

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

Факультет Энергетический
Кафедра Энергетики
Направление подготовки 13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника
Направленность (профиль) образовательной программы Электроэнергетика

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Зав. кафедрой
_____ Н.В. Савина
« _____ » _____ 2023 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему: Проектирование системы электроснабжения напряжением 6-0,4 кВ
коттеджного посёлка Белый парус в Приморском крае

Исполнитель
студент группы 942-узб

подпись, дата

В.А. Кокорев

Руководитель
доцент, канд.техн.наук

подпись, дата

А.Н. Козлов

Консультант по
безопасности и
экологичности
доцент, канд.техн.наук

подпись, дата

А.Б. Булгаков

Нормоконтроль
ст. преподаватель

подпись, дата

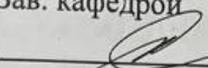
Л.А. Мясоедова

Благовещенск 2023

Факультет энергетический
Кафедра энергетики

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой


Н.В. Савина
« 19 » 04 2023

ЗАДАНИЕ

К выпускной квалификационной работе студента В.А. Кокорев

1. Тема выпускной квалификационной работы: Проектирование системы электроснабжения напряжением 6-0,4 кВ коттеджного посёлка Белый парус в Приморском крае

(утверждена приказом от 03.04.2023г. №494-У)

2. Срок сдачи студентом законченной работы (проекта) 13.06.2023

3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе: план застройки полуострова Де-Фриз Приморского края, оперативная схема ПС Шмидтовка, контрольный замер Приморских электрических сетей декабрь 2022 года.

4. Содержание выпускной квалификационной работы (перечень подлежащих разработке вопросов): энергоэкономическая и климатическая характеристика района проектирования, проектирование низковольтного электроснабжения, выбор числа и мощности трансформаторов на трансформаторных подстанциях 6/0,4 кВ, компенсация реактивной мощности на трансформаторных подстанциях 6/0,4 кВ, выбор схемы подключения трансформаторных подстанций 6/0,4 кВ к сети 6 кВ, токи короткого замыкания в сети до 1 кВ, выбор и проверка аппаратуры до 1 кВ, токи короткого замыкания в сети выше 1 кВ, выбор электрического оборудования 6 кВ, нагрузка центра питания, компенсация емкостных токов, релейная защита и автоматика, заземление

5. Перечень материалов приложения: (наличие чертежей, таблиц, графиков, схем, программных продуктов, иллюстративного материала и т.п.): план сети 0,4 кВ коттеджного поселка Белый парус, план сети 6 кВ по 1 и 2 варианту, однолинейная схема и внешний вид ТП-2, однолинейная схема сети 6 кВ, однолинейная схема ПС «Шмидтовка» 35/6 кВ, микропроцессорная защита линии 6 кВ

6. Консультанты по выпускной квалификационной работе (с указанием относящихся к ним разделов): Безопасность и экологичность – Булгаков А.Б.

7. Дата выдачи задания 19.04.2023

Руководитель выпускной квалификационной работы: Козлов Александр Николаевич
(фамилия, имя, отчество, должность, ученая степень, ученое звание)

Задание принял к исполнению (дата): Кокорев В.А. 19.04.2023
(подпись студента)

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 118 с, 10 рисунков, 36 таблиц, 34 источника.

ПЛОЩАДЬ ОТВОДА ЗЕМЛИ, СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ, АППАРАТЫ ЗАЩИТЫ, ТЕРМИЧЕСКАЯ СТОЙКОСТЬ, ДОПУСТИМАЯ ПОТЕРЯ НАПРЯЖЕНИЯ, РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА, КОМПЛЕКТНОЕ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО, ДОПУСТИМЫЙ ТОК, ТРАНСФОРМАТОРНАЯ ПОДСТАНЦИЯ, КОНТРОЛЬНЫЙ ЗАМЕР, НИЗКОЕ НАПРЯЖЕНИЕ, ВАКУУМНЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ.

В работе проводится проектирование системы электроснабжение расширяющегося коттеджного посёлка «Белый парус» в Надеждинском муниципальном районе Приморского края. В связи с чем предусматривается ряд инженерных расчётов: расчёты электрических нагрузок 0,4 кВ, далее 6 кВ, выбор и проверка трансформаторов 6/0,4 кВ, проводников сети 0,4 кВ, наиболее экономичная схема сети 6 кВ, выбор средств защиты и автоматики в сетях 6 кВ. Также затрагиваются вопросы реконструкции РУ6 кВ ПС Шмидтовка 35/6 кВ как центра питания сетей 6 кВ с учётом её фактической и проектируемой загрузки. Техника безопасности при сооружении сетей 6-0,4 кВ, показатели экологичности проекта в части выполнения маслоприемника ТП 6/0,4 кВ и действия работников при сооружении сетей 0,4-6 кВ при возникновении пожара рассмотрены в разделе «Безопасность и экологичность».

СОДЕРЖАНИЕ

Определения, обозначения, сокращения	6
Введение	7
1 Энергоэкономическая и климатическая характеристика района проектирования	9
2 Проектирование низковольтного электроснабжения	14
2.1 Расчёт электрических нагрузок жилых домов	14
2.2 Расчёт электрических нагрузок общественных зданий	16
2.3 Расчёт электрических нагрузок коммунального сектора	17
2.4 Выбор количества линий 0,4 кВ и трасс их прохождения	18
2.5 Выбор площади сечения линий 0,4 кВ	18
2.6 Расчёт наружного освещения	21
2.7 Расчёт электрических нагрузок трансформаторных подстанций 6/0,4 кВ	22
3 Выбор числа и мощности трансформаторов на трансформаторных подстанциях 6/0,4 кВ	24
4 Компенсация реактивной мощности на трансформаторных подстанциях 6/0,4 кВ	26
5 Выбор схемы подключения трансформаторных подстанций 6/0,4 кВ к сети 6 кВ	28
5.1 Выбор сечений проводов линий 6 кВ	31
5.2 Технико-экономическое обоснование схемы сети 6 кВ	36
6 Токи короткого замыкания в сети до 1 кВ	39
7 Выбор и проверка аппаратуры до 1 кВ	46
7.1 Предохранители и автоматические выключатели	46
7.2 Воздушные линии 0,4 кВ	50
8 Токи короткого замыкания в сети выше 1 кВ	53
9 Выбор электрического оборудования 6 кВ	57
9.1 Распределительное устройство	57
9.2 Выключатели	59

9.3 Разъединители	64
9.4 Выключатели нагрузки	66
9.5 Предохранители	69
9.6 Трансформаторы тока	72
9.7 Трансформаторы напряжения	76
9.8 Ограничители перенапряжения	79
9.9 Жёсткие шины	82
9.10 Опорные изоляторы	85
9.11 Проверка линий 6 кВ	86
10 Нагрузка центра питания	87
10.1 Расчётная нагрузка	87
10.2 Проверка загрузки силовых трансформаторов ПС Шмидтовка	87
10.3 Компенсация реактивной мощности	90
11 Компенсация емкостных токов	91
12 Релейная защита и автоматика	92
12.1 Токовая отсечка без выдержки времени.	92
12.2 Максимальная токовая защита линий	94
12.3 Защита от однофазных замыканий на землю	95
12.4 Устройство автоматического включения резерва	97
12.5 Устройство автоматической частотной разгрузки	97
12.6 Устройство автоматического повторного включения	98
13 Заземление	99
14 Безопасность и экологичность	103
14.1 Безопасность	103
14.2 Экологичность	106
14.3 Чрезвычайные ситуации	110
Заключение	114
Библиографический список	115

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ

АВР – автоматическое включение резерва;

АО – акционерное общество;

ВРУ – вводное распределительное устройство;

ЕНЭС - Единая национальная электрическая сеть;

ЗНЗ – защита от замыкания на землю;

КЗ – короткое замыкание;

КРУ – комплектное распределительное устройство;

ЛЭП – линия электропередачи;

МТЗ – максимальная токовая защита;

ПС – подстанция;

РЗ - релейная защита;

ТО – токовая отсечка;

ТОСЭР – территория опережающего социально-экономического развития;

ТП – трансформаторная подстанция.

ТСО - территориальная сетевая организация.

ВВЕДЕНИЕ

Дальневосточный федеральный округ на своей территории имеет большое количество развивающихся территорий опережающего социально-экономического развития (ТОСЭР). Значительная часть ТОР подключена к системе электроснабжения региона как посредством подключения к территориальным сетевым организациям (ТСО), так и к объектам Единой национальной электрической сети (ЕНЭС) [1].

Севернее района проектирования располагается ТОСЭР «Надеждинская», расположенная в границах Надеждинского сельского поселения Надеждинского муниципального района Приморского края, на северо-западе от полуострова Де-Фриз между населенными пунктами п.Западный, с.Вольно-Надеждинское, с.Прохладное, п.Шмидтовка, п.Зима Южная [2].

