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 Электроснабжение коттеджного посёлка на 650 домовладений

Обучающийся П.И. Ковалёв
(Инициалы Фамилия) (личная подпись)

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

Тольятти 2024

## Аннотация

В работе разработан проект системы электроснабжения коттеджного посёлка на 650 домовладений.

Учитывая данные о питающей подстанции и источниках питания, решены следующие основные задачи:

- проведён расчет электрических нагрузок жилищного массива и системы наружного освещения;
- выбраны и рассчитаны трансформаторы понизительных подстанций коттеджного посёлка на 650 домовладений;
- осуществлён расчет токов короткого замыкания;
- проведены выбор и расчет электрических аппаратов и проводников;
- выбраны устройства защиты и автоматики, а также системы коммерческого учета электрической энергии;
- рассчитано заземление подстанции коттеджного посёлка на 650 домовладений.

Таким образом, разработан проект системы электроснабжения коттеджного посёлка на 650 домовладений, обладающий высокими показателями надёжности, эффективности и бесперебойности передачи электроэнергии потребителям, а также селективности и быстродействия системы защиты.

Объём работы составляет 51 страницу.

## Содержание

Введение ..... 4
1 Краткая характеристика объекта проектирования ..... 6
1.1 Характеристика климатических и топографических условий ..... 6
1.2 Анализ исходных технических данных на проектирование ..... 9
2 Расчет электрических нагрузок жилищного массива и системы наружного освещения ..... 13
2.1 Выбор схемы электроснабжения коттеджного посёлка ..... 13
2.2 Расчет электрических нагрузок коттеджного посёлка ..... 15
3 Выбор и расчёт числа и мощности трансформаторов ..... 20
4 Расчет токов короткого замыкания ..... 23
5 Выбор и расчёт электрических аппаратов и проводников ..... 29
5.1 Выбор и расчёт электрических проводников ..... 29
5.2 Выбор и расчёт электрических аппаратов ..... 33
6 Выбор устройств релейной защиты, системы коммерческого учёта электроэнергии и расчёт заземления ..... 39
6.1 Выбор устройств релейной защиты ..... 39
6.2 Выбор системы коммерческого учёта электроэнергии ..... 41
6.3 Расчёт заземления трансформаторной подстанции ..... 43
Заключение ..... 46
Список используемых источников ..... 50

# Введение

Проектирование систем электроснабжения коттеджных посёлков в Российской Федерации представляет собой важное направление в развитии инженерной инфраструктуры современных населённых пунктов.

Актуальность данной темы обусловлена растущей популярностью загородного жилья и коттеджных поселков, которые требуют надёжного и эффективного электроснабжения для обеспечения комфортных условий проживания.

В условиях развития жилищного строительства и повышения уровня жизни населения возрастают требования к качеству предоставляемых коммунальных услуг, включая стабильное и безопасное электроснабжение.

Проектирование систем электроснабжения для таких поселков должно учитывать специфику их расположения, плотность застройки, потребности в электроэнергии и прогнозируемое увеличение нагрузки [8].

Важным аспектом является соответствие проектируемых систем современным техническим и нормативным требованиям, таким как надёжность электросетей, минимизация потерь электроэнергии, устойчивость к внешним воздействиям, и возможность интеграции с возобновляемыми источниками энергии (при наличии последних и согласовании с энергосистемой).

На текущий момент проектирование систем электроснабжения коттеджных посёлков в России сталкивается с рядом вызовов, включая необходимость модернизации существующих сетей и адаптации к новым стандартам энергоэффективности.

Технологические инновации, такие как использование интеллектуальных систем управления и автоматизации, а также внедрение энергоэффективных технологий, становятся неотъемлемой частью процесса проектирования.

Однако, несмотря на имеющиеся трудности, тенденция к улучшению инфраструктуры и внедрению передовых решений позволяет надеяться на успешное развитие этой области в ближайшем будущем, что отражено в [20].

Таким образом, «объектом исследования в работе являются система электроснабжения коттеджного посёлка на 650 домовладений, а предметом исследования – схема электрических соединений» [12] указанного коттеджного посёлка на 650 домовладений, оборудование и электрические сети.

Основываясь на генеральном плане расположения жилищного массива (застройки), кадастровом плане застройки, а также схеме внешнего электроснабжения коттеджного посёлка на 650 домовладений (учитывая данные о питающей подстанции и источниках питания, в «работе проводится решение следующих основных задач:

- проводится расчет электрических нагрузок жилищного массива и системы наружного освещения;
- выбираются и рассчитываются трансформаторы понизительных подстанций коттеджного посёлка на 650 домовладений;
- проводится расчет токов короткого замыкания;
- осуществляется выбор и расчет электрических аппаратов и проводников;
- выбираются устройства защиты и автоматики» [10], а также системы коммерческого учета электрической энергии;
- рассчитывается заземление подстанции коттеджного посёлка на 650 домовладений.

Все поставленные задачи решаются в работе далее.

# 1 Краткая характеристика объекта проектирования

## 1.1 Характеристика климатических и топографических условий

Согласно кадастровому плану застройки, проектируемый в работе коттеджный посёлок планируется соорудить в Самарской области, вблизи г. Тольятти (в южном направлении от населённого пункта Ягодное Ставропольского района).

Такое расположение посёлка является удобным и практичным с точки зрения транспортной развязки, находясь в непосредственной близости к г. Тольятти.

Кроме того, охраняемых и рекреационных зон в месте сооружения посёлка нет.

Таким образом, зелёная зона, расположенная вокруг данного посёлка, будет способствовать улучшению здоровья людей.

План расположения проектируемого коттеджного посёлка на карте местности (показан красным кружком), представлен на рисунке 1.

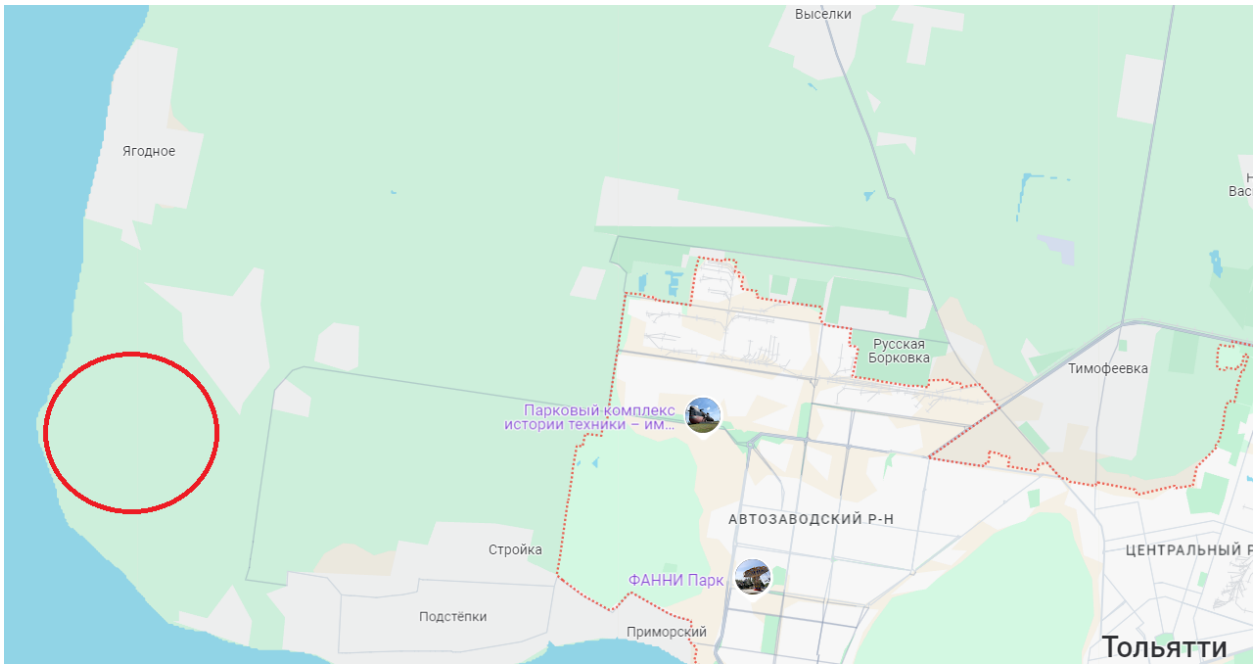


Рисунок 1 – План расположения проектируемого коттеджного посёлка на карте местности (показан красным кружком)

Далее рассматриваются климатические и топографические условия местности, в которой планируется соорудить данный коттеджный посёлок. Все данные взяты из [2].

Ставропольский район характеризуется умеренно континентальным климатом, который отличается умеренной влажностью и относительно мягкими зимами. Лето в регионе обычно тёплое, со средними температурами, колеблющимися от 20 до 25 градусов Цельсия. В июле, наиболее тёплом месяце, средняя температура может достигать 25-30 градусов Цельсия.

Зима в Ставропольском районе, как правило, мягкая и сравнительно короткая. «Средняя температура зимних месяцев варьируется от минус 5 до минус 10 ℃, но могут происходить и периоды более сильных морозов, когда температура опускается до минус 15 ℃ и ниже. Снежный покров в регионе устанавливается обычно в декабре» [2] и сохраняется до начала марта.

Климатический график Ставропольского района, в которой планируется соорудить коттеджный посёлок, представлен на рисунке 2 [2].

