 0,822 + 0,44 \cdot 0,07)}{380^2} \cdot 100 = 0,21\%.$$

«Потеря напряжения на втором участке М1.2 питающей магистрали М по условию (23)» [13]:

$$\Delta U\%_{1-2} = \frac{1900 \cdot 0,03 \cdot (0,9 \cdot 0,822 + 0,44 \cdot 0,07)}{380^2} \cdot 100 = 0,12\%.$$

«Потеря напряжения на третьем участке М1.3 питающей магистрали М по условию (23)» [13]:

$$\Delta U\%_{2-3} = \frac{4560 \cdot 0,03 \cdot (0,9 \cdot 0,822 + 0,44 \cdot 0,07)}{380^2} \cdot 100 = 0,16\%.$$

Аналогично проведены расчёты сечения проводников на второй питающей магистрали М2 и её отпайках.

«Для второй магистрали принимается сечение провода на магистрали М2 марки СИП-2 (3×50+1×50), на отпайках магистрали М2 – провода марки СИП-2 (3×35+1×35): $r_0=1,54$ Ом/км; $x_0=0,078$ Ом/км [4].

Результаты расчётов сети 0,38/0,22 кВ и выбор сечения проводников коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» Новой Москвы представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты расчётов сети 0,38/0,22 кВ и выбор сечения проводников коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» Новой Москвы

Участок	Кол-во потребителей на отпайке, шт.	Длина на участке, м	Марка провода на отпайке	Марка провода питающей магистрали	ΔU, %	
					на участке	от ПС
Питающая магистраль М1						
0-1	10	104	СИП-2 (3×35+1×35)	СИП-2 (3×50+1×50)	0,21	0,21
1-2	5	30	СИП-2 (3×35+1×35)		0,12	0,33
2-3	12	30	СИП-2 (3×35+1×35)		0,16	0,49
Питающая магистраль М2						
0-1	10	98	СИП-2 (3×35+1×35)	СИП-2 (3×50+1×50)	0,23	0,23
1-2	4	39	СИП-2 (3×35+1×35)		0,14	0,37
2-3	4	63	СИП-2 (3×35+1×35)		0,16	0,53
3-4	4	48	СИП-2 (3×35+1×35)		0,14	0,67
4-5	4	55	СИП-2 (3×35+1×35)		0,15	0,82

Результаты расчётов сети 0,38/0,22 кВ и выбор сечения проводников коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» Новой Москвы показаны в графической части работы.

2.5 Расчёт токов короткого замыкания

Далее в работе необходимо рассчитать тока трёхфазного и двухфазного короткого замыкания (далее – КЗ) в основных расчётных точках системы электроснабжения жилого коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» Новой Москвы.

Согласно заданию на выполнение работы, необходимо провести расчёт токов КЗ в двух режимах: в максимальном режиме (трёхфазный ток КЗ) и минимальном режиме работы (двухфазный ток КЗ).

Причём в первом случае полученные токи КЗ используются для проверки основного оборудования на термическую и электродинамическую стойкости к токам КЗ, а во втором – для проверки чувствительности уставок релейной защиты и автоматики.

Также в работе проводится расчёт однофазных токов КЗ в сети 10 кВ и 0,4 кВ с целью проверки и выбора уставок релейной защиты от однофазных замыканий на землю.

Исходные данные для расчёта принимаются согласно заданию на выполнение работы с учётом оборудования, которое выбрано в работе и рекомендовано к установке на объекте проектирования в результате проведения мероприятий по реконструкции.

Расчёт токов КЗ проводится в сети 10 кВ (расчётная точка К1) и в сети до 1 кВ (расчётная точка К2).

Таким образом, исходная схема предполагает расчёт токов КЗ в трёх расчётных точках:

- на выводах силового трансформатора 10 кВ (расчётная точка К1);
- на выводах обмотки 0,4 кВ силового трансформатора (расчётная точка К2).

Расчетная схема сети для расчёта ток трёхфазного, двухфазного и однофазного токов короткого замыкания в основных расчётных точках

системы электроснабжения жилого коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» Новой Москвы, представлена на рисунке 5.

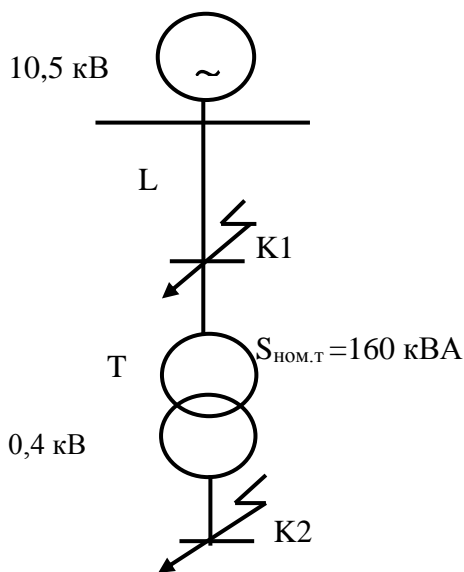


Рисунок 5 – Расчетная схема сети для расчёта ток трёхфазного, двухфазного и однофазного токов короткого замыкания в основных расчётных точках системы электроснабжения жилого коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» Новой Москвы

В схеме замещения применяется метод эквивалентной замены существующих элементов на соответствующие сопротивления. Токи КЗ переносятся на схему автоматически.

В цепи 0,4 кВ каждое сопротивление представляется в виде двух составляющих – активного (омического) и индуктивного (реактивного).