В Реестр сведений о резиденте ТОСЭР «Надеждинская» за 2023 год внесены резиденты ООО «НАДЕЖДИНСКАЯ СТАЛЬКОНСТРУКЦИЯ», ООО «Специализированный застройщик «Бриннер Девелопмент», ООО «Транспортно-логистическая Компания МультиМодал ДВ», ООО «ТОНИК ЖИЗНИ», ООО «Научно-Производственное объединение ПРИМХИМ». Виды экономической деятельности, осуществляемой резидентами ТОСЭР «Надеждинская», начиная с 2023 года являются производство строительных металлических конструкций, изделий и их частей, строительство жилых и нежилых зданий, производство пищевых продуктов, органических и неорганических химических веществ [3].

Благодаря наличию капиталоемких производств и вакансий на территории проектирования, ожидается повышение темпов заинтересованности населения Надеждинского муниципального района в трудоустройстве.

Целесообразность темы выпускной квалификационной работы состоит в том, что потребность населения Надеждинского муниципального района Приморского края в доступном жилье обеспечивается возведением объектов жилой недвижимости, инфраструктурных объектов жилищно-коммунального хозяйства, которые требуется подключить к существующим сетям ТСО.

Актуальность выпускной квалификационной работы заключается в том, что коттеджный поселок «Белый парус», благодаря близости резидентов ТОСЭР, является перспективным с точки зрения его развития как объекта инфраструктуры, обеспечивающего жилищный фонд района.

Новизна выпускной квалификационной работы состоит в разработке системы электроснабжения жилой застройки для работников как предприятий-резидентов ТОСЭР «Надеждинская», начавших свою деятельность в 2023 году, так и для всего населения Надеждинского муниципального района Приморского края.

Практическая значимость выпускной квалификационной работы сосредоточена во всестороннем подходе к проектированию системы электроснабжения коттеджного поселка «Белый парус» для обеспечения надежного и качественного электроснабжения.

Цель выпускной квалификационной работы - проектирование системы электроснабжения коттеджного поселка «Белый парус» Надеждинского муниципального района Приморского края.

Выполняются расчёты нагрузок потребителей 0,4 кВ, выбираются схемы подключения потребителей 0,4 кВ, выбираются и проверяются аппараты 0,4-6 кВ, рассчитываются токи короткого замыкания, выбираются и проверяются устройства защиты и автоматики в сетях 6 кВ, приводятся меры безопасности при строительстве сетей 0,4-6 кВ, меры пожарной безопасности, рассчитываются параметры маслоприемника ТП 6/0,4 кВ.

Результаты проектирования системы электроснабжения напряжением 0,4-6 кВ коттеджного поселка «Белый парус» Надеждинского муниципального района Приморского края могут использоваться для аналогичных работ в дальнейшем.

При расчётах различных величин в выпускной квалификационной работе задействовались программные средства офисных программ Microsoft Office Word 2014; Microsoft Office Excel 2014; Microsoft Office Visio 2014. Сроки действия лицензионных ключей до 31.12.2023.

1 ЭНЕРГОЭКОНОМИЧЕСКАЯ И КЛИМАТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Климат Надеждинского муниципального района Приморского края обусловлен близостью Японского моря, характер климата резко выраженный муссонный. Величина относительная влажность воздуха (до 90-100 %) наблюдается в летнее время – с июня по август. Общая годовая сумма осадков находится в пределах 740-800 мм с выпадаемостью в летние месяцы до 80% от общей суммы годовых осадков. Максимум осадков приходится на июль-август (до 140 мм и более), минимум осадков приходится на январь (12-13 мм). Средние минимальные температуры для января – минус 17-18°C (абсолютный минимум – минус 30-35°C), средние максимальные для августа – +24-25°C (абсолютный максимум – +34-35°C) [24].

Сухость осеннего периода создает высокую степень пожарной опасности, которая сохраняется иногда до глубокой зимы в связи с поздним выпадением снега. Второй пик пожарной опасности наблюдается весной – в апреле-мае.

Ближайший центр питания сетей среднего напряжения 6 кВ для района проектирования – ПС Шмидтовка 35/6 кВ. Подстанция имеет открытое распределительное устройство 35 кВ и закрытое распределительное устройство с ячейками КРУ-6 кВ. Располагается вблизи от транспортной магистрали полуострова Де-Фриз, что способствует беспрепятственной доставке оборудования и персонала на территорию ПС Шмидтовка вне зависимости от погодных условий. Для южной части полуострова Де-Фриз ПС Шмидтовка является единственным центром питания, что указывает на необходимость повышения надежности центра питания. По материалам [4] следует, что все центры питания Надеждинского муниципального района Приморского края имеют отрицательный резерв присоединяемой мощности, что говорит о значительной величине подключаемой к ним нагрузки, превышающей номинальную.

Характеристика оборудования центра питания ПС Шмидтовка 35/6 кВ с точки зрения наличия и необходимости его замены приводится в таблице 1.

Таблица 1 – Оборудование ПС Шмидтовка

Тип оборудования	Марка	Расшифровка	Примечание
РУВН-35 кВ			
Фильтр присоединения	ОФП-4	Однофазный фильтр присоединения	Реконструкция ОРУ-35 кВ в данной работе не рассматривается
Конденсатор связи	СМП-55		
ВЧ-заградитель	РЗ-600	Высокочастотный заградитель	
Разъединитель линейный	РНДЗ-1-35	1 комплект заземляющих ножей	
Разъединитель шинный	РНДЗ-2-35У	2 комплекта заземляющих ножей	
Предохранитель	ПС-35М	Высоковольтный предохранитель, плавкий	
ТСН	ТМ-100/35-74	Трансформатор собственных нужд	
ошиновка	АС-70	Сталеалюминевый провод	
ТТ	ТВ-35-05 ТВТ-35-05	Трансформатор тока на выводах выключателя 35 кВ	
ТН	3хЗНОМ-35	Трансформатор напряжения заземляемый	
выключатель	С-35М	Масляный баковый выключатель	
ОПН	ОПН-35	Ограничитель перенапряжения нелинейный	
Трансформатор силовой	ТМН-2500/35	Силовой трансформатор с РПН	Проводится проверка загрузки с учётом контрольного замера и выбирается подходящий для покрытия дефицита мощности
РУНН-6 кВ			
выключатель	ВМПЭ-10 ВМП-10	Масляный выключатель	Замена на вакуумные
ТН	НТМИ	Масляный трансформатор напряжения	Замена по результатам поверочных испытаний
ТТ	ТПЛ-10-05	Проходной с литой изоляцией	
ОПН	РВП-6	Разрядники вентильные	Замена на ОПН-10
ТСН			Использован на ОРУ-35 кВ 35/0,4 кВ
ЗРУ	КРУ-2-6Э А 100х10	Комплектное распределительное устройство	Замена по результатам проверки оборудования ячеек

Для выбранного района проектирования на 2023 год резерв мощности составляет – 6,28 МВт. В дальнейшем при проектировании будет решена задача по выбору мощности силовых трансформаторов на ПС Шмидтовка для покрытия данного резерва, рисунок 1.