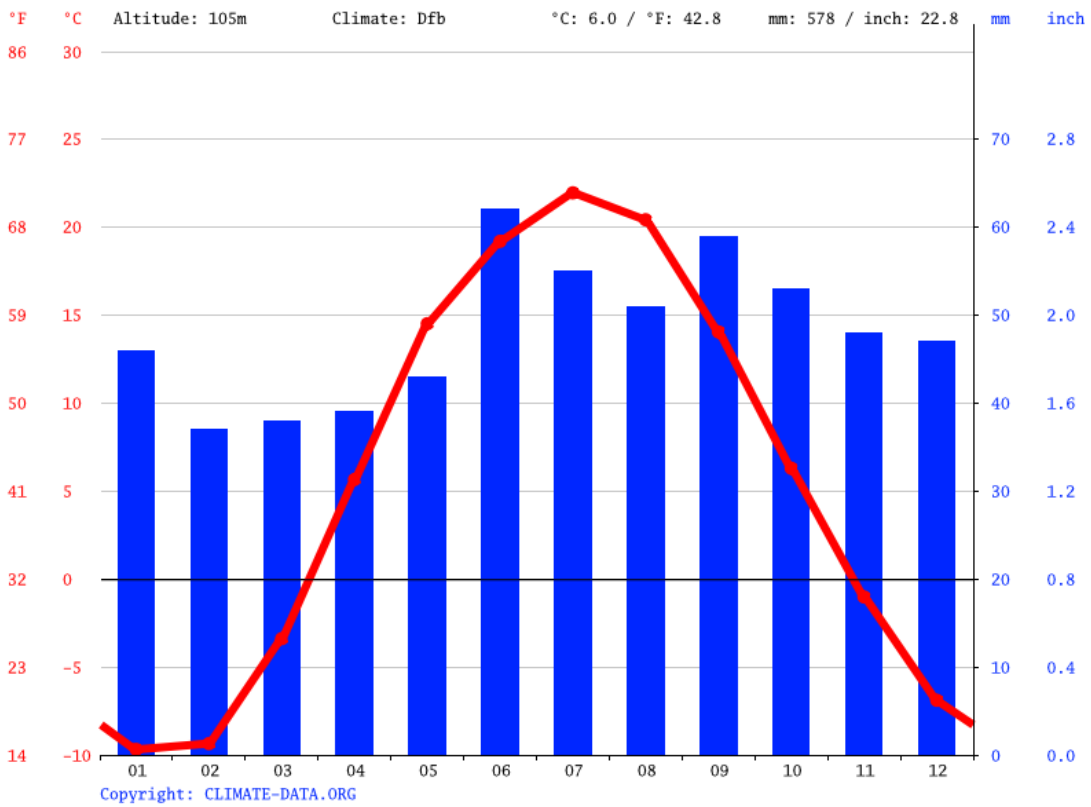


Рисунок 2 – Климатический график Ставропольского района

«Температурный график Ставропольского района, в которой планируется соорудить данный коттеджный посёлок» [2], представлен на рисунке 3.

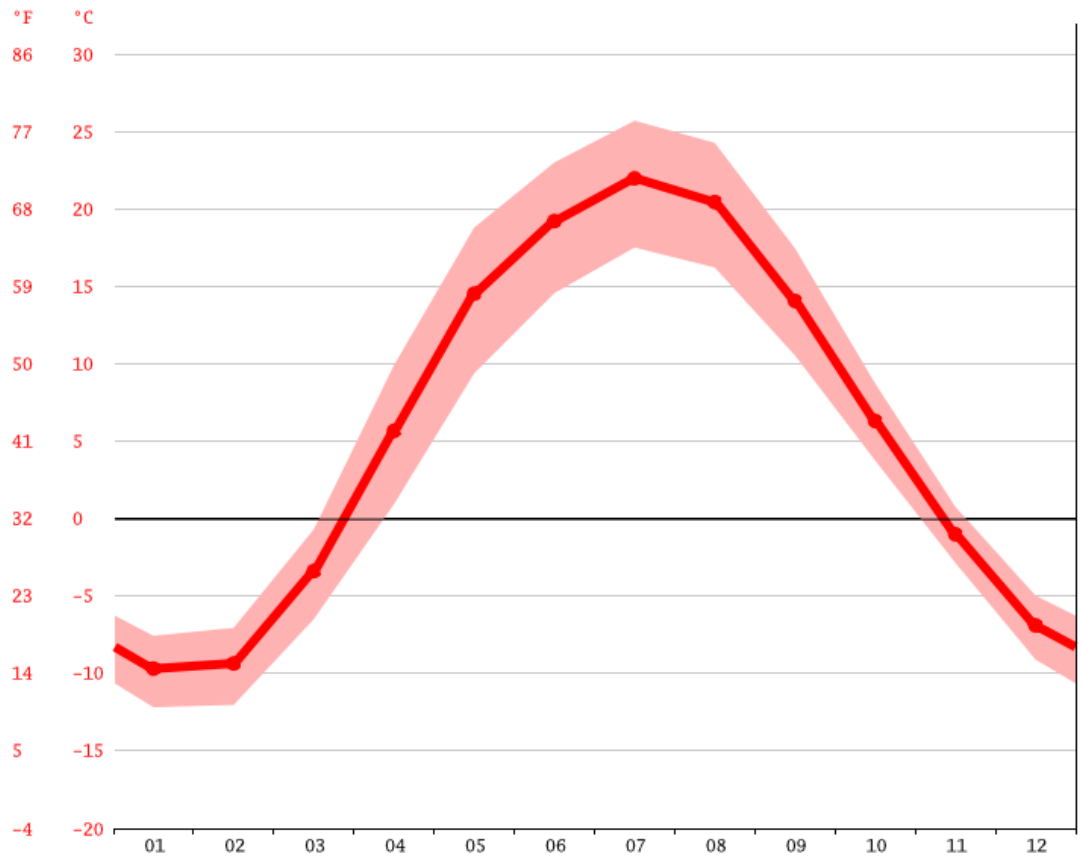


Рисунок 3 – Температурный график Ставропольского района

Осадки в этом районе распределяются относительно равномерно в течение года.

Район относится к категории с умеренной грозовой активностью. В среднем, в этом районе бывает около 20-30 грозовых дней в году, что соответствует норме для умеренного климата.

Грозы чаще всего случаются в тёплый период года, в основном в весенне-летние месяцы.

Грозы могут быть сопровождены интенсивными осадками, порывистыми ветрами и иногда градом.

Ветровой режим в Ставропольском районе довольно разнообразен.

Преобладают юго-западные и западные ветры, которые могут приносить как тёплый воздух в летний период, так и холодный в зимний. В целом, климатические условия района создают благоприятные условия для сельского хозяйства и проживания.

Ставропольский район относится к категории с умеренной частотой гололёдных явлений.

В районе гололёд наблюдается не слишком часто, но всё же достаточно регулярно в зимний период. В данном районе гололёдные явления обычно случаются при перепадах температур около 0 ℃, особенно в осенне-зимний и зимне-весенний периоды.

Топографические условия Ставропольского района характеризуются разнообразием рельефа и природных особенностей, которые влияют на его использование для строительства, сельского хозяйства и рекреации.

Район расположен на возвышенной части Волго-Камского региона, и его рельеф в основном представляет собой сочетание равнинных и холмистых участков.

Плоские равнинные территории чередуются с более возвышенными участками, которые имеют небольшой уклон.

Данная особенность рельефа обеспечивает естественный сток поверхностных вод, что благоприятно сказывается на условиях для строительства и ведения сельского хозяйства.

Таким образом, топографические условия Ставропольского района характеризуются умеренно пересечённым рельефом.

## 1.2 Анализ исходных технических данных на проектирование

Согласно данным и заданию на выполнение работы, в проектируемом коттеджном посёлке планируется ввести в эксплуатацию 650 однотипных коттеджей.

При этом на каждый коттедж, согласно техническим условиям, планируется максимальная нагрузка 3,5 кВт.

Все потребители проектируемого коттеджного посёлка относятся к 3 категории надёжности, поэтому для них необходим один источник питания.

«В качестве источника внешнего питания для проектируемого коттеджного посёлка принимается ближайшая районная понизительная подстанция 110/10 кВ «Ягодная», расположение которой на карте местности» [16] показано на рисунке 4.

Рисунок 4 – Расположение на карте местности питающей ПС-110/10 кВ «Ягодное» для электроснабжения коттеджного посёлка

«План расположения линии электропередачи 10 кВ (показана красным цветом прямой линией), применяемой для питания системы электроснабжения коттеджного посёлка» [5] (показан красным кружком) от питающей ПС-110/10 кВ «Ягодное» представлены на рисунке 5.

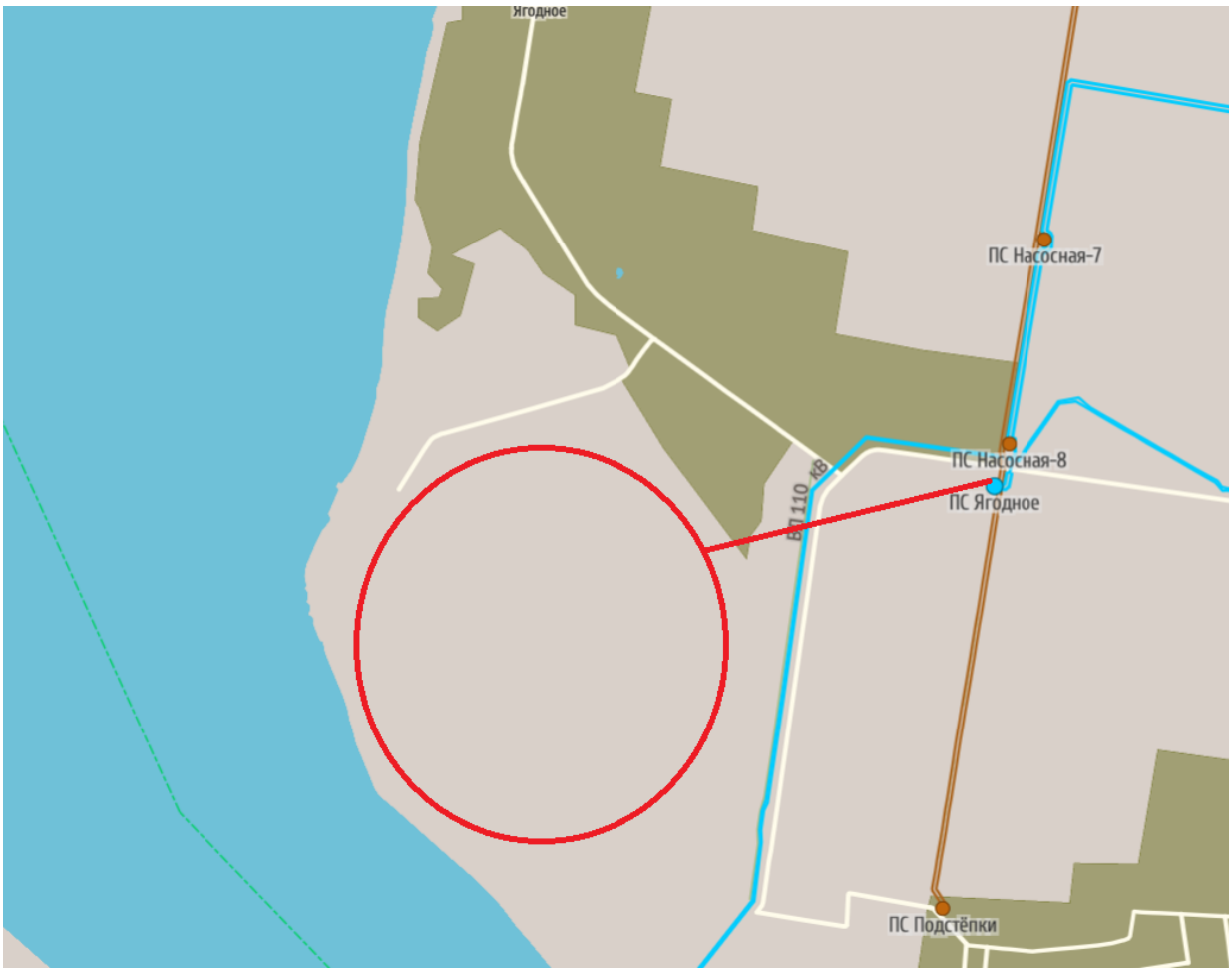


Рисунок 5 – План расположения линии электропередачи 10 кВ (показана красным цветом прямой линией), применяемой для питания системы электроснабжения коттеджного посёлка (показан красным кружком) от питающей ПС-110/10 кВ «Ягодное»