Далее проводится расчёт сопротивлений схемы замещения с её параллельным преобразованием.

При дальнейшем преобразовании схемы замещения, проводится алгебраическое сложение значений сопротивлений с нахождением значения полного эквивалентного сопротивления.

Схема замещения сети для расчёта ток трёхфазного, двухфазного и однофазного токов короткого замыкания в основных расчётных точках системы электроснабжения жилого коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» Новой Москвы, показана на рисунке 6.

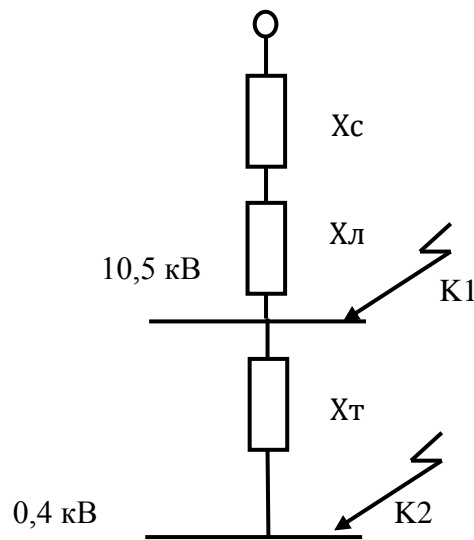


Рисунок 6 – Схема замещения сети для расчёта ток трёхфазного, двухфазного и однофазного токов короткого замыкания в основных расчётных точках системы электроснабжения жилого коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» Новой Москвы

«Проводится расчёт тока трёхфазного КЗ в точке К1 (сеть 10 кВ – на выводах силового трансформатора) в именованных единицах при приведении к базисным условиям» [12]:

$$I_{к1}^{(3)} = \frac{E_c}{x_c + x_L} \cdot I_{\sigma}, A, \quad (24)$$

«где E_c - сверхпереходная ЭДС энергосистемы ($E_c=1$);

x_c – сопротивление системы, Ом;

x_L – сопротивление питающей линии, Ом» [12].

«Базисный ток в сети 10 кВ» [12]:

$$I_{\sigma} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{\sigma}}, A, \quad (25)$$

«Согласно (25)» [12]:

$$I_{\sigma} = \frac{160}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 8,8 A.$$

«Сопротивление энергосистемы с учётом значения внешнего трёхфазного тока КЗ от энергосистемы» [12]:

$$X_c = \frac{I_{\sigma}}{I_{п.о}^{(3)}}, Ом. \quad (26)$$

$$X_c = \frac{8,8}{6,0} = 1,47 Ом.$$

«Сопротивление воздушной линии 10 кВ» [12]:

$$X_L = X_0 \cdot L, Ом. \quad (27)$$

$$X_L = 0,405 \cdot 0,078 = 0,03 Ом.$$

«Расчётное значение тока трёхфазного КЗ в точке К1 (на выводах силового трансформатора 10 кВ)» [12]:

$$I_{к1}^{(3)} = \frac{1}{1,47 + 0,03} \cdot 8,8 = 5,87 кА.$$

«Значение ударного тока трёхфазного КЗ» [12]:

$$i_{y.к.i} = \sqrt{2} \cdot K_y I_{к.i}^{(3)}, кА, \quad (28)$$

«где K_y – ударный коэффициент. Для сетей напряжением 10 кВ принимается значение $K_y = 1,4$ » [12].

«В расчётной точке схемы К1» [12]:

$$i_{y.к1} = \sqrt{2} \cdot 1,4 \cdot 5,87 = 11,62 кА.$$

«Номинальный ток силового трансформатора ТП-10/0,4 кВ на стороне 0,4 кВ» [12]:

$$I_{н.тр} = \frac{S_{н.тр.}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, \text{ А.} \quad (29)$$

«По условию (29)» [12]:

$$I_{н.тр} = \frac{160}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 231 \text{ А.}$$

«Ток трёхфазного КЗ в расчётной точке К2» [12]:

$$I_{к2}^{(3)} = \frac{100}{U_{к}} S_{н.тр.}, \text{ А,} \quad (30)$$

«где $U_{к}$ – напряжение КЗ трансформатора, %» [12].

«По условию (30)» [12]:

$$I_{к2}^{(3)} = \frac{100}{4,5} \cdot 231 = 5130 \text{ А} = 5,13 \text{ кА.}$$

Ударный ток в точке К2:

$$i_{y.к1} = \sqrt{2} \cdot 1,0 \cdot 5,13 = 7,23 \text{ кА.}$$

«Значение тока двухфазного КЗ в расчётной точке К2» [18]:

$$I_{к2}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{к2}^{(3)}, \text{ А.} \quad (31)$$

$$I_{\kappa 2}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 5,13 = 4,4 \text{ кА.}$$

«Значение тока однофазного КЗ в конце защищаемой линии» [18]:

$$I_{\kappa 2}^{(1)} = \frac{U_{\phi}}{\frac{Z_T}{3} + Z_n}, \text{ А,} \quad (32)$$

«где $Z_T = 0,7 \text{ Ом}$ » [11].

«Полное значение сопротивление петли фаза – ноль» [16]

$$Z_n = L \sqrt{(R_{\phi} + R_n)^2 + X_n^2}, \text{ Ом,} \quad (33)$$

«где R_{ϕ} и R_n – активное сопротивление фазного и нулевого проводов,

Ом;

X_n – индуктивное сопротивление петли фаза-ноль, Ом/км;

L – длина линии, км» [12].