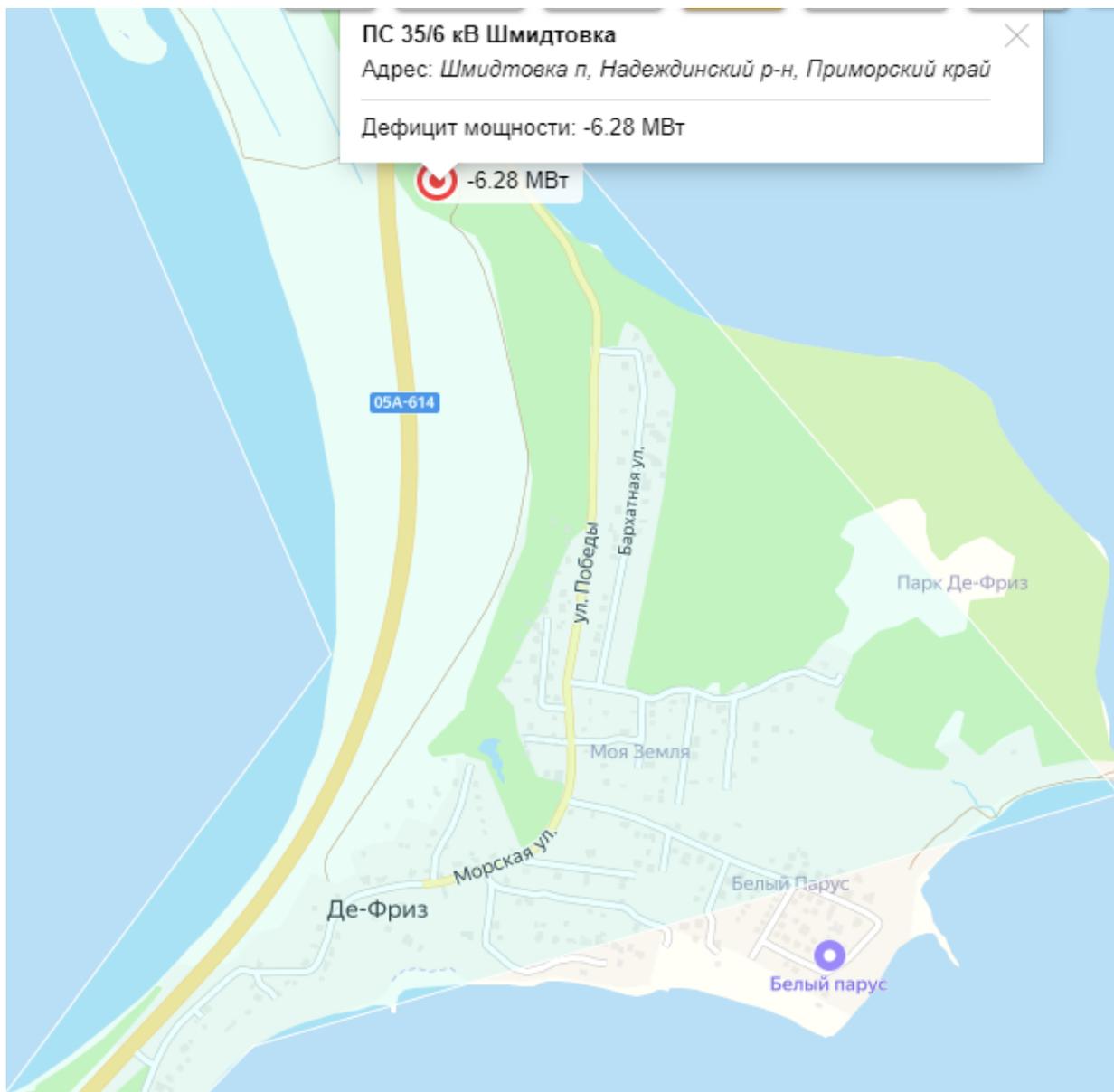


Рисунок 1 – Расположение ПС Шмидтовка 35/6 кВ

В данной выпускной квалификационной работе рассматривается проектирование системы электроснабжения 6-0,4 кВ для малоэтажной застройки в районе 1, 2, 3 кварталов коттеджного поселка «Белый парус».

Ведомость планируемых сооружений коттеджного поселка «Белый парус» показана в таблице 2 [1].

Таблица 2 - Планируемые сооружения коттеджного поселка «Белый парус»

Наименование и обозначение	Этажность	Удельные нагрузки
квартал 1		
Жилой дом по проекту	1	по РД
Жилой дом существующий	1	по РД
торгово-офисное здание	1	0,16 кВт/м ²
магазин	1	0,25 кВт/м ²
детский сад	2	0,46 кВт/место
канализационная насосная станция	1	по РД
квартал 2		
Жилой дом по проекту	1	по РД
Жилой дом существующий	1	по РД
торгово-офисное здание	1	0,16 кВт/м ²
магазин	1	0,25 кВт/м ²
спортклуб	2	по РД
квартал 3		
Жилой дом по проекту	1	по РД
Жилой дом существующий	1	по РД
торговый комплекс	2	по РД
школа	2	0,25 кВт/уч
центр детского творчества	2	0,46 кВт/уч
канализационная насосная станция	1	по РД

Кварталы коттеджного поселка «Белый парус» расположены согласно рисунка 2. Квартал №1 представляет собой планируемую застройку северной части полуострова Де-Фриз, является наибольшим кварталом из планируемой застройки. Частично квартал №3 коттеджного поселка «Белый парус» пересекает парк полуострова Де-Фриз, совмещая в себе рекреационную функцию. Относительно системы электроснабжения наличие парковой зоны означает необходимость учитывать дополнительную нагрузку освещения в вечерний максимум нагрузок на шинах 0,4 кВ ТП 6/0,4 кВ. Квартал №2 представляет собой планируемую застройку центральной части полуострова Де-Фриз, по обеим сторонам улицы Парусная, является наименьшим кварталом из планируемой застройки. Квартал №3 представляет собой фактическую на 2023 год застройку южной прибрежной части полуострова Де-Фриз, расположенной вдоль причала. Фактическая застройка коттеджного поселка «Белый парус» учитывается в полной мере в работе так как после ввода в эксплуатацию коттеджей площадью более 100 м² происходит их дооснащение бытовыми электроприемниками, которые

не были учтены на стадии проектирования до ввода в эксплуатацию коттеджей. Учёт дополнительных электроприёмников в составе нагрузки сетей 0,4 кВ может быть достигнут завышением удельной нагрузки на количество коттеджей, подключенных к линиям 0,4 кВ. Данным способ позволяет в дальнейшем адекватно подключенной нагрузке оценить потери напряжения по линиям 0,4 кВ [1].

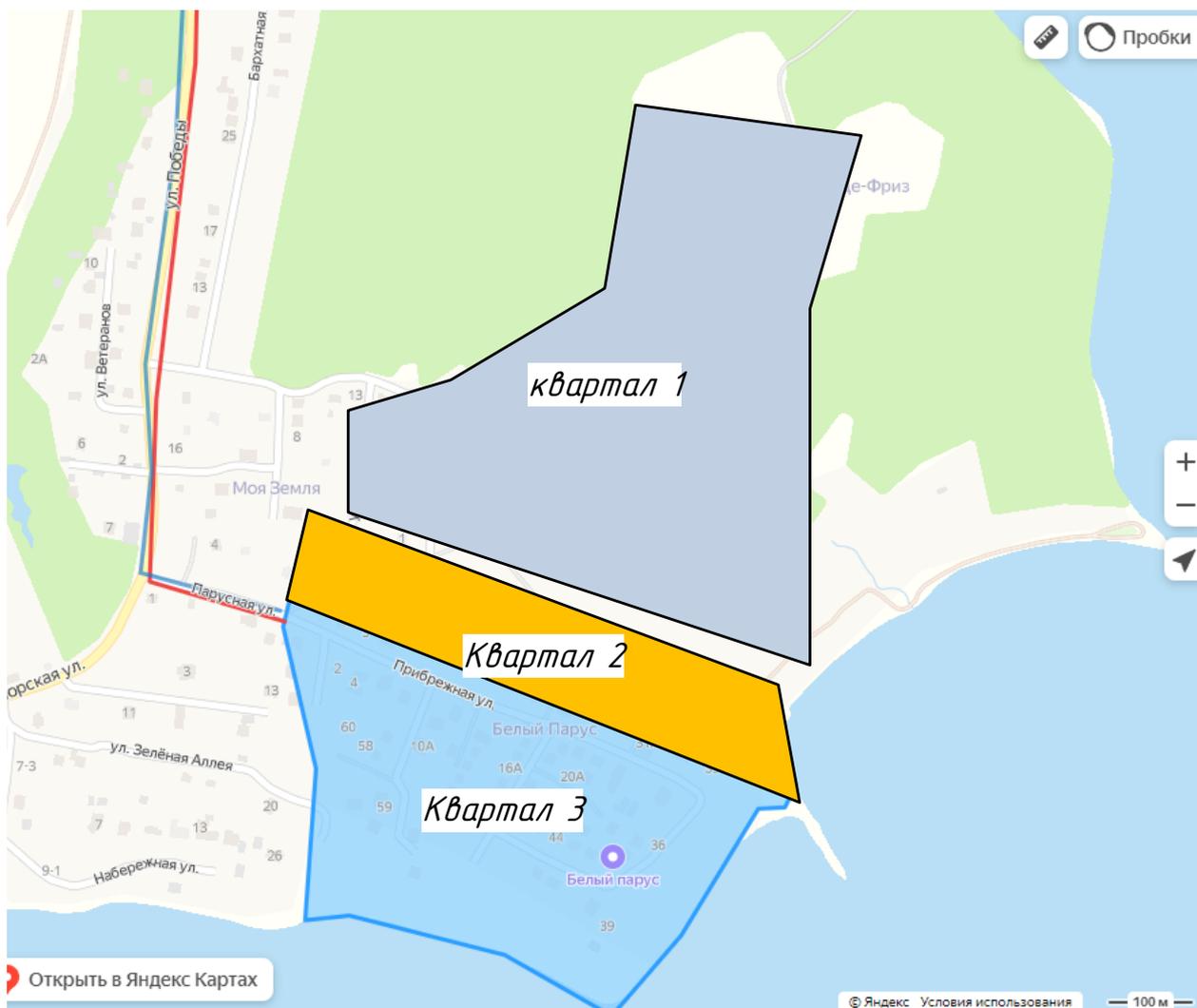


Рисунок 2 – Расположение района в структуре генерального плана

2 ПРОЕКТИРОВАНИЕ НИЗКОВОЛЬТНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

2.1 Расчёт электрических нагрузок жилых домов

В коттеджном поселке «Белый парус» предусматривается электроснабжение и наружное освещение 1,2,3 квартала. В соответствии с ПУЭ п. 1.2.18 и СП 31-110-2003 «Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий» п. 5.1 потребители коттеджного поселка «Белый парус» относятся к I, II и III категории надежности электроснабжения. К I категории относятся – противопожарные устройства торгово-офисных зданий, детского сада-школы (система подпора воздуха, дымоудаления, пожарная сигнализация и оповещение о пожаре), аварийное освещение, к III категории жилые дома, наружное освещение, ко II категории – все остальные электроприемники.

Наличие определенного количества современных бытовых приборов влияет на расчётную нагрузку на вводе в жилой дом (квартиру), поэтому для оценки предельной нагрузки линий 0,4 кВ ТП 6/0,4 кВ используются данные квартир повышенной комфортности [5].