Таким образом, в результате проведения краткого анализа исходных технических данных, было установлено, что в качестве источника внешнего питания для проектируемого коттеджного посёлка принимается ближайшая районная понизительная подстанция 110/10 кВ «Ягодная», от которой планируется выделить одну ячейку и создать линию электропередачи для питания потребителей проектируемого посёлка на напряжении 10 кВ с последующим понижением данного напряжения до значения 0,38/0,22 кВ.

Выводы по разделу.

В результате проведения анализа исходных данных, были рассмотрены климатические и топографические условия для проектирования системы электроснабжения посёлка на 650 домовладений.

Установлено, что данную информацию необходимо учесть при выборе рационального оборудования (по климатическим характеристикам) и трассы сетей объекта проектирования.

В результате проведения краткого анализа исходных технических данных, было установлено следующее:

- согласно исходным данным и заданию на выполнение работы, в проектируемом коттеджном посёлке планируется ввести в эксплуатацию 650 однотипных коттеджей. При этом на каждый коттедж, согласно техническим условиям, планируется максимальная нагрузка 3,5 кВт;
- все потребители проектируемого коттеджного посёлка относятся к 3 категории надёжности, поэтому для них необходим один источник питания;
- в качестве источника внешнего питания для проектируемого коттеджного посёлка принимается ближайшая районная понизительная подстанция 110/10 кВ «Ягодная», от которой планируется выделить одну ячейку и создать линию электропередачи для питания потребителей проектируемого посёлка на напряжении 10 кВ с последующим понижением данного напряжения до значения 0,38/0,22 кВ.

# 2 Расчет электрических нагрузок жилищного массива и системы наружного освещения

## 2.1 Выбор схемы электроснабжения коттеджного посёлка

При проектировании системы электроснабжения коттеджного посёлка необходимо учитывать ряд факторов, влияющих на выбор оптимальной схемы распределения электроэнергии. Используется источник [8].

Основными критериями являются надёжность электроснабжения, экономическая эффективность, возможность масштабирования системы при расширении посёлка, а также соответствие современным требованиям безопасности и энергоэффективности.

Следует учитывать, что в современных коттеджных посёлках, как правило, предусмотрено использование энергоёмких бытовых приборов, систем отопления и кондиционирования, а также возможностей для подключения электромобилей.

При выборе схемы электроснабжения рассматриваются различные варианты, такие как радиальная, кольцевая или смешанная система распределения электроэнергии.

Радиальная схема предполагает индивидуальное подключение каждого домовладения к центральному распределительному пункту по отдельной линии.

Такой подход упрощает структуру сети и облегчает обнаружение и устранение неисправностей, однако снижает надёжность электроснабжения, поскольку повреждение линии приводит к отключению потребителя.

Кольцевая схема обеспечивает подключение потребителей по замкнутому контуру, что позволяет перераспределять питание при возникновении неисправностей и повышает общую надёжность системы.

Однако такая конфигурация требует большего объёма строительных работ и увеличивает первоначальные затраты на создание инфраструктуры.

Смешанная схема объединяет преимущества радиальной и кольцевой систем, обеспечивая баланс между экономической эффективностью и надёжностью. При этом часть потребителей подключается по радиальным линиям, а наиболее критичные объекты получают питание по кольцевым линиям с возможностью резервирования.

Важным фактором является выбор напряжения распределительной сети.

Для коттеджных посёлков обычно применяется напряжение 0,4 кВ, однако при значительных расстояниях между объектами или большой суммарной нагрузке может рассматриваться применение средних напряжений 6 или 10 кВ с последующим понижением на локальных трансформаторных подстанциях.

Необходимо учитывать требования нормативных документов по электробезопасности и обеспечению качества электроэнергии. Проектирование должно предусматривать защиту от перегрузок, коротких замыканий, перенапряжений, а также внедрение средств автоматизации и дистанционного управления для оперативного мониторинга состояния сети и быстрого реагирования на аварийные ситуации.

На этапе проектирования электрических сетей наиболее рациональным и эффективным подходом является выбор оптимальной схемы [4].

Таким образом, с учётом равномерности распределения нагрузки, на стороне 0,38/0,22 кВ принимаются одиночные магистрали без резервирования (10 магистралей, питающей по 65 потребителей каждая).

Структурная электрическая схема системы электроснабжения коттеджного посёлка представлена на рисунке 6.

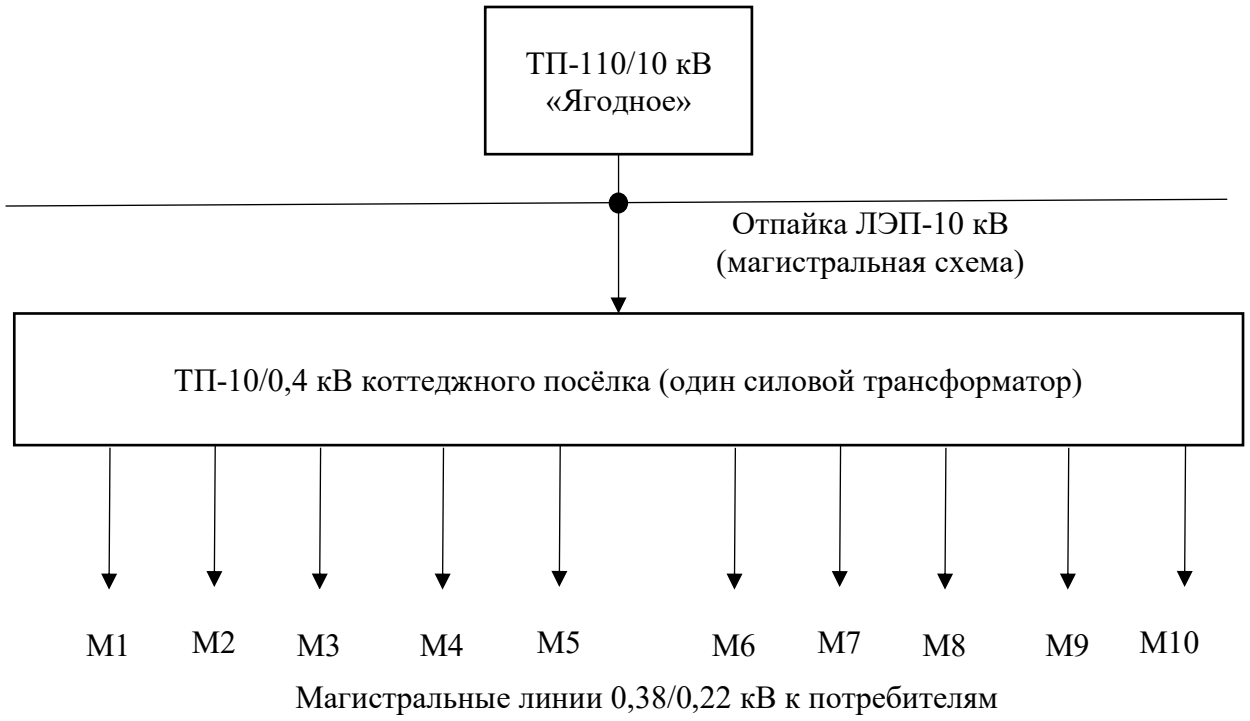


Рисунок 6 – Структурная электрическая схема системы электроснабжения коттеджного посёлка

Предложенная схема коттеджного посёлка в работе принимается за основу.

## 2.2 Расчет электрических нагрузок коттеджного посёлка

Ранее в работе было установлено, что на объекте проектирования необходимо подключить к сети 650 однотипных коттеджей, проектная нагрузка каждого из которых равна 3,5 кВт.

В результате выбора схемы системы электроснабжения установлено, что рационально использовать магистральную схему без резервирования, состоящую из десяти линий, отходящих к коттеджам.

От каждой магистральной линии 0,38/0,22 кВ планируется запитать 65 коттеджей.

Таким образом, все потребители будут равномерно подключены к системе электроснабжения коттеджного посёлка.

На втором этапе определяется значение расчётных нагрузок для «отдельных потребителей (коттеджей) по следующим формулам» [3]:

$$P_{\text{р.1}} = K_{\text{о}} P_{\text{ном}}, \text{кВт}, \quad (1)$$

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

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

$$I_{р.} = \frac{S_{р.}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, \text{А}, \quad (4)$$

где $K_о$ – «коэффициент одновременности максимума нагрузки (для отдельных потребителей на стадии проектирования принимается значение $K_о$ =1)» [7];

$tg\varphi$ - «коэффициент реактивной мощности, соответствующий значению коэффициента активной мощности для электрической сети;

$U_{ном}$ – номинальное напряжение сети, кВ» [7].

По условиям (1-4) для отдельных коттеджей объекта проектирования:

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

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

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

$$I_{р.1} = \frac{3,9}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 5,9 \text{А}.$$

На заключительном этапе проводится расчёт суммарных электрических нагрузок магистралей 0,38/0,22 кВ [3]:

$$P_{м\sum I} = P_{р.1} \cdot n \cdot K_о, \text{кВт}, \quad (5)$$

$$Q_{м\sum I} = Q_{р.1} \cdot n \cdot K_о, квар, \quad (6)$$

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

$$I_{м\sum I} = \frac{S_{м\sum I}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, А, \quad (8)$$

где $n$ – количество однотипных потребителей, которые получают питание от магистрали, шт. [3].