«Однофазный ток КЗ сразу за трансформатором 160 кВА принимается равным 980 А» [16].

«Для питающей магистрали М1» [12]:

$$Z_n = 0,164 \sqrt{(0,822 + 0,822)^2 + 0,07^2} = 0,27 \text{ Ом.}$$

«Тогда однофазный ток КЗ в конце питающей магистрали М1» [12]:

$$I_{\kappa 2}^{(1)} = \frac{230}{\frac{0,7}{3} + 0,27} = 456,95 \text{ А} \approx 457 \text{ А} \approx 0,46 \text{ кА.}$$

«Для питающей магистрали М2» [12]:

$$Z_n = 0,303 \sqrt{(0,822 + 0,822)^2 + 0,07^2} = 0,499 \text{ Ом} \approx 0,5 \text{ Ом}.$$

«Тогда однофазный ток КЗ в конце питающей магистрали М2 коттеджного посёлка» [12]:

$$I_{\kappa 2}^{(1)} = \frac{230}{\frac{0,7}{3} + 0,5} = 313,64 \text{ А} \approx 0,31 \text{ кА}.$$

Результаты расчёта тока трёхфазного, двухфазного и однофазного токов короткого замыкания в основных расчётных точках системы электроснабжения жилого коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» Новой Москвы приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты расчёта тока трёхфазного, двухфазного и однофазного токов короткого замыкания в основных расчётных точках системы электроснабжения жилого коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» Новой Москвы

Точка КЗ	Место КЗ	$I_{\kappa}^{(3)}, \text{ кА}$	$I_{\kappa}^{(2)}, \text{ кА}$	$I_{\kappa}^{(1)}, \text{ кА}$	$i_{\text{ук}}, \text{ кА}$
К1	Выводы 10 кВ трансформатора	5,87	5,13	0,46	11,62
К2	Выводы 0,4 кВ трансформатора	5,13	4,40	0,31	7,23

Результаты расчёта тока трёхфазного, двухфазного и однофазного токов короткого замыкания в основных расчётных точках системы электроснабжения жилого коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» Новой Москвы, используются в работе далее при выборе и проверке сетей и оборудования.

2.6 Выбор и проверка электрических аппаратов 10 кВ

Выбор и проверка электрических аппаратов в системе электроснабжения коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» Новой Москвы – это важнейший этап работы, который направлен на обеспечение надежной и безопасной работы не только самой системы электроснабжения данного жилого объекта, но и всей энергосистемы в целом.

Ранее в работе было предложено ввести в эксплуатацию новую магистральную линию с отпайками для питания потребителей коттеджного посёлка, а также заменить трансформатор на питающей ТП-10/0,4 кВ.

В связи с этим, требуется выбор новых и проверка существующих электрических аппаратов в системе электроснабжения коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» Новой Москвы.

Исходя из схемы электроснабжения коттеджного посёлка, к электрическим аппаратам со стороны источника питания 10 кВ, которые необходимо выбрать и проверить, относятся:

- разъединитель;
- предохранитель;
- ограничители перенапряжения.

Проводится выбор электрических аппаратов для установки на ТП-10/0,4 кВ на стороне 10 кВ после проведения реконструкции системы электроснабжения коттеджного посёлка.

«Электрические аппараты (ЭА) напряжением выше 1 кВ выбираются по следующим основным отношениям» [8]:

- по номинальному напряжению сети и максимальному рабочему напряжению сети, в которую он устанавливается:

$$U_{ном.а} \geq U_{ном.с}, кВ, \quad (34)$$

«где $U_{ном.а}$ – номинальное значение напряжения электрического аппарата, кВ;

$U_{ном.с}$ – максимальное рабочее напряжение электрической сети, кВ» [8].

– по номинальному току аппарата и максимальному рабочему току сети, в которую он устанавливается:

$$I_{ном.а} \geq I_p, A, \quad (35)$$

«Где $I_{ном.а}$ – номинальный ток высоковольтного аппарата;

I_p – расчётный максимальный рабочий ток» [8].

«Проверка на коммутационную отключающую способность» [8]:

$$I_{откл} \geq I_K, кА. \quad (36)$$

«Проверка на термическую и электродинамическую стойкость к токам КЗ» [8]:

$$i_{дин} \geq i_y, A. \quad (37)$$

$$I_T^2 t_T \geq I_K^2 t, A^2 \cdot с. \quad (38)$$

«В шкафу высоковольтного ввода ТП-10/0,4 кВ устанавливается разъединитель, ограничители перенапряжения и предохранители, обеспечивающие защиту и коммутацию электрической сети коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» Новой Москвы на стороне 10 кВ.

Проводится выбор и проверки трёхфазного разъединителя напряжением 10 кВ (таблица 4)» [14].