Ссылаясь на [5], обосновано использование следующего расчётного выражения для расчёта величин нагрузки для проектируемого жилого дома (квартал 1) в ходе проектирования:

$$P_{P_{жсд1}} = P_{уд\ кв} \cdot n_{кв}, \quad (1)$$

$$P_{P_{жсд1}} = 14 \cdot 1 = 14 \text{ кВт};$$

$$Q_{P_{жсд1}} = P_{P_{жсд1}} \cdot \operatorname{tg}\varphi; \quad (2)$$

$$Q_{P_{жсд1}} = 14 \cdot 0,2 = 2,8 \text{ квар};$$

$$S_{P_{жсд1}} = \sqrt{P_{P_{жсд1}}^2 + Q_{P_{жсд1}}^2}; \quad (3)$$

$$S_{P_{\text{исд1}}} = \sqrt{14^2 + 2,8^2} = 14,3 \text{ кВА};$$

где $P_{\text{уд кв}}$ - активная мощность жилого дома коттеджного посёлка «Белый парус», 14 кВт [5].

$\text{tg}\varphi$ - коэффициент реактивной мощности для жилых домов коттеджного посёлка «Белый парус», 0,2 [5].

Расчёт электрических нагрузок силовых электроприёмников насосов водоснабжения и подогревателей отопления не учитывается, так как в проектируемом районе предусмотрен отдельный тепловой пункт и насосная станция.

Полученные результаты расчёта величины электрических нагрузок жилых зданий коттеджного посёлка «Белый парус» по аналогии для похожих вычислений разделяются по кварталам застройки и заносятся в таблицу 3.

Таблица 3 - Проектируемые жилые здания коттеджного посёлка «Белый парус»

Тип объекта	Этаж-ность	единица измерения	Расчётная нагрузка			tgφ	Категория по надёжности
			P, кВт	Q, кВАр	S, кВА		
квартал 1							
Жилой дом по проекту	1	по РД	14	2,8	14,3	0,2	3
Жилой дом существующий	1	по РД	10	2	10,2	0,2	3
квартал 2							
многоквартирный дом	1	по РД	64,3	12,86	65,6	0,20	3
Жилой дом по проекту	1	по РД	14	2,8	14,3	0,2	3
Жилой дом существующий	1	по РД	10	2	10,2	0,2	3
квартал 3							
многоквартирный дом	1	по РД	64,3	12,86	65,6	0,2	3
Жилой дом по проекту	1	по РД	14	2,8	14,3	0,2	3
Жилой дом существующий	1	по РД	10	2	10,2	0,2	3

2.2 Расчёт электрических нагрузок общественных зданий

Ссылаясь на [5], обосновано использование следующего расчётного выражения для расчёта величин нагрузки для детского сада на 95 мест (квартал 1) в ходе проектирования:

$$P_{P \text{ садик}} = P_{уд} \cdot n_{мест}, \quad (4)$$

$$P_{P \text{ садик}} = 0,46 \cdot 95 = 43,7 \text{ кВт};$$

$$Q_{P \text{ садик}} = P_{P \text{ садик}} \cdot \text{tg}\varphi, \quad (5)$$

$$Q_{P \text{ садик}} = 43,7 \cdot 0,25 = 10,92 \text{ квар};$$

$$S_{P \text{ садик}} = \sqrt{P_{P \text{ садик}}^2 + Q_{P \text{ садик}}^2}, \quad (6)$$

$$S_{P \text{ садик}} = \sqrt{43,7^2 + 10,92^2} = 45 \text{ кВА};$$

где $P_{уд}$ - удельная нагрузка дошкольного учреждения, 0,46 кВт/место [5];

$n_{мест}$ - количество мест по проекту, 95 мест.

Полученные результаты расчёта величины электрических нагрузок жилых зданий коттеджного посёлка «Белый парус» по аналогии для похожих вычислений разделяются по кварталам застройки и заносятся в таблицу 4.

Таблица 4 - Проектируемые общественные здания коттеджного посёлка «Белый парус»

Тип объекта	Этажность	единица измерения	Расчётная нагрузка			tgφ	Категория по надёжности
			P, кВт	Q, кВАр	S, кВА		
1	2	3	4	5	6	7	8
квартал 1							
магазин	1	0,25 кВт/м ²	12,5	9,375	15,6	0,75	3

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4	5	6	7	8
детский сад	2	0,46 кВт/место	43,7	10,925	45,0	0,25	2
квартал 2							
торгово-офисное здание	1	0,16 кВт/м ²	32	15,36	35,5	0,48	3
магазин	1	0,25 кВт/м ²	12,5	9,375	15,6	0,75	3
спортклуб	1	по РД	72,5	27,55	77,6	0,38	3
квартал 3							
торговый комплекс	1	по РД	320	153,6	355,0	0,48	3
школа	1	0,25 кВт/уч	75	28,5	80,2	0,38	3
центр детского творчества	2	0,46 кВт/уч	138	34,5	142,2	0,25	3

2.3 Расчёт электрических нагрузок коммунального сектора

Ссылаясь на [5], обосновано использование следующего расчётного выражения для расчёта величин нагрузки для канализационной насосной станции (квартал 1) в ходе проектирования:

$$P_{PKHC} = P_{уд} \cdot n_{ов} \cdot K_{одн}, \quad (7)$$

$$P_{PKHC} = 25 \cdot 5 \cdot 0,84 = 105 \text{ кВт};$$

$$Q_{PKHC} = P_{PKHC} \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (8)$$

$$Q_{PKHC} = 105 \cdot 0,43 = 45,15 \text{ квар};$$

$$S_{PKHC} = \sqrt{P_{PKHC}^2 + Q_{PKHC}^2}, \quad (9)$$

$$S_{PKHC} = \sqrt{105^2 + 45,15^2} = 114,3 \text{ кВА};$$

где $P_{уд}$ - удельная нагрузка насосов КНС, 25 кВт/дв [6];

$n_{ов}$ - количество двигателей по проекту, 5 шт;

$K_{одн}$ - коэффициент одновременности задействованных в работе двигателей по проекту, 0,84 [6].

Полученные результаты расчёта величины электрических нагрузок коммунального сектора коттеджного посёлка «Белый парус» по аналогии для похожих вычислений разделяются по кварталам застройки и заносятся в таблицу 5.

Таблица 5 - Проектируемые коммунальные потребители коттеджного посёлка «Белый парус»

Наименование и обозначение	Этажность	единица измерения	Расчётная нагрузка			tgφ	Категория по надёжности
			P, кВт	Q, кВАр	S, кВА		
квартал 1							
канализационная насосная станция	1	по РД	105	45,15	114,3	0,43	2
квартал 3							
канализационная насосная станция	1	по РД	105	45,15	114,3	0,43	2

2.4 Выбор количества линий 0,4 кВ и трасс их прохождения

Линии 0,4 кВ выполняем проводом СИП-2А. Прокладка осуществляется на железобетонных опорах вдоль проездов с одной стороны проезжей части.

Количество линий от комплектных ТП – до 8 присоединений. ВЛ-0,4 кВ выполняются одинарным проводом СИП-2А, используется магистральная резервированная схема.

2.5 Выбор площади сечения линий 0,4 кВ

Ссылаясь на [8], обосновано использование следующего расчётного выражения для расчёта величины нагрузки линии 0,4 кВ 1 от ТП1 в ходе проектирования:

$$P_{P \text{ лин1 ТП1}} = P_{уд \text{ кв}} \cdot n_{кв}, \quad (10)$$

$$P_{P_{\text{лин1 ТП1}}} = 5,7 \cdot 13 = 74,1 \text{ кВт},$$

$$S_{P_{\text{лин1 ТП1}}} = \frac{P_{P_{\text{лин1 ТП1}}}}{\cos \varphi}, \quad (11)$$

$$S_{P_{\text{лин1 ТП1}}} = \frac{74,1}{0,98} = 75,57 \text{ кВА},$$

где $P_{\text{уд кв}}$ - удельная нагрузка подключенных домов, для 13 домов 5,7 кВт/кв [8];

$n_{\text{кв}}$ - количество домов, подключенных по линии, 13 шт.

Ссылаясь на [7], обосновано использование следующего расчётного выражения для расчёта величины тока по линии 0,4 кВ 1 от ТП1 в ходе проектирования:

$$I_{P_{\text{лин1 ТП1}}} = \frac{S_{P_{\text{лин1 ТП1}}}}{\sqrt{3} \cdot U_H}; \quad (12)$$

$$I_{P_{\text{лин1 ТП1}}} = \frac{75,57}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 109 \text{ А}.$$

Принимается провод СИП-2А сечением 50 мм² с допустимым током 165 А.

Ссылаясь на [10], обосновано использование следующего расчётного выражения для выбора сечения провода линии 0,4 кВ 1 от ТП1 в ходе проектирования:

$$I_{\text{рабочий макс}} \leq I_{\text{доп}}, \quad (13)$$

109 ≤ 165, условие выполняется.

Полученные результаты расчёта по выбору проводов линий 0,4 кВ коттеджного посёлка «Белый парус» по аналогии для похожих вычислений разделяются по ТП и заносятся в таблицу 6.