По условиям (5) – (8) для каждой из магистралей посёлка (условия равны, каждая магистраль 0,38/0,22 кВ питает 65 коттеджей, схема – без резервирования):

$$P_{м\sum I} = 3,5 \cdot 65 \cdot 0,4 = 91 кВт;$$

$$Q_{м\sum I} = 1,7 \cdot 65 \cdot 0,4 = 44,2 квар;$$

$$S_{м\sum I} = \sqrt{91^2 + 44,2^2} = 101,2 кВА,$$

$$I_{м\sum I} = \frac{101,2}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 153,8 А.$$

«Нагрузка уличного освещения» [15]:

$$P_{ул.осв} = P_{уд.осв} \cdot \mathrm{S}, кВт, \quad (9)$$

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

$S$ – площадь посёлка, м$^2$» [15].

Значит:

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

«Аналогично приведённым ранее формулам расчёта силовой нагрузки, приводятся выражения для расчёта реактивной и полной осветительной нагрузки коттеджного посёлка» [15]:

$$Q_{ул.осв.} = P_{ул.осв.} \cdot tg\varphi, квар, \quad (10)$$

$$S_{ул.осв.} = \sqrt{P_{ул.осв.}{}^2 + Q_{ул.осв.}{}^2}, кВА. \quad (11)$$

«Расчёт уличного освещения коттеджного посёлка» [15]:

$$P_{ул.осв.} = 13\, кВт,$$

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

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

«Суммарная нагрузка коттеджного посёлка с учётом числа и нагрузки всех магистралей, а также наружного освещения» [4]:

$$P_{n\sum I} = P_{м\sum I} \cdot n \cdot K_o + P_{ул.осв.}, кВт, \quad (12)$$

$$Q_{n\sum I} = Q_{м\sum I} \cdot n \cdot K_o + Q_{ул.осв.}, квар, \quad (13)$$

$$S_{n\sum I} = \sqrt{P_{n\sum I}{}^2 + Q_{n\sum I}{}^2}, кВА, \quad (14)$$

$$I_{n\sum I} = \frac{S_{n\sum I}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, A, \quad (15)$$

где $n$ – «количество однотипных магистралей с одинаковой нагрузкой, шт.» [4].

«Суммарная нагрузка коттеджного посёлка» [5]:

$$P_{n\sum I} = 91 \cdot 10 \cdot 0,8 + 13 = 741\ кВт,$$

$$Q_{n\sum I} = 44,2 \cdot 10 \cdot 0,8 + 12,1 = 365,7\ квар,$$

$$S_{n\sum I} = \sqrt{741^2 + 365,7^2} = 826,3\ кВА.$$

Расчётный ток нормального режима «на вводе 10 кВ системы электроснабжения коттеджного посёлка» [15]:

$$I_{n\sum 10} = \frac{826,3}{\sqrt{3} \cdot 10} = 47,8\ А.$$

«Расчётный ток нормального режима на вводе 0,4 кВ посёлка» [15]:

$$I_{n\sum 0,4} = \frac{855,2}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 1234,4\ А.$$

Результаты расчёта нагрузок посёлка применяются далее.

Выводы по разделу.

Установлено, что коттеджный посёлок относится к третьей категории надёжности, резервирования его схема электроснабжения не требует.

Выбрана магистральная схема без резервирования.

Таким образом, с учётом равномерности распределения нагрузки, на стороне 0,38/0,22 кВ приняты одиночные магистрали без резервирования (10 магистралей, питающей по 65 потребителей каждая).

Разработана оптимальная структурная электрическая схема системы электроснабжения коттеджного посёлка. Получены значения расчётных электрических нагрузок одиночных потребителей, а также питающих магистралей 0,38/0,22 кВ и всей системы электроснабжения коттеджного посёлка на 650 домовладений (с учётом рассчитанной нагрузки наружного освещения).

## 3 Выбор и расчёт числа и мощности трансформаторов

Исходя из того, что в системе электроснабжения коттеджного посёлка все потребители относятся к III категории надёжности, следовательно, на питающей ПС-10/0,4 кВ объекта проектирования необходима и достаточна установка одного силового трансформатора [7].

«Выбор мощности трансформаторов проводится по его активной загрузке в нормальном режиме» [7]:

$$S_{ном.т} \geq \frac{P_{n\sum I}}{K_з \cdot N}, кВА, \quad (16)$$

где $P_{n\sum I}$ - суммарная активная нагрузка посёлка, кВт;

«$K_з$ – номинальный коэффициент загрузки трансформатора;

$N$ – количество трансформаторов» [5].

«Расчет мощности трансформатора для ТП-10/0,4 кВ проектируемого коттеджного посёлка на 650 домовладений» [5]:

$$S_{ном.т} \geq \frac{741}{0,9 \cdot 1} = 666,9\ кВА.$$

«Предварительно принимается к установке на ТП-10/0,4 кВ коттеджного посёлка на 650 домовладений один силовой трансформатор марки ТМГ-1000/10» [18].

Загрузка нового трансформатора в нормальном и максимальном (послеаварийном) режимах питающей подстанции «ТП-10/0,4 кВ, с учётом ввода новой нагрузки объекта проектирования» [10]:

$$K_з^н = \frac{S_{n\sum I}}{S_{ном.тр.} \cdot N} \leq 0,9, \quad (17)$$

где $S_{n\sum I}$ – «суммарная полная нагрузка коттеджного посёлка, *кВА*» [10].

Расчёт в послеаварийном (максимальном) режиме работы на ПС-10/0,4 кВ не проводится.

Значит, по условию (17):

$$K_з^н = \frac{826,3}{1000} = 0,826 \leq 0,9.$$

Выбирается комплектная трансформаторная подстанция наружной установки (далее – КТПН), имеющая ряд значительных преимуществ по сравнению с аналогичными разработками.

В условиях коттеджного посёлка, принимается к установке КТПН-10/0,4 кВ с воздушными вводами (будет использован изолированный провод марки СИП на вводах 10 кВ и 0,4 кВ).

Применение комплектных трансформаторных подстанций в коттеджных посёлках даёт значительные преимущества.

Такие подстанции, представляющие собой компактные и полностью готовые к установке устройства, значительно упрощают процесс создания энергетической инфраструктуры.

Указанный факт позволяет существенно сократить время и затраты на строительство и монтаж.

Кроме того, комплектные трансформаторные подстанции удобны в эксплуатации и техническом обслуживании благодаря стандартизированным компонентам и их лёгкой доступности.

Их компактная конструкция оптимально подходит для использования в условиях ограниченного пространства, что особенно важно при планировании и застройке в тесных условиях коттеджного посёлка.

Высокий уровень безопасности и надёжности также относится к ключевым преимуществам этих подстанций. Соответствие строгим стандартам и прохождение тщательных испытаний позволяют значительно снизить риски возможных сбоев и аварий.

Таким образом, применение выбранной комплектной трансформаторной подстанции КТПН-10/0,4 кВ с трансформатором марки ТМГ-1000/10, обосновано.

Применение данной разработки обеспечит эффективное, надежное и удобное решение для обеспечения электроэнергией системы электроснабжения коттеджного посёлка.

Выводы по разделу.

На основе полученных результатов проведенного расчета установлено, что выбранный силовой трансформатор марки ТМГ-1000/10, полностью пригоден для качественного обеспечения электроэнергией потребителей коттеджного поселка, учитывая ввод в эксплуатацию новой нагрузки на данном объекте.

Установлено, что загрузка выбранного силового трансформатора в нормальном режиме на питающей подстанции ТП-10/0,4 кВ коттеджного посёлка, находится в допустимых пределах.

Обосновано применение для питающей ТП-10/0,4 кВ комплектной трансформаторной подстанции наружной установки с воздушными вводами (будет использован изолированный провод марки СИП на вводах 10 кВ и 0,4 кВ), имеющая ряд значительных преимуществ по сравнению с аналогичными разработками.

## 4 Расчет токов короткого замыкания

«Расчёт токов короткого замыкания в системе электроснабжения коттеджного посёлка на 650 домовладений является критически важным процессом, обеспечивающим надёжное и безопасное функционирование электрической сети.

Правильное проведение этого расчёта гарантирует соответствие системы всем современным стандартам и требованиям, значительно снижая риск аварийных ситуаций и обеспечивая долговечность и надёжность эксплуатации сети» [9].

Следовательно, расчёт необходимо провести для трёхфазных КЗ на выводах трансформатора в максимальном режиме работы.

«Схема сети, используемая для расчёта токов короткого замыкания» [9], представлена на рисунке 7.

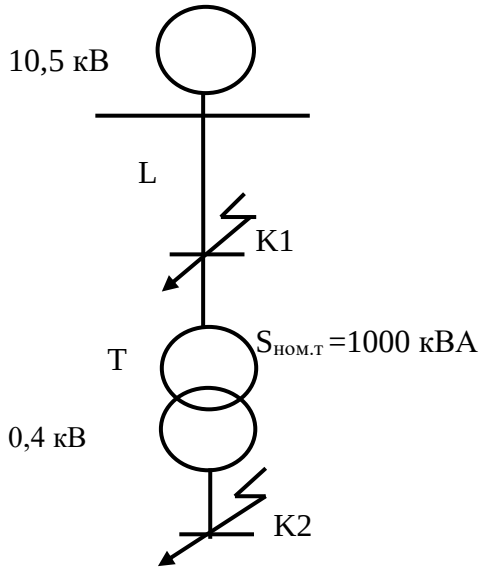


Рисунок 7 – «Исходная расчётная схема для расчёта токов КЗ в СЭС коттеджного посёлка на 650 домовладений» [9]

«Схема замещения сети для расчёта токов КЗ в сети 10 кВ и 0,4 кВ в СЭС коттеджного посёлка на 650 домовладений» [9] показана на рисунке 8.