Таблица 4 – Выбор трёхфазного разъединителя напряжением 10 кВ

Условия выбора	Расчетные данные	Каталожные данные разъединителя РЛКВ.16 – 10.IV/400
$U_{ном.а} \geq U_{ном.с}$	$U_{ном.с} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном.а} = 10 \text{ кВ}$
$I_{ном.а} \geq I_p$	$I_p = 9,25 \text{ А}$	$I_{ном.а} = 400 \text{ А}$
$i_{дин} \geq i_y$	$i_{ykl} = 11,62 \text{ кА}$	$i_{дин} = 25 \text{ кА}$
$I_T^2 t_T \geq I_K^2 t$	$I_{K1}^2 t = 5,87^2 \cdot 0,3 = 10,34 \text{ кА}^2\text{с}$	$I_T^2 t_T = 100 \text{ кА}^2\text{с}$

«Выбор высоковольтных предохранителей напряжением 10 кВ в работе осуществляется по следующим условиям:

- по значению номинального напряжения и номинальной вставки аппарата (предохранителя)» [17]:

$$U_{ном.п} \geq U_{ном.с}, \text{кВ.} \quad (39)$$

$$I_{ном.вст} \geq I_{\phi}, \text{А,} \quad (40)$$

«где $I_{ном.вст}$ - номинальный ток вставки предохранителя, А» [8];

- «отстройка от пусковых токов защищаемого элемента сети» [17]:

$$I_{ном.вст} \geq (1,1 - 1,5) I_{ном.т}, \text{А.} \quad (41)$$

- «отношение номинальных токов предохранителя и его плавкой вставки» [17]:

$$I_{ном.п} \geq I_{ном.вст}, \text{А.} \quad (42)$$

- «по отключающей способности токов КЗ плавкого предохранителя» [17]:

$$I_{ном.вык} \geq I_K, \text{кА.} \quad (43)$$

«Выбор предохранителей для защиты ТП-10/0,4 кВ коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» Новой Москвы приведен в таблице 5» [17].

«Таблица 5 – Выбор предохранителя напряжением 10 кВ для защиты трансформатора ТП-10/0,4 кВ» [17]

Условия выбора	Расчетные данные	Каталожные данные предохранителя марки ПТ 1.1-20-31,5/У1
$U_{ном.а} \geq U_{ном.с}$	$U_{ном.с} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном.а} = 10 \text{ кВ}$
$I_{ном.вст} \geq I_p$	$I_p = 9,25 \text{ А}$	$I_{ном.вст} = 20 \text{ А}$
$I_{ном.вст} \geq (1,1-1,5) I_{ном.т},$	$1,5 \cdot I_{ном.т} = 1,5 \cdot 9,25 = 13,88 \text{ А}$	$I_{ном.вст} = 20 \text{ А}$
$I_{ном.п} \geq I_{ном.вст}$	$I_{ном.п} = 100 \text{ А}$	$I_{ном.вст} = 20 \text{ А}$
$I_{ном.вык} \geq I_k$	$I_k = 5,87 \text{ кА}$	$I_{ном.вык} = 31,5 \text{ кА}$

«Проводится выбор ограничителей перенапряжения для установки в ТП-10/0,4 кВ посёлка на стороне 10 кВ с целью защиты от перенапряжений (таблица 6)» [8].

«Таблица 6 – Выбор ограничителей перенапряжения 10 кВ для ограничения перенапряжений на ТП-10/0,4 кВ» [8]

Условия выбора	Расчетные данные	Каталожные данные ограничителя перенапряжения марки ОПН-П-0,4/0,4/3/125 УХЛ1
$U_{ном.а} \geq U_{ном.с}$	$U_{ном.с} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном.а} = 10 \text{ кВ}$
$I_{макс.а} \geq I_p$	$I_p = 14,5 \text{ А}$	$I_{макс.а} = 100 \text{ А}$
$i_{дин} \geq i_y$	$i_{ykl} = 11,62 \text{ кА}$	$i_{дин} = 125 \text{ кА}$
$I_T^2 t_T \geq I_K^2 t$	$I_K^2 t = 5,87^2 \cdot 0,3 = 10,34 \text{ кА}^2 \text{ с}$	$I_T^2 t_T = 125 \text{ кА}^2 \text{ с}$

Все выбранные электрические аппараты напряжением 10 кВ в системе электроснабжения коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» Новой Москвы подходят для установки на данном объекте после его реконструкции.

Они показаны на графическом листе 3.

2.7 Выбор и проверка электрических аппаратов 0,38/0,22 кВ

Далее в работе необходимо провести выбор и проверку аппаратов напряжением 0,38/0,22 кВ, необходимых для защиты и коммутации питающей и распределительной сети системы электроснабжения коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» Новой Москвы.

Как было указано ранее, для защиты питающей сети 0,4 кВ в системе электроснабжения коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» Новой Москвы применяются автоматические выключатели (автоматы).

Автоматические выключатели (или автоматы) используются для защиты электрических сетей и оборудования от перегрузок и коротких замыканий, а также для нечастных коммутации потребителей.

Известно, что автоматы защищают сеть от токов короткого замыкания любого режима (трёхфазного, двухфазного, однофазного), а также перегрузки. Для этой цели у автоматов есть соответствующие расцепители (электромагнитный, тепловой и нулевой).

Исходя из схемы электроснабжения, для защиты и коммутации питающей и распределительной сети системы электроснабжения коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» Новой Москвы, в работе необходимо выбрать следующие типы автоматов:

- автомат ввода ТП-10/0,4 кВ;
- магистральные автоматы (для защиты и коммутации двух магистралей М1 и М2);
- линейные автоматы потребителей (для защиты и коммутации коттеджей).

Кроме того, для обеспечения «видимого разрыва» с целью безопасности проведения работ в сети 0,38/0,22 кВ, необходимо выбрать рубильники.

«Условия выбора автоматических выключателей:

- по значению номинального напряжения» [7]:

$$U_{ном.а} \geq U_{ном.с} \cdot B, \quad (44)$$

«где $U_{ном.а}$ – номинальное напряжение автоматического выключателя, B ; $U_{ном.с}$ – номинальное напряжение электрической сети (цепи), B » [7].