Таблица 6 - Выбор линий 0,4 кВ коттеджного посёлка «Белый парус»

№ ТП	№ линии	Здания, сооружения подключенные на линию 0,4 кВ	Кол-во потр-ей	S _p , кВА	P _p , кВт	I _p , А	Тип проводника:	Сечение, кв.мм
1	2	3	4	5	6	7	8	9
ТП 1	линия 1	13 домов	13	75,57	74,10	109	СИП	50
	линия 2	18 домов	18	89,95	88,20	130	СИП	50
	линия 3	22 дома	22	99,39	97,46	144	СИП	70
	линия 4	10 домов	10	65,57	64,30	95	СИП	35
	линия 5	20 домов	20	95,25	93,40	138	СИП	70
	линия 6	17 домов	17	87,20	85,51	126	СИП	70
ТП 2	линия 1	22 дома	22	99,39	97,46	144	СИП	50
	линия 2	33 дома	33	124,18	121,77	179	СИП	120
	линия 3	11 домов	11	69,21	67,87	100	СИП	25
	линия 4	торгово-офисное здание	1	35,50	32,00	51	СИП	25
ТП 3	линия 1	29 домов+офисное здание	18	102,69	100,70	148	СИП	120
	линия 2	11 домов + офис+магазин	11	114,60	112,37	166	СИП	120
	линия 3	8 домов	8	58,50	57,36	85	СИП	25
	линия 4	13 домов	13	75,57	74,10	109	СИП	50
	линия 5	садик	1	114,30	43,70	165	СИП	25
	линия 6	насосная	1	114,30	105,00	165	СИП	25
ТП 4	линия 1	20 домов +3 многокв	20	291,97	286,30	422	СИП	150
	линия 2	3 дома+офис+3 многокв	3	273,72	268,40	396	СИП	120
	линия 3	спортклуб	1	77,56	72,50	112	СИП	25
	линия 4	4 дома+4 многокв	4	315,51	309,20	456	СИП	150
	линия 5	12 домов+1 многокв	12	138,29	135,52	200	СИП	120
	линия 6	5 домов+2многокв+оф+маг	5	237,65	232,90	343	СИП	150
	линия 7	4 дома+3многокв	4	142,86	140,00	206	СИП	150
	линия 8	12 домов+1многокв	12	138,29	135,52	200	СИП	95

Продолжение таблицы 6

1	2	3	4	5	6	7	8	9
ТП 5	линия 1	10 домов +2 многокв	10	196,84	192,90	284	СИП	120
	линия 2	10 домов	10	65,61	64,30	95	СИП	50
	линия 3	торговый комплекс	1	354,95	320,00	513	СИП	95
	линия 4	20 домов	20	95,31	93,40	138	СИП	70
	линия 5	18 домов	18	85,78	84,06	124	СИП	70
	линия 6	12 домов+школа	12	149,20	146,22	216	СИП	120
	линия 7	насосная	1	114,30	105,00	165	СИП	25
ТП 6	линия 1	11 домов	11	69,26	67,87	100	СИП	25
	линия 2	12 домов	12	72,67	71,22	105	СИП	25
	линия 3	11 домов	11	69,26	67,87	100	СИП	25
	линия 4	9 домов	9	59,05	57,87	85	СИП	25
	линия 5	24 дома	24	101,39	99,36	147	СИП	120
	линия 6	21 дом	21	97,50	95,55	141	СИП	150
	линия 7	центр детского тв-а	1	142,25	138,00	206	СИП	70

2.6 Расчёт наружного освещения

Наружное освещение на воздушных линиях 0,4 кВ выполненных проводом СИП-2А осуществляется подключением отдельного осветительного провода к шинам ТП. Для освещения территории применены уличные светодиодные светильники ДКУ Street 110 мощностью 110 Вт. Потребление электроэнергии Street 110 в 3,5 раза ниже обычного светильника с разрядными лампами, обслуживание практически отсутствует.

Ссылаясь на [8], обосновано использование следующего расчётного выражения для расчёта величины нагрузки освещения улиц от ТП1 в ходе проектирования:

$$P_{освТП1} = P_{осв.уд} \cdot l, \quad (14)$$

$$P_{освТП1} = 7 \cdot 1,55 = 10,85 \text{ кВт},$$

где $P_{осв.уд}$ – удельная мощность нагрузки освещения принимаем 7 кВт/км, [9];

l – протяженность освещаемых улиц, км.

Полученные результаты расчёта величины электрических нагрузок освещения улиц коттеджного посёлка «Белый парус» по аналогии для похожих вычислений разделяются по ТП и заносятся в таблицу 7.

Таблица 7 - Нагрузка освещения улиц

Участок сети	P_p , кВт	I_p , А	L , км
ТП 1	10,85	16	1,55
ТП 2	5,60	8	0,80
ТП 3	7,70	11	1,10
ТП 4	15,33	22	2,19
ТП 5	11,20	16	1,60
ТП 6	11,20	16	1,60

2.7 Расчёт электрических нагрузок трансформаторных подстанций 6/0,4 кВ

Ссылаясь на [9], обосновано использование следующего расчётного выражения для расчёта величины активной нагрузки на шинах 0,4 кВ ТП2 в ходе проектирования:

$$P_{P\ TП2} = P_{уд\ кв\ ТП2} \cdot n_{кв\ ТП2} + k_y \cdot P_{торг} + P_{осв\ ТП2}; \quad (15)$$

$$P_{P\ ТП2} = 1,7 \cdot 66 + 0,8 \cdot 32 + 5,6 = 143,4 \text{ кВт};$$

где $P_{уд\ кв\ ТП2}$ - удельная нагрузка подключенных домов, для 66 домов 1,7 кВт/кв [23];

$n_{кв}$ - количество домов, подключенных к ТП2, 66 шт;

$P_{осв\ ТП2}$ - нагрузка уличного освещения, 5,6 кВт;

k_y – коэффициент участия в максимуме нагрузки ТП2, 0,8;

$P_{торг}$ - активная нагрузка торгового центра, 32 кВт.

Ссылаясь на [23], обосновано использование следующего расчётного выражения для расчёта величины полной нагрузки на шинах 0,4 кВ ТП2 в ходе проектирования:

$$S_{P_{ТП2}} = \frac{P_{P_{ТП2}}}{\cos \varphi}, \quad (16)$$

$$S_{P_{ТП2}} = \frac{143,4}{0.96} = 149,25 \text{ кВА};$$

где $\cos \varphi$ - средний коэффициент мощности из числа отходящих линий.

Полученные результаты расчёта величины нагрузки на стороне 0,4 кВ ТП коттеджного посёлка «Белый парус» по аналогии для похожих вычислений разделяются по ТП и заносятся в таблицу 8.

Таблица 8 – Расчётные нагрузки ТП на шинах 0,4 кВ

№ ТП	$P_{P_{0,4 \text{ кВ ТП}}}$, кВА	$Q_{P_{0,4 \text{ кВ ТП}}}$, кВА	$S_{P_{0,4 \text{ кВ ТП}}}$, кВА
1	195,00	39	199
2	143,40	41	149
3	276,13	71	285
4	501,53	115	515
5	550,70	161	574
6	260,00	55	266

3 ВЫБОР ЧИСЛА И МОЩНОСТИ ТРАНСФОРМАТОРОВ НА ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПОДСТАНЦИЯХ 6/0,4 кВ

Учитывая категорийность потребителей (2-3 категория), расположение потребителей (упорядоченно вдоль дорог и проездов), нагрузки потребителей принимаем одно и двухтрансформаторные комплектные ТП киоскового типа мощностью до 1000 кВА, что позволит обеспечить категорийность потребителей при улови питания ТП с двух сторон, либо по резервированной магистральной схеме.

Ссылаясь на [23], обосновано использование следующего расчётного выражения для расчёта мощности трансформаторов ТП2 в ходе проектирования:

$$S_{PТП1} = \frac{S_{ТП}}{n_T \cdot K_3^{ОПТ}}, \quad (17)$$

$$S_{PТП1} = \frac{199}{1 \cdot 0,8} = 249 \text{ кВА},$$

где $S_{ТП}$ - расчётная нагрузка на шинах 0,4 кВ ТП, кВА;

n_T - число трансформаторов, принимаем 1 при наличии 3й категории потребителей по надёжности и бесперебойности электроснабжения;

$K_3^{ОПТ}$ - коэффициент загрузки, принимаем 0,8.

Ближайшее большее значение номинально мощности трансформаторов ТМГ (масляные герметичные) для ТП1:

$$S_{НОМТР} = 250 \text{ кВА}.$$

Ссылаясь на [8], обосновано использование следующего расчётного выражения для расчёта нормальной загрузки трансформаторов ТП2 в ходе проектирования:

$$K_{3\text{ норм}} = \frac{S_P}{S_{\text{НОМТР}} \cdot N_{\text{ТР}}} \geq 0,5 ; \quad (18)$$

$$K_{3\text{ норм}} = \frac{199}{250 \cdot 1} = 0,8 \geq 0,5 .$$

Ссылаясь на [23], обосновано использование следующего расчётного выражения для расчёта послеаварийной загрузки трансформаторов ТП2 в ходе проектирования:

$$K_{3\text{ на}} = \frac{S_P}{S_{\text{НОМТР}} \cdot (N_{\text{ТР}} - 1)} \leq 1,5 ; \quad (19)$$

$$K_{3\text{ на}} = \frac{199}{250 \cdot 1} = 0,8 \leq 1,5 .$$

Полученные результаты расчёта величины мощности трансформаторов ТП коттеджного посёлка «Белый парус» по аналогии для похожих вычислений разделяются по ТП и заносятся в таблицу 9.