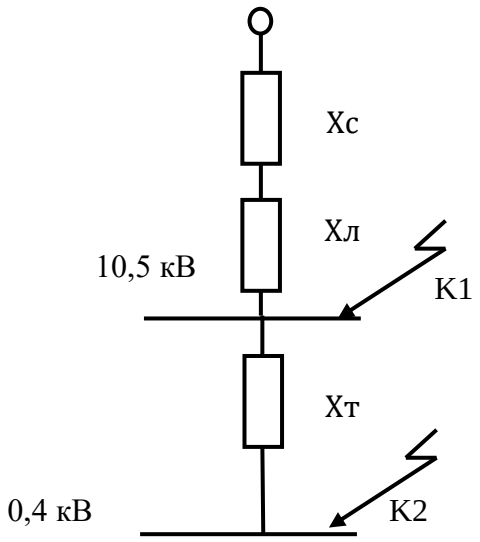


Рисунок 8 – «Схема замещения сети для расчёта токов КЗ в сети 10 кВ и 0,4 кВ в СЭС коттеджного посёлка на 650 домовладений» [9]

«Базисные условия» [9]:

$$S_б = S_c = 1000\ MBA,$$

$$U_б = 10{,}5\ кВ,$$

$$I_б = \frac{S_б}{\sqrt{3} \cdot U_б},\ \text{кА}, \tag{18}$$

$$I_б = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10{,}5} = 55\ \text{кА}.$$

«Сопротивления схемы замещения в относительных единицах» [9]:

$$x_c = \frac{S_б}{S_c}, \tag{19}$$

$$x_c = 1,$$

$$r_c = \frac{x_c}{50}, \tag{20}$$

$$r_c = \frac{1}{50} = 0{,}02.$$

«Сопротивления питающей линии 10 кВ» [9]:

$$x_л = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_б}{U_б^2}, \quad (21)$$

$$x_л = 0,08 \cdot 2 \cdot \frac{1000}{10,5^2} = 1,45,$$

$$r_л = r_0 \cdot l \cdot \frac{S_б}{U_б^2}, \quad (22)$$

$$r_л = 0,043 \cdot 2 \cdot \frac{1000}{10,5^2} = 8,04.$$

«Активное сопротивление трансформатора» [9]:

$$r_т = \frac{\Delta P_к \cdot U_н^2}{S_{ном.т.}^2}, \quad (23)$$

где $\Delta P_к$ - «потери короткого замыкания в трансформаторе (справочные данные), Вт» [9];

$S_{ном.т}$ - «номинальная паспортная мощность силового трансформатора, принятого для установки на ТП-10/0,4 кВ» [9] коттеджного посёлка, кВА.

$$r_т = \frac{20000 \cdot 10^2}{1000^2} = 2.$$

«Индуктивное сопротивление трансформатора» [9]:

$$x_т = \frac{U_{к.ср.\%} \cdot U_н^2}{100 \cdot S_{ном.т.}^2}, \quad (24)$$

где $U_{к.ср\%.}$ - напряжение короткого замыкания силового трансформатора на среднем (нулевом) положении устройства ПБВ (справочные

данные).

$$x_m = \frac{6,5 \cdot 10^2}{100 \cdot 10^2} = 0,065.$$

Суммарное «полное сопротивление трансформатора» [9]:

$$Z_\Sigma = \sqrt{R_\Sigma^2 + X_\Sigma^2}, \quad (25)$$

$$Z_m = \sqrt{2^2 + 0,065^2} \approx 2,00.$$

«Суммарные сопротивления к точке К1» [9]:

$$x_\Sigma = x_c + x_л, \quad (26)$$

$$x_\Sigma = 1 + 1,45 = 2,45,$$

$$r_\Sigma = r_c + r_л, \quad (27)$$

$$r_\Sigma = 0,02 + 8,04 = 8,06,$$

$$z = \sqrt{x_\Sigma^2 - r_\Sigma^2}, \quad (28)$$

$$z = \sqrt{2,45^2 - 8,06^2} = 8,42.$$

«Ток КЗ в точке К1» [9]:

$$I_{П1}^{(3)} = \frac{I_б}{z}, кА, \quad (29)$$

$$I_{П1}^{(3)} = \frac{55}{8,42} = 6,5 кА.$$

«Ударный ток КЗ в точке К1» [9]:

$$i_{удК1} = \sqrt{2} \cdot I_{П1}^{(3)} \cdot K_{у}, кА, \quad (30)$$

где «$K_{уд}$ – значение ударного коэффициента» [9].

«Так как на шинах питающей энергосистемы $\beta''$ = 1, поэтому» [9]:

$$I_{\infty} = I'' = I_{п1}. \quad (31)$$

«Следовательно, ударный коэффициент можно принять равным единице» [9]:

$$i_{удК1} = \sqrt{2} \cdot 6,5 \cdot 1 = 9,2\ кА.$$

«Суммарные сопротивления к точке К2» [9]:

$$x_{\Sigma} = x_{с} + x_{л} + x_{т}, \quad (32)$$

$$x_{\Sigma} = 1 + 1,45 + 0,065 \approx 2,52,$$

$$r_{\Sigma} = r_{с} + r_{л} + r_{т}, \quad (33)$$

$$r_{\Sigma} = 0,02 + 8,04 + 2 = 10,06,$$

$$z = \sqrt{x_{\Sigma}^2 - r_{\Sigma}^2}, \quad (34)$$

$$z = \sqrt{2,52^2 + 10,06^2} = 10,37.$$

«Ток КЗ в точке К2» [9]:

$$I_{П2}^{(3)} = \frac{I_{б}}{z}, кА, \quad (35)$$

$$I_{П2}^{(3)} = \frac{55}{10,37} = 5,3 кА.$$

«Ударный ток КЗ в точке К2» [9]:

$$i_{удК2} = \sqrt{2} \cdot I_{П2}^{(3)} \cdot K_{у}, кА. \quad (36)$$

«Так как на шинах питающей энергосистемы $\beta''$ = 1» [9]:

$$I_{\infty} = I'' = I_{п2}. \quad (37)$$

«Ударный коэффициент можно принять равным единице» [9]:

$$i_{удК2} = \sqrt{2} \cdot 5{,}3 \cdot 1 = 7{,}5 кА.$$

«Результаты расчётов токов КЗ на выводах силового трансформатора ТП-10/0,4 кВ коттеджного посёлка в максимальном режиме работы» [9] приведены в таблице 1.

Таблица 1 – «Результаты расчетов токов КЗ» [9]

| Параметр | Числовое значение параметра, кА | |
|---|---|---|
| | Точка К1 | Точка К2 |
| $I_{Пi}^{(3)}$ | 6,5 | 5,3 |
| $i_{уд.К}$ | 9,2 | 7,5 |

«Результаты расчёта токов КЗ используются в работе далее» [9].

Выводы по разделу.

Получены результаты расчета токов КЗ на выводах силового трансформатора питающей ТП-10/0,4 кВ коттеджного посёлка в максимальном режиме работы.

# 5 Выбор и расчёт электрических аппаратов и проводников

## 5.1 Выбор и расчёт электрических проводников

В работе предлагается использовать современные изолированные проводники марки СИП.

Применение кабельных линий для данной цели возможно, однако прокладка кабельных линий в данном случае нецелесообразна.

Известно, что воздушные линии с изолированным проводом марки СИП (самонесущий изолированный провод) имеют несколько существенных преимуществ перед кабельными линиями при их использовании в системах электроснабжения (в частности, в системе электроснабжения коттеджного посёлка).

Во-первых, воздушные линии с проводом СИП обладают большей экономичностью по сравнению с кабельными линиями. Их установка требует меньших затрат на материалы и монтаж, поскольку прокладка воздушных линий не требует значительных земляных работ или использования дорогостоящих кабельных трасс. Указанный факт особенно актуален в условиях ограниченного бюджета или при необходимости быстрого развертывания линий электропередачи.

Во-вторых, изолированные провода воздушных линий марки СИП отличается высокой устойчивостью к различным внешним воздействиям, таким как ветровые нагрузки и обледенение.

Известно, что провода СИП обладает устойчивой конструкцией, которая позволяет ему сохранять работоспособность в условиях неблагоприятной погоды, что снижает риск повреждений и аварий на линии. Данный аспект также облегчает техническое обслуживание и снижает расходы на ремонт.

Третьим преимуществом является высокая степень безопасности. Изоляция проводов СИП предотвращает прямой контакт с проводами, что снижает риск электрических ударов и позволяет устанавливать линии ближе к

зданиям и другим объектам. Наличие данного фактора делает воздушные линии с изолированными проводами более безопасными в условиях жилых объектов.

Кроме того, линии с проводом СИП имеют более высокую надёжность по сравнению с кабельными линиями. Они менее подвержены повреждениям от грызунов, механическим повреждениям и коррозии, что увеличивает срок службы линии и уменьшает частоту её обслуживания.

Кроме того, воздушные линии с изолированным проводом легче и быстрее монтируются, а также проще модернизируются и расширяются по мере необходимости.

Такая гибкость позволяет быстро адаптировать электрическую сеть к изменяющимся условиям эксплуатации и росту потребления электроэнергии.

«Следовательно, воздушные линии с изолированным проводом марки СИП представляют собой экономичное, надёжное и безопасное решение для систем электроснабжения» [11], особенно в тех случаях, когда важно учесть стоимость, скорость установки и простоту обслуживания. Поэтому данный способ применяется на объекте проектирования.

Таким образом, для канализации электроэнергии в электрической сети коттеджного посёлка на «650 домовладений, принимаются:

- для питающей линии 10 кВ» [11] – «изолированные самонесущие проводники марки СИП-3» [14];
- «для питающих и распределительных линий 0,38/0,22 кВ – изолированные самонесущие проводники марки СИП-2» [13].

Расчётные нагрузки были определены в работе ранее.

Для условий схемы системы электроснабжения коттеджного посёлка, применяется магистральная схема без резервирования на напряжениях 10 кВ (для питания ТП-10/0,4 кВ) и 0,38/0,22 кВ (для питания потребителей).

Проводится выбор питающей линии 10 кВ коттеджного посёлка [1]:

$$F_э = \frac{I_{р.}}{j_э}. \quad (38)$$

Расчётный ток нормального режима питающей линии 10 кВ коттеджного посёлка «принимается равным номинальному току трансформатора на стороне ВН» [11]:

$$I_{р.} = \frac{S_{ном.т}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, \quad (39)$$

$$I_{р.} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 57,8\ А.$$

По условию (39):

$$F_{э.} = \frac{57,8}{1,4} = 41,3\ мм^2.$$

«Для питающей линии 10 кВ коттеджного посёлка принимается провод марки СИП-3 (3×35)» [14].

«Проверка на допустимый нагрев выбранного провода питающей линии 10 кВ коттеджного посёлка проводится по условию» [11]:

$$I_{доп} \geq I_{р.}, \quad (40)$$

где $I_{доп}$ – «допустимый ток данного проводника (справочные данные, зависящие от марки проводника и сечения его жил, а также от типа изоляции, А» [1];

$I_{р.}$ – расчётный ток линии (нормальный режим), А.