– «по значению номинального тока автоматического выключателя» [7]:

$$I_{ном.а} \geq I_p, A, \quad (45)$$

«где I_p – максимальный рабочий ток, A » [7];

– «по значению номинального тока теплового расцепителя автоматического выключателя» [7]:

$$I_{у.т.р.} \geq 1,1I_p, A, \quad (46)$$

– «по значению номинального тока электромагнитного расцепителя автоматического выключателя» [7];

$$I_{у.э.р.} \geq k \cdot I_{у.т.р.}, A, \quad (47)$$

«где k – кратность уставок электромагнитного и теплового расцепителей» [7];

– «по отключающей способности автоматического выключателя» [7]:

$$I_{ном.вык.а} \geq I_{к2}^{(3)}, кА, \quad (48)$$

«где $I_{к2}^{(3)}$ – начальное значение периодической составляющей рассчитанного ранее тока трёхфазного короткого замыкания в расчётной точке К2, $кА$ » [7];

– «проверка по коэффициенту чувствительности теплового расцепителя» [7]:

$$K_{ч.т} = \frac{I_{к2}^{(1)}}{I_{у.т.р}} \geq 3. \quad (49)$$

– «проверка по коэффициенту чувствительности отсечки (электромагнитного расцепителя)» [7]:

$$K_{ч.э} = \frac{I_{к2}^{(2)}}{I_{у.э.р}} \geq 1,1. \quad (50)$$

«Результаты выбора вводного автоматического выключателя ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» Новой Москвы приведены в таблице 7» [7].

«Таблица 7 – Выбор автомата ввода ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» Новой Москвы» [7]

Условия выбора	Расчетные данные	Каталожные данные автоматического выключателя марки ВА52-37
$U_{ном.а} \geq U_{ном.с}$	$U_{ном.с} = 380 \text{ В}$	$U_{ном.а} = 660 \text{ В}$
$I_{ном.а} \geq I_{\phi}$	$I_{\phi} = 1 \cdot 231 = 231 \text{ А}$	$I_{ном.а} = 400 \text{ А}$
$I_{у.т.р.} \geq I, I \cdot I_{\phi}$	$1,1 \cdot I_{\phi} = 1,1 \cdot 231 = 254,1 \text{ А}$	$I_{у.т.р} = 320 \text{ А}$
$I_{у.э.р} \geq 3 \cdot I_{у.т.р.}$	$3 \cdot I_{у.т.р} = 3 \cdot 320 = 960 \text{ А}$	$I_{у.э.р} = 960 \text{ А}$
$I_{ном.вык.а} \geq I_{к}^{(3)}$	$I_{к2}^{(3)} = 5,13 \text{ кА}$	$I_{ном.вык.а} = 16 \text{ кА}$
$K_{ч.т} = \frac{I_{к2}^{(1)}}{I_{у.т.р}} \geq 3.$	$I_{к2}^{(1)} = 980 \text{ А}$	$\frac{980}{320} = 3,06 \geq 3.$
$K_{ч.э} = \frac{I_{к2}^{(2)}}{I_{у.э.р}} \geq 1,1.$	$I_{к2}^{(2)} = 4,4 \text{ кА}$	$\frac{4400}{960} = 4,58 \geq 1,1.$

«Аналогично проводится выбор линейных автоматов для защиты питающих магистралей М1 и М2 системы электроснабжения коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» Новой Москвы (таблица 8)» [7].

«Таблица 8 – Результаты выбора линейного автоматического выключателя для защиты и коммутации магистралей М1 и М2 напряжением 0,38/0,22 кВ» [7]

Условия выбора	Магистраль М1		Магистраль М2	
	Расчетные данные	Каталожные данные автоматического выключателя ВА52-31	Расчетные данные	Каталожные данные автоматического выключателя ВА52-31
$U_{ном.а} \geq U_{ном.с}$	$U_{ном.с} = 380 В$	$U_{ном.а} = 660 В$	$U_{ном.с} = 380 В$	$U_{ном.а} = 660 В$
$I_{ном.а} \geq I_{\phi}$	$I_{\phi} = 1 \cdot 58,5 = 58,5 А$	$I_{ном.а} = 100 А$	$I_{\phi} = 1 \cdot 53,78 = 53,78 А$	$I_{ном.а} = 100 А$
$I_{у.т.р.} \geq 1,1 \cdot I_{\phi}$	$1,1 \cdot I_{\phi} = 1,1 \cdot 58,5 = 64,35 А$	$I_{у.т.р.} = 80 А$	$1,1 \cdot I_{\phi} = 1,1 \cdot 53,78 = 59,16 А$	$I_{у.т.р.} = 63 А$
$I_{у.э.р.} \geq 3 \cdot I_{у.т.р.}$	$3 \cdot I_{у.т.р.} = 3 \cdot 80 = 240 А$	$I_{у.э.р.} = 240 А$	$3 \cdot I_{у.т.р.} = 3 \cdot 63 = 189 А$	$I_{у.э.р.} = 189 А$
$I_{ном.вык.а} \geq I_{к^{(3)}}$	$I_{к^{(3)}} = 5,13 кА$	$I_{ном.вык.а} = 31,5 кА$	$I_{к^{(3)}} = 5,13 кА$	$I_{ном.вык.а} = 31,5 кА$
$K_{ч.т} = \frac{I_{к^{(1)}}}{I_{у.т.р.}} \geq 3$	$I_{к^{(1)}} = 457,0 А$	$\frac{457}{80} = 5,7 \geq 3$	$I_{к^{(1)}} = 313,64 А$	$\frac{313,64}{63} = 4,98 \geq 3$
$K_{ч.э} = \frac{I_{к^{(2)}}}{I_{у.э.р.}} \geq 1,1$	$I_{к^{(2)}} = 4,4 кА$	$\frac{4400}{240} = 18,3 \geq 1,1$	$I_{к^{(2)}} = 4,4 кА$	$\frac{4400}{189} = 23,28 \geq 1,1$