Таблица 9 – Выбор трансформаторов ТП коттеджного посёлка «Белый парус»

№ ТП	$S_{P\ 0,4\ \text{кВ ТП, кВА}}$	$N_{\text{ТР}}$	$K_3^{\text{опт}}$	$S_{P\ \text{ТП, кВА}}$	$S_{\text{НОМ ТП, кВА}}$	$K_3\ \text{норм}$	$K_3\ \text{на}$
1	199	1	0,80	249	250	0,80	0,80
2	149	1	0,80	187	250	0,60	0,60
3	285	2	0,70	204	250	0,57	1,14
4	515	1	0,80	643	630	0,82	0,82
5	574	2	0,70	410	400	0,72	1,43
6	266	1	0,80	332	400	0,66	0,66

Все трансформаторы выбраны правильно, выбор большей мощности трансформаторов (1000 кВА) приведет к их недогрузу в нормальном режиме (0,3-0,45). Перегруз трансформаторов на 50% (1,5) в послеаварийном режиме допустим согласно ГОСТ 14209-97 (МЭК 354-91) «Руководство по нагрузке силовых масляных трансформаторов» [26].

4 КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ НА ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПОДСТАНЦИЯХ 6/0,4 кВ

Ссылаясь на [7], обосновано использование следующего расчётного выражения для расчёта коэффициента реактивной мощности на стороне 0,4 кВ ТП1 в ходе проектирования:

$$\operatorname{tg}\varphi_1 = \frac{Q_{p.ТП1}}{P_{p.ТП1}}; \quad (20)$$

$$\operatorname{tg}\varphi_1 = \frac{39}{195} = 0,2.$$

Ссылаясь на [7], обосновано использование следующего расчётного выражения для расчёта требуемой мощности КУ на стороне 0,4 кВ ТП1 в ходе проектирования:

$$Q_{\text{треб.ТП1}} = Q_{p.ТП1} - P_{p.ТП1} \cdot \operatorname{tg}\varphi_{\text{пред}}, \quad (21)$$

$$Q_{\text{треб.ТП1}} = 39 - 195 \cdot 0,35 = -29,2 \text{ квар};$$

где $\operatorname{tg}\varphi_{\text{пред}}$ - предельно допустимая величина коэффициента реактивной мощности на стороне 0,4 кВ ТП коттеджного посёлка «Белый парус», 0,35 [17].

В случае отрицательной величины мощности КУ целесообразность установки КУ отсутствует, так как требования [17] соблюдены.

Полученные результаты расчёта величины мощности батарей конденсаторов на стороне 0,4 кВ ТП коттеджного посёлка «Белый парус» по аналогии для похожих вычислений разделяются по ТП и заносятся в таблицу 10.

Таблица 10 – КРМ на стороне 0,4 кВ ТП коттеджного посёлка «Белый парус»

№ ТП	$\text{tg}\varphi$	$Q_{\text{тр}}$, квар	Мощность КУ, квар
ТП-1	0,20	-29,2	0
ТП-2	0,29	-8,8	0
ТП-3	0,26	-25,7	0
ТП-4	0,23	-60,0	0
ТП-5	0,29	-32,2	0
ТП-6	0,21	-36,3	0

Установка КУ марки на стороне 0,4 кВ ТП коттеджного посёлка «Белый парус» не производится на этапе проектирования и может быть пересмотрена по результатам замеров при эксплуатации.

5 ВЫБОР СХЕМЫ ПОДКЛЮЧЕНИЯ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПОДСТАНЦИЙ 6/0,4 кВ К СЕТИ 6 кВ

Подключение ТП 6/0,4 кВ коттеджного посёлка «Белый парус» осуществляется от действующей ПС 35/6 кВ «Шмидтовка», обслуживание которой производится филиалом «Приморские электрические сети» АО «Дальневосточная распределительная сетевая компания». Класс питающего напряжения – СН2, уровень питающего напряжения 6 кВ. Перевод ПС 35/6 кВ «Шмидтовка» на напряжение 35/10 кВ не предусматривается в данном проекте, так как существующие ТП 6/0,4 кВ района электроснабжения не попадают в район проектирования коттеджного посёлка «Белый парус», кроме того в случае перехода на напряжение 10 кВ для связи существующей сети 6 кВ и проектируемой сети 10 кВ потребовалась бы установка дополнительных трансформаторов связи 10/6 кВ для резервирования проектируемых сетей 10 кВ от существующих сетей 6 кВ.

Подключение с учётом категоричности потребителей производится к 1 и 2 секции шин КРУ-6 кВ ПС 35/6 кВ «Шмидтовка». Ячейка КРУ-6 кВ №3 ПС 35/6 кВ «Шмидтовка» является резервной и принимается как первый источник питания сетей 6 кВ коттеджного посёлка «Белый парус». Ячейка КРУ-6 кВ №12 ПС 35/6 кВ «Шмидтовка» является резервной и принимается как второй источник питания сетей 6 кВ коттеджного посёлка «Белый парус».

В каждом из предлагаемых вариантов выполнения сети 6 кВ используются одинаковые существующие резервные ячейки КРУ-6 кВ ПС 35/6 кВ «Шмидтовка» (№3 и №12).

Конфигурация сети 6 кВ коттеджного посёлка «Белый парус» по варианту 1 для планируемых мест расположения ТП 6/0,4 кВ выполняется по петлевой схеме и показывается на рисунке 3.

Конфигурация сети 6 кВ коттеджного посёлка «Белый парус» по варианту 2 для планируемых мест расположения ТП 6/0,4 кВ выполняется так же по петлевой схеме, но с другим порядком подключения ТП 6/0,4 кВ, рисунок 4.