Проверка на допустимый нагрев выбранного провода питающей линии 10 кВ коттеджного посёлка по условию (40) выполняется:

$$200\ A \geq 57{,}8\ A.$$

Таким образом, окончательно принимается для питающей линии 10 кВ коттеджного посёлка провод марки СИП-3 (3×35) с длительно допустимой токовой нагрузкой 200 А [14].

Выбор проводников до 1 кВ проводится по условиям допустимого нагрева током нормального режима.

Установлено, что для каждой из питающих магистралей 0,38/0,22 кВ системы электроснабжения посёлка необходимо выбрать сечение провода СИП, который выдерживал бы нормальный расчётный ток, равный 153,8 А.

Выбирается провод марки СИП-2 (3×50+1×50) с длительно допустимой токовой нагрузкой 195 А [13].

Проверка по условиям допустимого нагрева током нормального режима по условию (40) выполняется:

$$195\ A \geq 153{,}8\ A.$$

Окончательно принимаются на всех десяти питающих магистралях 0,38/0,22 кВ проводники марки СИП-2 (3×50+1×50) с длительно допустимой токовой нагрузкой 195 А [13].

Аналогично на отпайках от питающих магистралей 0,38/0,22 кВ для питания потребителей (отдельных коттеджей) принимаются проводники СИП-2 (3×16+1×25) с длительно допустимой токовой нагрузкой 100 А [13].

Условие проверки по условиям допустимого нагрева током нормального режима по условию (40) выполняется:

$$100\ A \geq 5{,}9\ A.$$

Таким образом, выбраны следующие проводники системы электроснабжения коттеджного посёлка:

– для питающей линии 10 кВ коттеджного посёлка принят провод марки СИП-3 (3×35) с длительно допустимой токовой нагрузкой 200 А;
– на всех десяти «питающих магистралях 0,38/0,22 кВ выбраны и проверены проводники марки СИП-2 (3×50+1×50) с длительно допустимой токовой нагрузкой 195 А;
– на отпайках от питающих магистралей 0,38/0,22 кВ» [11] для питания потребителей (отдельных коттеджей) принимаются проводники СИП-2 (3×16+1×25) с длительно допустимой токовой нагрузкой 100 А.

## 5.2 Выбор и расчёт электрических аппаратов

При выборе аппаратов 10 кВ, используется методика, приведённая в [11] и в [12].

Результаты выбора разъединителей представлены в форме таблицы 2.

Таблица 2 – Результаты выбора разъединителей

| Наименование аппарата | Условие выбора | Расчетные данные | Паспортные данные |
|---|---|---|---|
| Разъединители марки РЛНД-1-10/400 | $U_{сети} \le U_{ном}$ | $U_{сети} = 10\,кВ$ | $U_{ном} = 10\,кВ$ |
| | $I_{\max} \le I_{ном}$ | $I_{\max} = 57{,}8А$ | $I_{ном} = 400\,А$ |
| | $i_y \le i_{дин.}$ | $i_y = 9{,}2\,кА$ | $i_{дин.} = 31{,}5\,кА$ |
| | $B_K \le I_T{}^2 \cdot t_T$ | $I_T{}^2 \cdot t_T = 6{,}5^2 \cdot 3 = 126{,}75\,кА^2с$ | $B_K = 31{,}5^2 \cdot 3 = 2977\,кА^2с$ |

«Далее выбираются аппараты для установки на ТП-10/0,4 кВ: выключатели нагрузки и плавкие предохранители.

Они устанавливаются на вводе питающей магистрали 10 кВ, обеспечивая её коммутацию и защиту.

Результаты выбора выключателей нагрузки 10 кВ СЭС коттеджного посёлка на 650 домовладений для установки на ТП-10/0,4 кВ» [11] представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты выбора выключателей нагрузки

| Наименование и место установки аппарата | Условие выбора | Расчетные данные сети | Паспортные данные |
|---|---|---|---|
| Выключатели нагрузки марки ВВНР-10/630-20У2 | $U_{сети} \le U_{ном}$ | $U_{сети} = 10\,кВ$ | $U_{ном} = 10\,кВ$ |
| | $I_{\max} \le I_{ном}$ | $I_{\max} = 57{,}8 А$ | $I_{ном} = 630\ А$ |
| | $i_y \le i_{дин.}$ | $i_y = 9{,}2\ кА$ | $i_{дин.} = 31{,}5\,кА$ |
| | $B_K \le I_T^{\,2} \cdot t_T$ | $I_T^{\,2} \cdot t_T = 6{,}5^2 \cdot 3 = 126{,}75\,кА^2 с$ | $B_K = 31{,}5^2 \cdot 3 = 2977\,кА^2 с$ |

«Для защиты от токов КЗ в РУ-10 кВ используются плавкие предохранители.

Результаты выбора плавких предохранителей 10 кВ СЭС коттеджного посёлка на 650 домовладений для установки на ТП-10/0,4 кВ» [11] представлены в таблице 4.

Таблица 4 – «Результаты выбора плавких предохранителей» [11]

| Наименование аппарата | Условие выбора | Расчетные данные | Паспортные данные |
|---|---|---|---|
| Предохранители марки ПКТ-101-10-100-20 У1 | $U_{сети} \le U_{ном}$ | $U_{сети} = 10\,кВ$ | $U_{ном} = 10\,кВ.$ |
| | $1{,}1-1{,}5 I_{ном.т} \le I_{ном.вст}$ | $1{,}5 I_{ном.т} = 1{,}5 \times \times 57{,}8 = 86{,}7 А.$ | $I_{ном.вст} = 100\ А.$ |
| | $I_{ном.п} \ge I_{ном.вст}$ | $I_{ном.п} = 100\ А$ | $I_{ном.вст} = 100\ А$ |
| | $B_K \le I_T^{\,2} \cdot t_T$ | $I_T^{\,2} \cdot t_T = 6{,}5^2 \cdot 3 = 126{,}75\,кА^2 с$ | $B_K = 20^2 \cdot 3 = 1200\,кА^2 с$ |

Известно, что правильный выбор автоматических выключателей является залогом безопасности и эффективности системы электроснабжения коттеджного посёлка.

Автоматы выбираются по методике, приведённой в [19].

Номинальный ток автомата [19]:

$$I_{ном.\,а} > I_{р.},\ А, \qquad (41)$$

где $I_р$ – максимальный рабочий ток (принимается равным расчётному току на низкой стороне силового трансформатора ТП-10/0,4 кВ).

«Предварительно для автомата ввода ТП-10/0,4 кВ коттеджного посёлка» [11]:

$$1600\ A > 1519,3\ A.$$

«К установке предварительно принимается автоматический выключатель серии ВА-78 с номинальным током автомата $I_{ном.а}$ = 1600 А» [1].

«Определяется ток уставки срабатывания теплового расцепителя автомата» [19]:

$$I_{с.т.р} = 1,1 \cdot I_{р.} = 1,1 \cdot 1519,3 = 1671,2 \text{ А}. \quad (42)$$

Следовательно, необходимо увеличить номинал автомата, так как ток срабатывания теплового расцепителя не может быть больше номинального тока автомата, в который он входит.

Принимается автоматический выключатель серии ВА55-43 с «номинальным током автомата $I_{ном.а}$ = 2000 А и током уставки срабатывания теплового расцепителя автомата $I_{с.т.р}$ = 2000 А» [19].

«Проверяется чувствительность уставки теплового расцепителя» [19]:

$$K_ч = \frac{I^{(3)}_{К2}}{I_{с.п.р}} \geq 2, \quad (43)$$

$$K_ч = \frac{5300}{2000} = 2,65 \geq 2.$$

«Ток уставки электромагнитного расцепителя» [19]:

$$I_{с.э.р.} = 3 \cdot 2000 = 6000 \text{ А} \geq I_{раб.макс} = 1519{,}3 \text{ А}.$$

«Автоматы проверяются по динамической стойкости» [19]:

$$i_{дин.} > i_{уд.}, \ A, \qquad (44)$$
$$75 кА > 7{,}5 \ кА.$$

Таким образом, в «качестве вводного автомата питающей ТП-10/0,4 В системы электроснабжения коттеджного посёлка на 650 домовладений, выбран автоматический выключатель марки ВА55-43 с номинальным током автомата $I_{ном.а}$ = 2000 А, током уставки срабатывания теплового расцепителя автомата» [19] $I_{с.т.р}$ = 2000 А и током уставки срабатывания электромагнитного расцепителя автомата $I_{с.э.р}$ = 6000 А.

Результаты выбора остальных автоматов в системе электроснабжения коттеджного посёлка на 650 домовладений приведены в таблице 5.

Таблица 5 − Результаты выбора автоматов ввода ТП-10/0,4 кВ

| Наименование автомата | $I_р$, А | Марка автомата | $I_{ном.а}$, А | $I_{с.т.р}$, А | $I_{с.э.р}$, А |
|---|---|---|---|---|---|
| Автомат ввода ТП-10/0,4 кВ | 1519,3 | ВА55-43 | 2000 | 2000 | 6000 |
| Автоматы магистралей 0,38/0,22 кВ | 153,8 | ВА51-35 | 250 | 200 | 600 |
| Автоматы отдельных потребителей | 5,9 | ВА47-29 | 10 | 10 | 30 |

Таким образом, в работе выбраны и проверены следующие электрические аппараты напряжением 0,38/0,22 кВ:

– в «качестве вводного автомата питающей ТП-10/0,4 В системы электроснабжения коттеджного посёлка на 650 домовладений, выбран

автоматический выключатель марки» [11] ВА-55-43 с номинальным током автомата $I_{ном.а}$ = 2000 А, током уставки срабатывания теплового расцепителя автомата $I_{с.т.р}$ = 2000 А и током уставки срабатывания электромагнитного расцепителя автомата $I_{с.э.р}$ = 6000 А;

- для «защиты и коммутации питающих магистралей 0,38/0,22 кВ коттеджного посёлка на 650 домовладений обосновано применение автоматов марки ВА51-35 с номинальным током автомата» [11] с током $I_{ном.а}$ = 250 А, током уставки срабатывания теплового расцепителя автомата $I_{с.т.р}$ = 200 А и током уставки срабатывания электромагнитного расцепителя автомата $I_{с.э.р}$ = 600 А;
- для защиты и коммутации ВРУ-0,4 кВ отдельных объектов коттеджного посёлка на 650 домовладений выбраны и проверены автоматы марки ВА47-29 с номинальным током автомата $I_{ном.а}$ = 10 А, током уставки срабатывания теплового расцепителя автомата $I_{с.т.р}$ = 10 А и током уставки срабатывания электромагнитного расцепителя автомата $I_{с.э.р}$ = 30 А.