Аналогично выбраны линейные автоматы для защиты и коммутации отдельных коттеджей реконструируемой системы электроснабжения коттеджного посёлка:

- марка автомата – ВА47-16 (однофазный);
- номинальный ток автомата – $I_{ном.а} = 16 А$;
- номинальный ток уставки теплового расцепителя автомата – $I_{у.т.р.} = 16 А$;
- номинальный ток уставки электромагнитного расцепителя автомата – $I_{у.э.р.} = 48 А$;
- номинальный ток отключения автомата – $I_{ном.вык.а} = 10 кА$.

Все выбранные автоматы подходят для установки в коттеджном посёлке.

Выводы по разделу.

Для технического обоснования и выбора проводников, аппаратов и трансформатора на питающей ТП-10/0,4 кВ, рассчитаны нагрузки коттеджного посёлка с учётом подключения новых потребителей, а также проведены расчёты токов трёхфазного, двухфазного и однофазного короткого замыкания в сетях объекта исследования. На основании полученных результатов, проведено техническое обоснование принятых решений по реконструкции системы электроснабжения коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» Новой Москвы:

- установлено, что силовой трансформатор марки ТМ-100/10, который был установлен до реконструкции на питающей ТП-10/0,4 кВ, следует заменить на силовой трансформатор марки ТМГ-160/10, в работе принята к установке комплектная трансформаторная подстанция 10/0,4 кВ с одним силовым трансформатором ТМ-160/10;
- для питающей линии 10 кВ системы электроснабжения коттеджного посёлка, выбран и проверен новый тип провода марки СИП-3 1×25;
- для двух магистральных линий питающей сети 0,38/0,22 кВ системы электроснабжения коттеджного посёлка, выбран и проверен новый тип провода марки СИП-2 (3×50+1×50), на отпайках от магистралей приняты провода марки СИП-2 (3×35+1×35);
- для защиты и коммутации электрической сети 10 кВ системы электроснабжения коттеджного посёлка, выбраны и проверены: разъединитель РЛКВ.16 – 10.IV/400, предохранители марки ПТ 1.1-20-31,5/У1, ограничителя перенапряжения марки ОПН-П-0,4/0,4/3/125 УХЛ1;
- для защиты и коммутации электрической сети 0,38/0,22 кВ системы электроснабжения коттеджного посёлка, выбраны и проверены автоматические выключатели: вводной – ВА 52-37, магистральные – ВА 52-31, линейные – ВА47-16 (однофазные).

Выбранное оборудование показано в графической части работы.

3 Расчёт релейной защиты системы электроснабжения коттеджного посёлка

В работе проводится расчёт релейной защиты питающей сети 10 кВ системы электроснабжения коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» Новой Москвы.

Релейная защита устанавливается на высоковольтных выключателях питающего РП-10 кВ. Согласно [11], на вводных присоединениях систем электроснабжения гражданских сооружений, 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.

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 системы электроснабжения коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» Новой Москвы.

Для защиты питающей линии 10 кВ системы электроснабжения коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» Новой Москвы применяется микропроцессорный блок дифференциально-фазной защиты линии марки СИРИУС-2-ОМП [14].

Такие блоки РЗиА марки имеют ряд существенных преимуществ [14]:

- высокая надежность: блоки релейной защиты марки СИРИУС-2-ОМП разработаны с учетом высокой степени надежности для обеспечения защиты линий от коротких замыканий, перегрузок и других аварийных режимов;
- быстродействие: блоки РЗиА марки СИРИУС-2-ОМП способны быстро обнаруживать и реагировать на повреждения в электрических цепях 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 марки СИРИУС-2-ОМП представлены в работе на рисунке 7.



Рисунок 7 – Внешний вид, функционал и конструктивное выполнение микропроцессорных блоков РЗиА марки СИРИУС-2-ОМП для защиты линий 10 кВ

Таким образом, выбор микропроцессорных блоков РЗА марки СИРИУС-2-ОМП для защиты питающей линии 10 кВ системы электроснабжения коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» Новой Москвы, обоснован.

Далее в работе необходимо провести непосредственный расчёт уставок релейной защиты питающей линии 10 кВ системы электроснабжения коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» Новой Москвы.

Рабочие токи и токи максимального режима питающей линии 10 кВ системы электроснабжения коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» Новой Москвы рассчитаны в работе ранее.

«Ток срабатывания ДЗЛ питающей линии 10 кВ системы электроснабжения коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» Новой Москвы» [13]:

$$I_{с.з} \geq K_o \cdot I_{к.макс} + I_{раб.макс}, \quad (51)$$

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

«Коэффициент чувствительности ДЗЛ питающей линии 10 кВ системы электроснабжения коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» Новой Москвы» [13]:

$$K_{ч} = \frac{K_{сх}^{(к)}}{K_{сх}^{(3)}} \cdot \frac{I_{к.нач.мин}}{I_{с.з}} \geq 1,5. \quad (52)$$

В качестве минимального тока при проверке чувствительности защит кабельной линии 10 кВ, принимается ток КЗ на шинах 10 кВ РП-10 кВ в минимальном режиме (по данным энергосистемы).