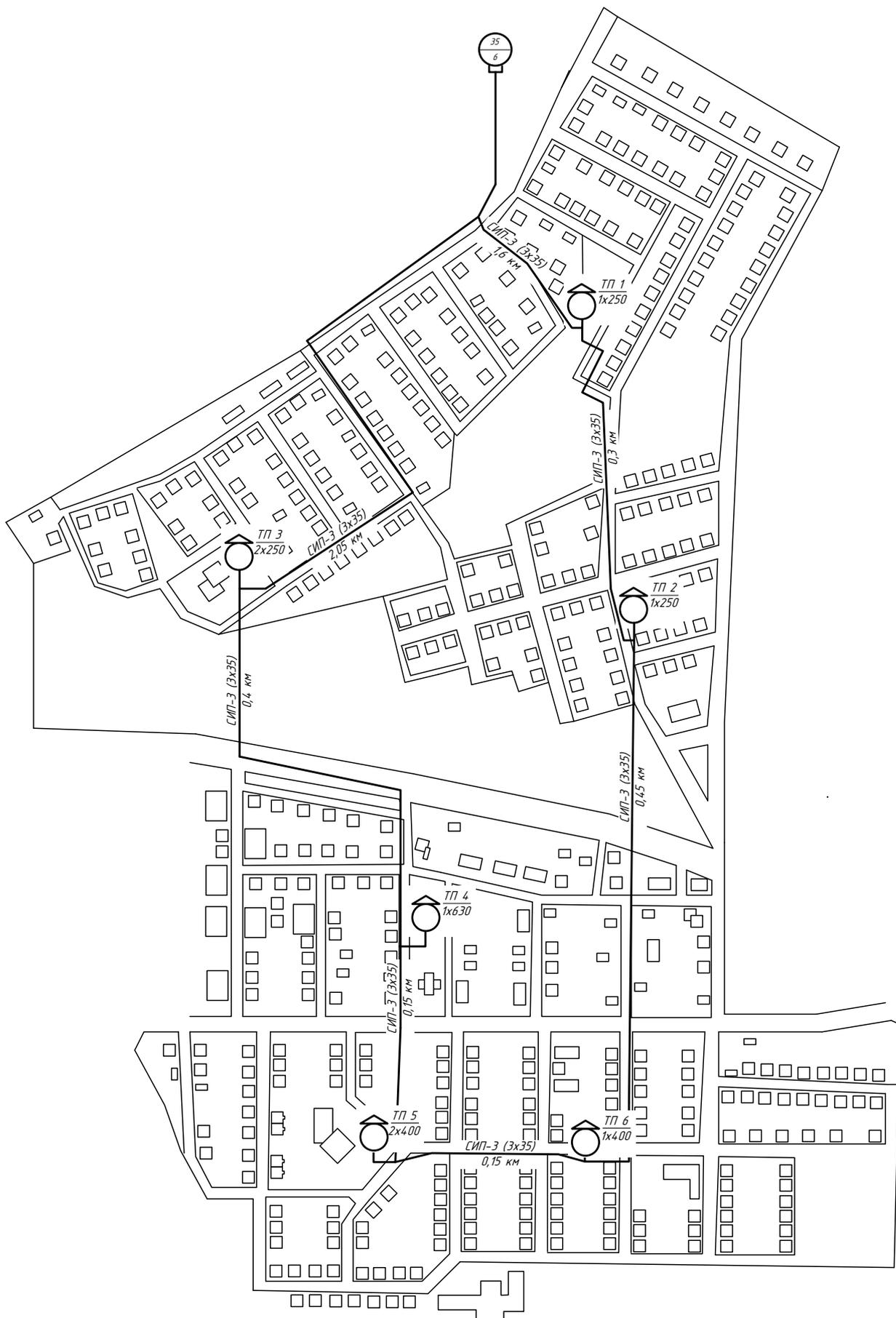


Рисунок 3 – Конфигурация схемы 6 кВ №1

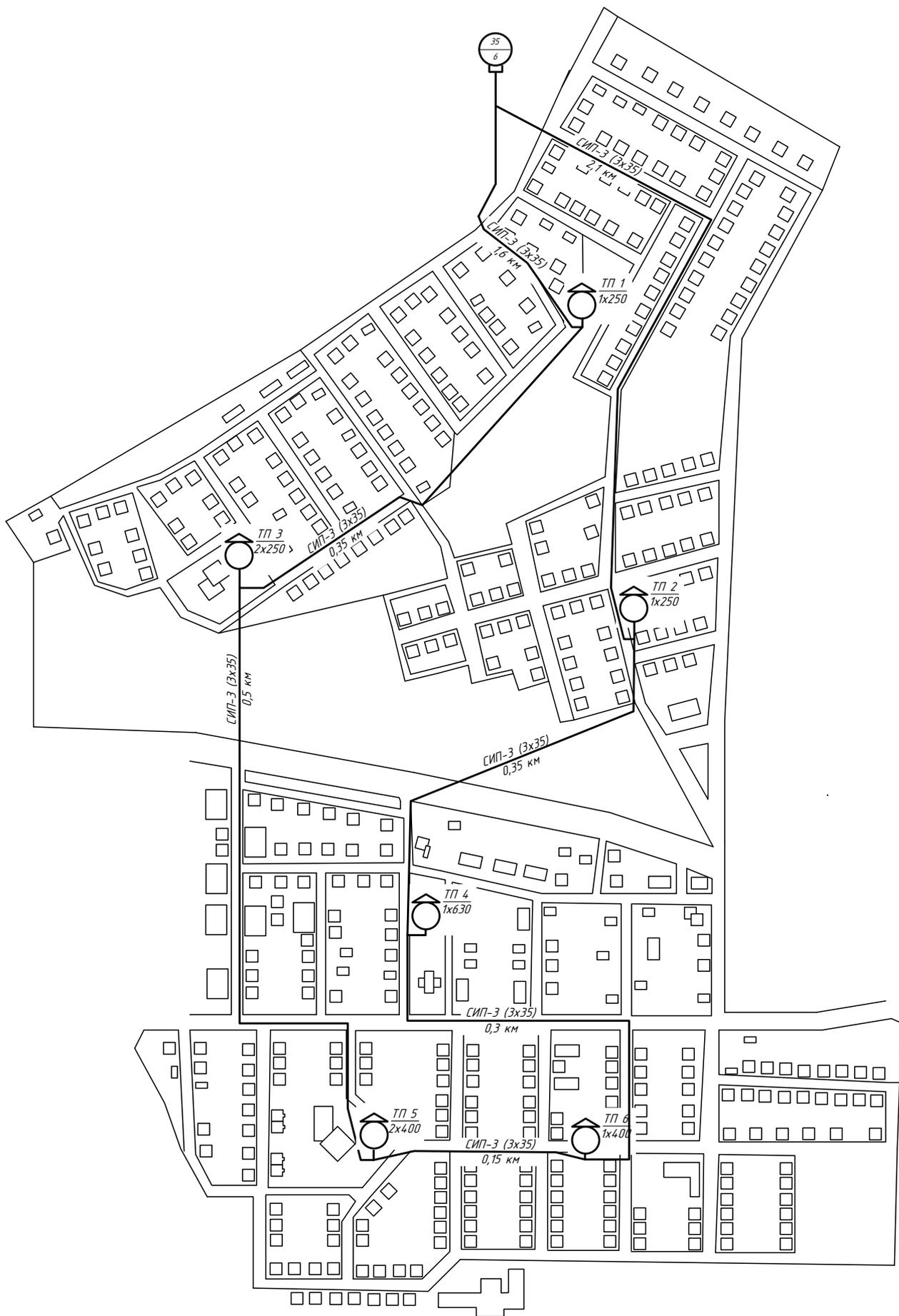


Рисунок 4 – Конфигурация схемы 6 кВ №2

5.1 Выбор сечений проводов линий 6 кВ

При определении нагрузок линий 6 кВ требуется учитывать нагрузочные и постоянные потери мощности, возникающие в трансформаторах 6/0,4 кВ, так как в полной мере подобрать сечение проводов ВЛ-6 кВ без снижения их пропускной способности представляется затруднительным.

Ссылаясь на [8], обосновано использование следующего расчётного выражения для расчёта активных потерь мощности в трансформаторах ТП-3 коттеджного посёлка «Белый парус» в ходе проектирования:

$$\Delta P_T = 2 \cdot \Delta P_X + K_3^2 \cdot \Delta P_K / 2; , \quad (22)$$

$$\Delta P_T = 0,82 \cdot 2 + 0,57^2 \cdot 3,7 / 2 = 2,2 \text{ кВт}$$

где ΔP_X - потери холостого хода, активная составляющая [26];

ΔP_K - потери короткого замыкания, активная составляющая [26];

K_3 – фактический коэффициент загрузки в нормальном режиме.

Ссылаясь на [23], обосновано использование следующего расчётного выражения для расчёта реактивных потерь мощности холостого хода в трансформаторах ТП-3 коттеджного посёлка «Белый парус» в ходе проектирования:

$$\Delta Q_X = S_{ном.т} \cdot \frac{I_x}{100}; , \quad (23)$$

$$\Delta Q_X = 250 \cdot \frac{2,3}{100} = 5,6 \text{ квар} ,$$

где $S_{ном.т}$ - номинальная мощность трансформатора ТП-3;

I_x - ток холостого хода, %;

Ссылаясь на [23], обосновано использование следующего расчётного выражения для расчёта реактивных потерь мощности короткого замыкания в

трансформаторах ТП-3 коттеджного посёлка «Белый парус» в ходе проектирования:

$$\Delta Q_K = S_{ном.т} \cdot \frac{U_k}{100}; \quad (24)$$

$$\Delta Q_K = 250 \cdot \frac{4,5}{100} = 11,3 \text{ квар},$$

где U_k - напряжение короткого замыкания, %.

Ссылаясь на [23] обосновано использование следующего расчётного выражения для расчёта реактивных потерь мощности в трансформаторах ТП-3 коттеджного посёлка «Белый парус» в ходе проектирования:

$$\Delta Q_T = 2 \cdot \Delta Q_X + K_3^2 \cdot \Delta Q_K / 2; \quad (25)$$

$$\Delta Q_T = 5,6 \cdot 2 + 0,57^2 \cdot 11,3 / 2 = 13,3 \text{ квар},$$

Ссылаясь на [23], обосновано использование следующего расчётного выражения для расчёта нагрузки на стороне 6 кВ ТП-3 коттеджного посёлка «Белый парус» в ходе проектирования:

$$S_{ВН ТП3} = \sqrt{(P_{ТП3} + \Delta P_{Т3})^2 + (Q_{ТП3} + \Delta Q_{ТП3})^2}; \quad (26)$$

$$S_{ВН ТП3} = \sqrt{(276,13 + 2,2)^2 + (71 + 13,3)^2} = 297 \text{ кВА}.$$

Полученные результаты расчёта величины нагрузки на стороне 6 кВ ТП коттеджного посёлка «Белый парус» по аналогии для похожих вычислений разделяются по ТП и заносятся в таблицу 11.

Таблица 11 – Нагрузки на стороне 6 кВ ТП

№ ТП	$P_{p\ 0,4\ кВ}$ ТП, кВА	$Q_{p\ 0,4\ кВ}$ ТП, кВА	$S_{p\ 0,4\ кВ}$ ТП, кВА	$N_{тр}$	$S_{ном\ ТП}$, кВА	K_3	$\Delta P_{Т,}$ кВт	$\Delta Q_{Т,}$ кВт	$P_{p\ 6\ кВ\ ТП}$, кВА	$Q_{p\ 6\ кВ\ ТП}$, кВА	$S_{p\ 6\ кВ\ ТП}$, кВА
1	195,00	39	199	1	250	0,80	3,2	12,9	198	52	205
2	143,40	41	149	1	250	0,60	2,1	9,8	146	51	154
3	276,13	71	285	2	250	0,57	2,2	13,3	281	98	297
4	501,53	115	515	1	630	0,82	6,6	35,7	508	151	530
5	550,70	161	574	2	400	0,72	3,5	21,4	558	203	594
6	260,00	55	266	1	400	0,66	3,5	16,3	263	71	273

Ссылаясь на [5], обосновано использование следующего расчётного выражения для расчёта нагрузки линии 6 кВ ПС Шмидтовка-ТП3-ТП4-ТП5 по конфигурации варианта 1 в ходе проектирования:

$$P_p = \kappa_{совм} \cdot P_{ТП}, \quad (27)$$

$$P_p = 0,9 \cdot 1347 = 1212 \text{ кВт},$$

$$Q_p = \kappa_{совм} \cdot Q_{ТП}, \quad (28)$$

$$Q_p = 0,9 \cdot 452 = 407 \text{ квар},$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \quad (29)$$

$$S_p = \sqrt{1212^2 + 407^2} = 1279 \text{ кВА};$$

где $\kappa_{совм}$ - коэффициент совмещения максимумов нагрузок, 0,9 [5];

$P_{ТП}$ - суммарная активная нагрузка линии, кВт;

$Q_{ТП}$ - суммарная реактивная нагрузка линии, квар.