Выводы по разделу.

Выбраны следующие проводники системы электроснабжения коттеджного посёлка:

- для питающей линии 10 кВ коттеджного посёлка принят провод марки СИП-3 (3×35) с длительно допустимой токовой нагрузкой 200 А;
- на всех десяти питающих магистралях 0,38/0,22 кВ выбраны и проверены проводники марки СИП-2 (3×50+1×50);
- на отпайках от питающих магистралей 0,38/0,22 кВ для питания потребителей (отдельных коттеджей) принимаются проводники СИП-2 (3×16+1×25) с длительно допустимой токовой нагрузкой 100 А.

Для защиты и коммутации питающей сети 10 кВ системы электроснабжения коттеджного посёлка на 650 домовладений выбраны рациональные электрические аппараты.

Выбраны и проверены следующие электрические аппараты напряжением 0,38/0,22 кВ:

- в качестве вводного автомата питающей ТП-10/0,4 В выбран автомат марки ВА-55-43 с номинальным током автомата $I_{ном.а}$ = 2000 А, током уставки срабатывания теплового расцепителя автомата $I_{с.т.р}$ = 2000 А и током уставки срабатывания электромагнитного расцепителя автомата $I_{с.э.р}$ = 6000 А;
- для защиты и коммутации питающих магистралей 0,38/0,22 кВ коттеджного посёлка на 650 домовладений обосновано применение автоматов марки ВА51-35 с номинальным током автомата, равным $I_{ном.а}$ = 250 А, током уставки срабатывания теплового расцепителя автомата $I_{с.т.р}$ = 200 А и током уставки срабатывания электромагнитного расцепителя автомата $I_{с.э.р}$ = 600 А;
- для защиты и коммутации ВРУ-0,4 кВ выбраны автоматы марки ВА47-29 с номинальным током автомата $I_{ном.а}$ = 10 А, током уставки срабатывания теплового расцепителя $I_{с.т.р}$ = 10 А и током уставки срабатывания электромагнитного расцепителя автомата $I_{с.э.р}$ = 30 А.

## 6 Выбор устройств релейной защиты, системы коммерческого учёта электроэнергии и расчёт заземления

### 6.1 Выбор устройств релейной защиты

В работе для защиты питающей линии коттеджного посёлка на напряжении 10 кВ «предлагается выбрать микропроцессорные блоки РЗиА марки БЗП-02» [6], представленные на рисунке 9.

Рисунок 9 – Блок РЗиА марки БЗП-02

Одним из его ключевых достоинств данного блока является способность к быстрому и точному обнаружению неисправностей и аварийных ситуаций, что минимизирует риск повреждения оборудования и снижает затраты на ремонт и техническое обслуживание.

Блок БЗП-02 также демонстрирует высокую степень селективности, обеспечивая отключение только тех участков сети, которые подвержены

повреждениям, и сохраняя при этом функционирование остальной части системы.

В системе электроснабжения коттеджного посёлка применение блоков релейной защиты и автоматики марки БЗП-02 обосновано необходимостью повышения надёжности и безопасности электрической сети.

Блоки БЗП-02 обеспечивают эффективную защиту от аварийных режимов, включая перегрузки, короткие замыкания и замыкания на землю, что способствует предотвращению повреждений оборудования и снижению риска отключений электроэнергии.

Использование БЗП-02 позволяет осуществлять быстродействующее выявление и селективное отключение повреждённых участков сети, что существенно минимизирует воздействие аварий на потребителей и обеспечивает непрерывность электроснабжения.

Технические характеристики блоков БЗП-02 соответствуют современным требованиям к релейной защите, включая высокую точность срабатывания и устойчивость к помехам.

Кроме того, блоки БЗП-02 поддерживают функции автоматизации, что облегчает мониторинг и управление сетью электроснабжения.

Возможность интеграции с системами диспетчеризации и телеметрии позволяет оперативно реагировать на изменения в сети и проводить профилактическое обслуживание.

Таким образом, применение БЗП-02 способствует оптимизации работы электросетевого хозяйства и повышению энергоэффективности.

С учётом вышеперечисленного, внедрение блоков релейной защиты и автоматики БЗП-02 в систему электроснабжения коттеджного посёлка является технически и экономически обоснованным решением.

Данное обоснованное техническое решение соответствует современным стандартам безопасности и надёжности, а также обеспечивает адаптацию сети к будущим нагрузкам и технологическим изменениям.

## 6.2 Выбор системы коммерческого учёта электроэнергии

«В работе проводится выбор системы коммерческого учёта электроэнергии для использования» [6] в системе электроснабжения коттеджного посёлка, рассчитанного на 650 домовладений.

«Выбор данной системы является важным этапом проектирования, направленным на обеспечение надёжного и эффективного управления энергетическими ресурсами» [6].

Кроме того, система коммерческого учёта электроэнергии способствует искоренению коммерческих потерь электроэнергии в результате её хищений и недоучёта.

Учитывая проведённый анализ отечественных разработок, для применения в системе электроснабжения коттеджного посёлка на 650 домовладений предлагается использовать «автоматизированную систему коммерческого учёта электроэнергии (далее – АСКУЭ) на основе современных трёхфазных программируемых электронных счётчиков марки» [17] STAR 328/0,5/1 С8-1(10)Э Т RS-485 UZ IEK (рисунок 10).

Рисунок 10 – Программируемый электронный счётчик STAR 328/0,5/1 С8-1(10)Э Т RS-485 UZ IEK

Счётчики коммерческой АСКУЭ отличаются высокой точностью измерений и возможностью программирования, что позволяет адаптировать их функционал под специфические требования конкретного объекта или системы.

Благодаря интерфейсу RS-485, обеспечивается надёжная и быстрая передача данных, что является важным условием для оперативного мониторинга и управления энергопотреблением в реальном времени.

Счётчики STAR 328/0,5/1 С8-1(10)Э Т RS-485 UZ IEK интегрируются в единую сеть АСКУЭ, что позволяет не только вести точный учёт потреблённой электроэнергии, но и анализировать данные для оптимизации потребления, выявления несанкционированных подключений и минимизации потерь в сети.

Применение таких счётчиков способствует повышению общей эффективности энергоснабжения, улучшению экономической составляющей управления энергетическими ресурсами и повышению уровня надёжности работы системы электроснабжения.

Кроме того, современные электронные счётчики STAR 328/0,5/1 С8-1(10)Э Т RS-485 UZ IEK, лежащие в основе коммерческой АСКУЭ системы электроснабжения коттеджного посёлка, поддерживают функции многотарифного учёта, что позволяет дифференцировать тарифы в зависимости от времени суток и уровня нагрузки, тем самым стимулируя рациональное потребление энергии.

Интеллектуальные возможности данных устройств, включая самодиагностику и автоматическую передачу данных, обеспечивают высокий уровень автоматизации учёта электроэнергии, что значительно снижает затраты на эксплуатацию и техническое обслуживание системы.

Внедрение такой современной и надёжной АСКУЭ является шагом вперёд в направлении создания интеллектуальных систем управления энергопотреблением, соответствующих современным требованиям энергоэффективности и устойчивого развития.

### 6.3 Расчёт заземления трансформаторной подстанции

Известно, что расчёт контура заземления трансформаторной подстанции 10/0,4 кВ, используемой в системе электроснабжения коттеджного посёлка, является актуальной и важной задачей, определяющей надёжность и безопасность эксплуатации всей электрической инфраструктуры.

Правильно рассчитанное заземление подстанции обеспечивает защиту от электрических ударов и предотвращает повреждения оборудования, вызванные перенапряжениями или короткими замыканиями.

Данный фактор является важным в условиях коттеджного посёлка, где существует высокая плотность потребителей, что увеличивает риски аварийных ситуаций как среди жителей посёлка, так и среди обслуживающего персонала.

Важным аспектом является соблюдение нормативных требований по сопротивлению заземляющего устройства, что гарантирует защиту как в нормальных, так и в аварийных режимах работы энергосистемы.

Кроме того, надёжность контура заземления влияет на устойчивость работы защитных устройств, таких как релейная защита и автоматика, которые должны быстро и точно реагировать на любые отклонения в работе электрической сети.

Недостаточный уровень заземления может привести к неправильной работе защитных систем, увеличивая вероятность повреждений оборудования и опасных ситуаций для обслуживающего персонала.

Таким образом, расчёт и последующая реализация эффективного контура заземления трансформаторной подстанции являются важными элементами обеспечения безопасности и надёжности всей системы электроснабжения коттеджного посёлка.

Используется методика, приведённая в [10].

«Сопротивление грунта (расчетное)» [10]:

$$\rho_p = k_c \cdot k_1 \cdot \rho_{изм}, \quad (45)$$

где $k_c$, $k_1$ – «соответственно, коэффициент сезонности и коэффициент, учитывающий, при какой влажности грунта производились измерения;

$\rho_{изм}$ – удельное сопротивление грунта, Ом·м» [10].

«Сопротивление одного круглого стержня, погруженного вертикально в землю, определяется по формуле» [10]:

$$R_в = \frac{\rho_p}{2 \cdot \pi L} \cdot (\ln \frac{2L}{d} + 0{,}5 \ln \frac{4 \cdot t + L}{4 \cdot t - L}), \quad (46)$$

где «$L$ – длина электрода, м;

$d$ – диаметр электрода, м;

$t$ – заглубление заземлителя (расстояние от поверхности земли до середины заземлителя), м» [10].

«Расчетное сопротивление растеканию горизонтального электрода» [10]:

$$R_г = \frac{\rho_p}{2 \cdot \pi L} \cdot \ln \frac{L_г^2}{0{,}5 \cdot b \cdot t}, \quad (47)$$

где «$L_г$ – длина всего электрода, м;

$b_г$ – ширина электрода, м;

$t_г$ – глубина залегания электрода, м» [10].

«Сопротивление группового заземлителя» [10]:

$$R_{гр} = \frac{R_в \cdot R_г}{R_в \cdot \eta_г + n \cdot R_г \cdot \eta_в}, \quad (48)$$

где «$n$ – количество вертикальных электродов;

$\eta_в$ – коэффициент использования вертикального электрода;

$\eta_г$ – коэффициент использования горизонтального электрода» [10].