«Токовая уставка и коэффициент чувствительности ДЗЛ питающей линии 10 кВ системы электроснабжения коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» Новой Москвы» [13]:

$$I_{c.3} \geq 0,6 \cdot 5870 + 13 = 3535 \text{ A.}$$

$$K_{\text{ч}} = \frac{1}{1} \cdot \frac{5130}{3535} \approx 1,5 = 1,5.$$

«Выражение для выбора уставок МТЗ питающей линии 10 кВ системы электроснабжения коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» Новой Москвы» [13]:

$$I_{c.3} \geq K_{\text{отс}} \cdot K_{\text{сзн}} \cdot I_{\text{раб.макс}}. \quad (53)$$

«Коэффициент чувствительности МТЗ питающей линии 10 кВ системы электроснабжения коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» Новой Москвы» [13]:

$$K_{\text{ч}} = \frac{K_{\text{сх}}^{(\kappa)}}{K_{\text{сх}}^{(3)}} \cdot \frac{I_{\text{к.мин}}^{(\kappa)}}{I_{c.3}} \geq 1,2, \quad (54)$$

«Для питающей линии 10 кВ системы электроснабжения коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» Новой Москвы, уставка МТЗ» [13]:

$$I_{c.3} \geq 1,3 \cdot 1,5 \cdot 13 = 25,4 \text{ A.}$$

«Коэффициент чувствительности МТЗ питающей линии 10 кВ системы электроснабжения коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» Новой Москвы» [13]:

$$K_u = \frac{1}{1} \cdot \frac{5130}{25,4} = 202,4 \geq 1,2.$$

«Принимается ЗОЗ питающей линии 10 кВ системы электроснабжения коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» Новой Москвы $I_{c.з} = 5$ А, $t_{c.з} = 0$ с (без выдержки времени)» [10].

Все выбранные уставки РЗ, рассчитанные для защиты питающей линии 10 кВ системы электроснабжения коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» Новой Москвы, выставляются на микропроцессорных блоках РЗиА марки СИРИУС-2-ОМП, выбранных в работе ранее.

Выводы по разделу.

В работе проведён расчёт релейной защиты питающей сети 10 кВ системы электроснабжения коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» Новой Москвы.

Релейная защита устанавливается на приводе высоковольтного выключателя питающего РП-10 кВ.

Обоснован выбор микропроцессорных блоков РЗиА марки СИРИУС-2-ОМП для защиты питающей линии 10 кВ системы электроснабжения коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» Новой Москвы.

Рассчитаны токовые уставки основных защит питающей сети 10 кВ системы электроснабжения коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» Новой Москвы (дифференциальной токовой защиты, максимальной токовой защиты и защиты от однофазных КЗ на землю).

Заключение

В работе проведена реконструкция системы электроснабжения коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» Новой Москвы.

В работе, для разработки проекта реконструкции коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» Новой Москвы, с целью уточнения исходных данных, приведена исходная характеристика климатических и топографических условий местности.

Определено, что данный анализ необходим для выбора и проверки технических решений по установке и использованию типов и марок оборудования и сетей на объекте исследования.

Приведена исходная характеристика существующей системы электроснабжения и потребителей жилого коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» Новой Москвы. Рассмотрены источники питания и потребители данного коттеджного посёлка, а также техническое состояние оборудования его системы электроснабжения.

Установлено, что планируется ввести в эксплуатацию в коттеджном посёлке 28 новых коттеджей. Предложено запитать их от новой магистральной линии 0,38/0,22 кВ. Таким образом, после реконструкции в коттеджном посёлке будет 55 коттеджей.

Исходя из анализа исходных данных на выполнение работы, с учётом характеристик источников питания, потребителей и состояния оборудования, а также основных технических условий на разработку проекта реконструкции СПК «Солнечное» поселения «Вороновское», установлено следующее:

- в связи с тем, что к системе электроснабжения коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» планируется подключить новые потребители (коттеджи), необходимо ввести в эксплуатацию новую магистральную линию 0,38/0,22 кВ, проверить на перегрузочную способность силовой трансформатор питающей

ТП-10/0,4 кВ, а также установить новые коммутационные и защитные аппараты в РУ-0,4 кВ ТП-10/0,4 кВ для защиты и коммутации новой магистральной линии;

- питание коттеджей осуществляется воздушными линиями электропередачи на напряжении 0,38/0,22 кВ с применением проводов марки АС, также, как и на питающей линии 10 кВ, провода марки АС на распределительных линиях 0,38/0,22 кВ значительно устарели, что приводит к частым их обрывам и возникновению аварийных режимов, таким образом, данную проблему предлагается решить в работе путём замены устаревших проводников марки АС на питающей и распределительных линиях, на соответствующие марки проводов СИП, обладающих высокой надёжностью, механической прочностью, устойчивостью к образованию гололёда, а также высокими техническими показателями;
- на стороне 10 кВ ТП-10/0,4 кВ для защиты питающей воздушной линии 10 кВ применяется устаревшая релейная защита индукционного типа (реле РТ-80), такая защита требует полной замены на новые современные типы, таким образом, основываясь на данной информации, в работе также предложено провести реконструкцию релейной защиты питающей линии 10 кВ.