«Расчетное сопротивление контура» [10]:

$$\rho_р = 1,6 \cdot 1 \cdot 150 = 240 Ом \cdot м.$$

«Находится сопротивление одного вертикального электрода, длина его принимается равной 3 м» [10]:

$$R_в = \frac{240}{2 \cdot 3,14 \cdot 3} \cdot (\ln \frac{2 \cdot 3}{0,032} + 0,5 \ln \frac{4 \cdot 1,8 + 3}{4 \cdot 1,8 - 3}) = 31,44 Ом.$$

$$\rho_р = 1,6 \cdot 1 \cdot 50 = 80 Ом \cdot м,$$

$$R_г = \frac{80}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} \cdot \ln \frac{50^2}{0,5 \cdot 0,04 \cdot 0,8} = 3,05 Ом.$$

$$R_{гр} = \frac{31,44 \cdot 3,05}{31,44 \cdot 0,69 + 3,05 \cdot 8 \cdot 0,79} = 2,34 Ом.$$

Контур заземления подстанции представлен в графической части работы.

Выводы по разделу.

Установлено, что для обеспечения качественной и надёжной защиты питающей линии 10 кВ коттеджного посёлка на 650 домовладений, необходимо применить блоки РЗиА марки БЗП-02.

Также для системы электроснабжения коттеджного посёлка выбрана АСКУЭ STAR 328/0,5/1 С8-1(10)Э Т RS-485 UZ IEK.

Рассчитан контур заземления ТП-10/0,4 кВ, включающий 8 вертикальных электродов.

## Заключение

В работе разработан проект системы электроснабжения коттеджного посёлка на 650 домовладений.

В результате проведения краткого анализа исходных технических данных, было установлено следующее:

- согласно исходным данным и заданию на выполнение работы, в проектируемом коттеджном посёлке планируется ввести в эксплуатацию 650 однотипных коттеджей. При этом на каждый коттедж, согласно техническим условиям, планируется максимальная нагрузка 3,5 кВт;
- все потребители проектируемого коттеджного посёлка относятся к 3 категории надёжности, поэтому для них необходим один источник питания;
- в качестве источника внешнего питания для проектируемого коттеджного посёлка принимается ближайшая районная понизительная подстанция 110/10 кВ «Ягодная», от которой планируется выделить одну ячейку и создать линию электропередачи для питания потребителей проектируемого посёлка на напряжении 10 кВ с последующим понижением данного напряжения до значения 0,38/0,22 кВ.

Определена и выбрана схема электроснабжения объекта проектирования.

Так как проектируемый в работе коттеджный посёлок относится к третьей категории надёжности, резервирования его схема электроснабжения не требует.

Исходя из приведённых аргументов, для электроснабжения коттеджного посёлка на 650 домовладений, выбрана магистральная схема без резервирования.

Таким образом, с учётом равномерности распределения нагрузки, на стороне 0,38/0,22 кВ приняты одиночные магистрали без резервирования (10 магистралей, питающей по 65 потребителей каждая).

На основе полученных результатов проведенного расчета установлено, что выбранный силовой трансформатор марки ТМГ-1000/10, полностью пригоден для качественного обеспечения электроэнергией потребителей коттеджного поселка, учитывая ввод в эксплуатацию новой нагрузки на данном объекте.

Установлено, что загрузка выбранного силового трансформатора в нормальном режиме на питающей подстанции ТП-10/0,4 кВ коттеджного посёлка, находится в допустимых пределах.

Обосновано применение для питающей ТП-10/0,4 кВ комплектной трансформаторной подстанции наружной установки с воздушными вводами (будет использован изолированный провод марки СИП на вводах 10 кВ и 0,4 кВ), имеющая ряд значительных преимуществ по сравнению с аналогичными разработками.

Проведены расчёты токов короткого замыкания на выводах силового трансформатора ТМГ-1000/10 ТП-10/0,4 кВ коттеджного посёлка в максимальном режиме работы.

Выбраны следующие проводники системы электроснабжения коттеджного посёлка:

- для питающей линии 10 кВ коттеджного посёлка принят провод марки СИП-3 (3×35) с длительно допустимой токовой нагрузкой 200 А;
- на всех десяти питающих магистралях 0,38/0,22 кВ выбраны и проверены проводники марки СИП-2 (3×50+1×50) с длительно допустимой токовой нагрузкой 195 А;
- на отпайках от питающих магистралей 0,38/0,22 кВ для питания потребителей (отдельных коттеджей) принимаются проводники СИП-2 (3×16+1×25) с длительно допустимой токовой нагрузкой 100 А.

Для защиты и коммутации питающей сети 10 кВ системы электроснабжения коттеджного посёлка на 650 домовладений выбраны следующие электрические аппараты:

- для установки на питающей магистральной линии электрической сети 10 кВ: разъединители марки РЛНД-1-10/400;
- для установки на ТП-10/0,4 кВ: выключатели нагрузки марки ВВНР-10/630-20У2 и плавкие предохранители марки ПКТ-101-10-100-20 У1.

Выбраны и проверены следующие электрические аппараты напряжением 0,38/0,22 кВ:

- в качестве вводного автомата питающей ТП-10/0,4 В системы электроснабжения коттеджного посёлка на 650 домовладений, выбран автоматический выключатель марки ВА-55-43 с номинальным током автомата $I_{ном.а}$ = 2000 А, током уставки срабатывания теплового расцепителя автомата $I_{с.т.р}$ = 2000 А и током уставки срабатывания электромагнитного расцепителя автомата $I_{с.э.р}$ = 6000 А;
- для защиты и коммутации питающих магистралей 0,38/0,22 кВ коттеджного посёлка на 650 домовладений обосновано применение автоматов марки ВА51-35 с номинальным током автомата $I_{ном.а}$ = 250 А, током уставки срабатывания теплового расцепителя автомата $I_{с.т.р}$ = 200 А и током уставки срабатывания электромагнитного расцепителя автомата $I_{с.э.р}$ = 600 А;
- для защиты и коммутации ВРУ-0,4 кВ отдельных объектов коттеджного посёлка на 650 домовладений выбраны и проверены автоматы марки ВА47-29 с номинальным током автомата $I_{ном.а}$ = 10 А, током уставки срабатывания теплового расцепителя автомата $I_{с.т.р}$ = =10 А и током уставки срабатывания электромагнитного расцепителя автомата $I_{с.э.р}$ = 30 А.

Установлено, что для обеспечения качественной и надёжной защиты питающей линии 10 кВ коттеджного посёлка на 650 домовладений, на

высоковольтных выключателях в ячейках РУ-10 кВ рационально применение блоков РЗиА марки БЗП-02.

Также для системы электроснабжения коттеджного посёлка выбрана коммерческая АСКУЭ, основанная на счётчиках STAR 328/0,5/1 С8-1(10)Э Т RS-485 UZ IEK.

Таким образом, основываясь на полученных результатах, подтверждено, что предложенный проект системы электроснабжения коттеджного посёлка на 650 домовладений характеризуется высокими показателями:

- надёжности,
- экономичности,
- бесперебойности питания потребителей,
- безопасности,
- селективности и чувствительности защиты
- точностью учёта электроэнергии.

## Список используемых источников


1. Киреева Э.В. Электроснабжение и электрооборудование организаций и учреждений. М.: Кнорус, 2019. 236 с.

2. Климат Тольятти (Российская Федерация) [Электронный ресурс]: URL: https://ru.climate-data.org/азия/россииская-федерация/самарская-область/тольятти-469/ (дата обращения: 31.08.2024).

3. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов. М.: Академия, 2021. 400 с.

4. Куксин А.В. Электроснабжение промышленных предприятий. Учебное пособие. М.: Инфра-Инженерия, 2021. 156 с.

5. Линия: Ягодное (485161666) [Электронный ресурс]: URL: https://www.openstreetmap.org/way/485161666#map=18/53.565586/49.122900 (дата обращения: 31.08.2024).

6. Микропроцессорное устройство релейной защиты БЗП-02 [Электронный ресурс]: URL: http://www.i-mt.tech/releynaya-zaschita-avtomatika-ustroystvo-bzp-02 (дата обращения: 31.08.2024).

7. Немировский А.Е. Электрооборудование электрических сетей, станций и подстанций. М.: Инфра-Инженерия, 2020. 174 с.

8. Правила устройства электроустановок. 7-е издание. Изд-во ЦентрМаг, 2022. 584 с.

9. РД 153-34.0-20.527-98 «Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования» [Электронный ресурс]: URL: https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294817/4294817179.htm (дата обращения: 31.08.2024).

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

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

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

13. СИП-2. [Электронный ресурс]: URL: https://k-ps.ru/spravochnik/provoda-izolirovannyie/dlya-vozdushnyix-linij-peredach/sip-2/ (дата обращения: 31.08.2024).

14. СИП-3. [Электронный ресурс]: URL: https://k-ps.ru/spravochnik/provoda-izolirovannyie/dlya-vozdushnyix-linij-peredach/sip-3/ (дата обращения: 31.08.2024).

15. СП 440.1325800.2018 Проектирование естественного и искусственного освещения. [Электронный ресурс]: URL: https://docs.cntd.ru/document/554819713 (дата обращения: 31.08.2024).

16. Схема ЛЭП и электроснабжения России. ПС-110/10 кВ «Ягодное» [Электронный ресурс]: URL: https://frexosm.ru/power/#10.87/53.5875/49.1276 (дата обращения: 31.08.2024).

17. Счетчик электроэнергии STAR 328/0,5/1 С8-1(10)Э Т RS-485 UZ IEK [Электронный ресурс]: URL: https://energo-res.ru/catalog/pribory_ucheta_kontrolya_izmereniya_i_oborudovanie_elektropitaniya/schetchiki_elektricheskoy_energii/schetchiki_elektricheskoy_energii_mnogotarifnye_i_askue/schetchik-el-en-star-328-0-5-1-s8-1-10-e-t-rs-485-uz-iek/ (дата обращения: 31.08.2024).

18. Трансформаторы ТМ (ТМГ). [Электронный ресурс]: URL: https://transform74.ru/tr/transformatory-tm/ (дата обращения: 31.08.2024).

19. Фризен В.Э., Назаров С.Л. Расчет и выбор электрооборудования низковольтных распределительных сетей промышленных предприятий. Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2021. 184 с.

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