Для технического обоснования и выбора проводников, аппаратов и трансформатора на питающей ТП-10/0,4 кВ, рассчитаны нагрузки коттеджного посёлка с учётом подключения новых потребителей, а также проведены расчёты токов трёхфазного, двухфазного и однофазного короткого замыкания в сетях объекта исследования. На основании полученных результатов, проведено техническое обоснование принятых решений по реконструкции системы электроснабжения коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» Новой Москвы:

- установлено, что силовой трансформатор марки ТМ-100/10, который был установлен до реконструкции на питающей ТП-10/0,4 кВ, следует

- заменить на силовой трансформатор марки ТМГ-160/10, в работе принята к установке комплектная трансформаторная подстанция 10/0,4 кВ с одним силовым трансформатором ТМ-160/10;
- для питающей линии 10 кВ системы электроснабжения коттеджного посёлка, выбран и проверен новый тип провода марки СИП-3 1×25;
 - для двух магистральных линий питающей сети 0,38/0,22 кВ системы электроснабжения коттеджного посёлка, выбран и проверен новый тип провода марки СИП-2 (3×50+1×50), на отпайках от магистралей приняты провода марки СИП-2 (3×35+1×35);
 - для защиты и коммутации электрической сети 10 кВ системы электроснабжения коттеджного посёлка, выбраны и проверены: разъединитель РЛКВ.16 – 10.IV/400, предохранители марки ПТ 1.1-20-31,5/У1, ограничителя перенапряжения марки ОПН-П-0,4/0,4/3/125 УХЛ1;
 - для защиты и коммутации электрической сети 0,38/0,22 кВ системы электроснабжения коттеджного посёлка, выбраны и проверены автоматические выключатели: вводной – ВА 52-37, магистральные – ВА 52-31, линейные – ВА47-16 (однофазные).

Проведён расчёт релейной защиты питающей сети 10 кВ системы электроснабжения коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» Новой Москвы. Релейная защита устанавливается на приводе высоковольтного выключателя питающего РП-10 кВ.

Обоснован выбор микропроцессорных блоков РЗиА марки СИРИУС-2-ОМП для защиты питающей линии 10 кВ системы электроснабжения коттеджного посёлка СПК «Солнечное» поселения «Вороновское» Новой Москвы. Рассчитаны токовые уставки основных защит питающей сети 10 кВ системы электроснабжения коттеджного посёлка (дифференциальной токовой защиты, максимальной токовой защиты и защиты от однофазных КЗ на землю).

Все принятые решения подтверждены технически.

Список используемых источников

1. Барыбин Ю.Г. Справочник по проектированию электроснабжения. М.: Энергоатомиздат, 2018. 576 с.
2. Кадомская К.П., Лавров Ю.А. Электрооборудование высокого напряжения нового поколения. Вологда: Инфра-Инженерия, 2018. 343 с.
3. Китунович Ф.Г. Энергетика России. 1920-2020 гг. В 4 томах. М.: Энергия, 2020. 1072 с.
4. Климова Г.Н. Электроэнергетические системы и сети. Энергосбережение. Учебное пособие. М.: Юрайт, 2016. 180 с.
5. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов. М.: Академия, 2020. 320 с.
6. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: Учеб. пособие для ВУЗов. 5-е издание, перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 2018. 608 с.
7. Никитенко Г.В. Электрооборудование, электротехнологии и электроснабжение. Дипломное проектирование: Учебное пособие. СПб.: Лань, 2018. 316 с.
8. Основные технические характеристики автоматических выключателей [Электронный ресурс]: URL: <https://www.asutpp.ru/tehniceskije-harakteristiki-avtomaticheskikh-vyklyuchateley.html> (дата обращения: 30.09.2023).
9. Подольский район Московской области [Электронный ресурс]: URL: https://www.google.com/maps/place/Подольский+район,+Московская+обл.,+Россия/@55.3893388,37.2184062,10z/data=!3m1!4b1!4m6!3m5!1s0x414aa848c95b8345:0x49ae599908099566!8m2!3d55.3704577!4d37.5677764!16s%2Fm%2F0h3mkd_?entry=ttu (дата обращения: 30.09.2023).
10. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 2019. 174 с.

11. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. Госэнергонадзор Минэнерго России. М.: ЗАО «Энергосервис», 2019. 324 с.
12. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). М.: Альвис, 2018. 632 с.
13. Провода изолированные для воздушных линий передач [Электронный ресурс]: URL: <https://k-ps.ru/spravochnik/provoda-izolirovannye/dlya-vozdushnyix-linij-peredach/> (дата обращения: 30.09.2023).
14. Рожкова Л.Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций: Учебник для студентов учреждений среднего профессионального образования. М.: ИЦ Академия, 2018. 448 с.
15. Свириденко Э.А. Основы электротехники и электроснабжения. М.: Техноперспектива, 2018. 436 с.
16. Сириус-2-ОМП [Электронный ресурс]: URL: https://ep.ru/product/radius_a_11.php (дата обращения: 30.09.2023).
17. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д.Л. Файбисовича. 4-е изд., перераб. и доп. М.: ЭНАС, 2018. 312 с.
18. СТО 56947007- 29.240.30.047-2010. «Рекомендации по применению типовых принципиальных электрических схем распределительных устройств подстанций». [Электронный ресурс]: URL: <https://www.twirpx.com/file/2616342/> (дата обращения: 30.09.2023).
19. Трансформатор ТМ(Г)-160/6(10) [Электронный ресурс]: URL: <https://uralen.ru/catalog/trans/group-17/61.html> (дата обращения: 30.09.2023).
20. Шеховцов В. П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению. М.: Форум, Инфра. 2019. 136 с.