Ссылаясь на [8], обосновано использование следующего расчётного выражения для расчёта тока линии 6 кВ ПС Шмидтовка-ТП3-ТП4-ТП5 по конфигурации варианта 1 в ходе проектирования:

$$I_P = \frac{S_P}{\sqrt{3} \cdot U_H}, \quad (30)$$

$$I_P = \frac{1279}{\sqrt{3} \cdot 6} = 123 \text{ A.}$$

Ссылаясь на [14], обосновано использование следующего расчётного выражения для выбора сечения проводов линии 6 кВ ПС Шмидтовка-ТП3-ТП4-ТП5 по конфигурации варианта 1 в ходе проектирования:

$$I_p \leq I_{доп};$$

123 ≤ 200, условие выполняется.

По нагреву принимается марка провода СИП-3 3х35.

Полученные результаты расчёта величины нагрузки линий 6 кВ коттеджного посёлка «Белый парус» по аналогии для похожих вычислений разделяются по вариантам сети 6 кВ и заносятся в таблицу 12.

Таблица 12 – Вариант сети 6 кВ №1 и №2

Участок сети	Ко	Р _р , кВт	Q _р , кВАр	S _р , кВА	I _р , А	I _{доп} , А	марка провода	F, мм ²
Вариант №1								
ЦП-ТП3-ТП4-ТП5	0,90	1212	407	1279	123	200	СИП-3	35
ЦП-ТП1-ТП2-ТП6	0,90	546	157	569	55	200	СИП-3	35
ЦП-ТП1-ТП2-ТП6-ТП5-ТП4-ТП3 (авар)	0,80	1563	501	1642	158	200	СИП-3	35
Вариант №2								
ЦП-ТП1-ТП3-ТП5	0,90	933	318	986	95	200	СИП-3	35
ЦП-ТП2-ТП4-ТП6	0,90	825	246	862	83	200	СИП-3	35
ЦП-ТП2-ТП4-ТП6-ТП5-ТП3-ТП1 (авар)	0,80	1563	501	1642	158	200	СИП-3	35

Ссылаясь на [8], обосновано использование следующего расчётного выражения для расчёта потери напряжения по линии 6 кВ ПС Шмидтовка-ТП3-ТП4-ТП5 по конфигурации варианта 1 в ходе проектирования:

$$\Delta U = \frac{P_{р\text{ лин}} \cdot r_{уд} \cdot l + Q_{р\text{ лин}} \cdot x_{уд} \cdot l}{N_{ц}} \cdot \frac{100}{U_{ном}}, \quad (31)$$

$$\Delta U = \frac{1212 \cdot 0,99 \cdot 2,6 + 407 \cdot 0,1 \cdot 2,6}{1} \cdot \frac{100}{6000} = 8,9\%,$$

где $P_{р\text{ лин}}, Q_{р\text{ лин}}$ - расчётная нагрузка по линии, кВт, кВар;

$N_{ц}$ - число цепей линии;

$r_{уд}, x_{уд}$ - удельное активное и реактивное сопротивление линии, Ом/км, [9].

Полученные результаты проверки проводов линий 6 кВ коттеджного посёлка «Белый парус» по аналогии для похожих вычислений разделяются по вариантам сети 6 кВ и заносятся в таблицу 13.

Таблица 13 – Проверка сети 6 кВ по вариантам №1 и №2

Участок сети	I_p, A	$I_{доп}, A$	марка провода	$F, мм^2$	$L, км$	$n_{ц}$	$R_{л}, Ом/км$	$X_{л}, Ом/км$	$\Delta U_{л}, \%$
Вариант №1									
ЦП-ТП3-ТП4-ТП5	123	200	СИП-3	35	2,6	1	0,99	0,10	8,9
ЦП-ТП1-ТП2-ТП6	55	200	СИП-3	35	2,4	1	0,99	0,10	3,6
ЦП-ТП1-ТП2-ТП6-ТП5-ТП4-ТП3 аварийный режим	158	200	СИП-3	35	3,0	1	0,99	0,10	10
Вариант №2									
ЦП-ТП1-ТП3-ТП5	95	200	СИП-3	35	2,5	1	0,99	0,10	6,5
ЦП-ТП2-ТП4-ТП6	83	200	СИП-3	35	2,8	1	0,99	0,10	6,4
ЦП-ТП2-ТП4-ТП6-ТП5-ТП3-ТП1 аварийный режим	158	200	СИП-3	35	3,8	1	0,99	0,10	10

По данным таблица потеря напряжения не превышает величины 10%, что допустимо в отношении медленного изменения напряжения по ГОСТ 32144-2013.

5.2 Техничко-экономическое обоснование схемы сети 6 кВ

Выберем оптимальный вариант сети 6 кВ по приведенным затратам.

Ссылаясь на [25], обосновано использование следующего расчётного выражения для расчёта времени максимальных потерь для сети 6 кВ в ходе проектирования:

$$\tau = \left(0,124 + \frac{T_m}{10000}\right)^2 \cdot 8760; \quad (32)$$

$$\tau = \left(0,124 + \frac{5500}{10000}\right)^2 \cdot 8760 = 3979 \text{ ч};$$

где T_m – число часов максимума нагрузки, 5500 ч [24].

Ссылаясь на [25], обосновано использование следующего расчётного выражения для расчёта потери электрической энергии по линии 6 кВ ПС Шмидтовка-ТП3-ТП4-ТП5 по конфигурации варианта 1 в ходе проектирования:

$$\Delta W_{Л} = \frac{P_{р\text{ лин}}^2 + Q_{р\text{ лин}}^2}{U_{ном}^2} \cdot (r_{уд} + i \cdot x_{уд}) \cdot l \cdot \tau, \quad (33)$$

$$\Delta W_{Л} = \frac{1212^2 + 407^2}{6^2} \cdot (0,99 + i \cdot 0,1) \cdot 2,6 \cdot 3979 = 463068 \text{ кВтч}.$$

Полученные результаты расчёта потерь электрической энергии по линиям 6 кВ коттеджного посёлка «Белый парус» по аналогии для похожих вычислений разделяются по вариантам сети 6 кВ и заносятся в таблицу 14.

Таблица 14 - Результаты расчёта потерь электроэнергии в сети 6 кВ

Участок сети	P _p , кВт	Q _p , кВАр	L, км	n _ц	R _л , Ом/км	X _л , Ом/км	ΔW _л , кВтч
Вариант №1							
ЦП-ТП3-ТП4-ТП5	1212	407	2,6	1	0,99	0,10	463068
ЦП-ТП1-ТП2-ТП6	546	157	2,4	1	0,99	0,10	82759
ЦП-ТП1-ТП2-ТП6-ТП5-ТП4-ТП3 аварийный режим	1563	501	3,0	1	0,99	0,10	866043
Вариант №2							
ЦП-ТП1-ТП3-ТП5	933	318	2,5	1	0,99	0,10	259284
ЦП-ТП2-ТП4-ТП6	825	246	2,8	1	0,99	0,10	222350
ЦП-ТП2-ТП4-ТП6-ТП5-ТП3-ТП1 аварийный режим	1563	501	3,8	1	0,99	0,10	1100902

Ссылаясь на [25], обосновано использование следующего расчётного выражения для расчёта приведенных затрат на сооружение сети 6 кВ коттеджного посёлка «Белый парус» по конфигурации варианта 1 в ходе проектирования:

$$Z = E \cdot (K_{Л} + K_{ВЫКЛ}) + (A \cdot K_{Л} + A \cdot K_{ВЫКЛ}) + C_0 \cdot (\Delta W_{Л}) \cdot 10^{-3}, \quad (34)$$

$$Z = 0,1 \cdot (260 + 581,4) + (0,005 \cdot 260 + 0,059 \cdot 581,4) + 1,9 \cdot (1411870) \cdot 10^{-3} = 2769 \text{ тыс.руб.}$$

где E - норматив дисконтирования, 0,1 [25];

$K_{Л}$ - стоимость сооружения линий 6 кВ;

$K_{ВЫКЛ}$ - стоимость выключателей 6 кВ;

C_0 – удельная стоимость потерь электроэнергии, руб/кВт*ч, [21];

A - ежегодные отчисления на амортизацию, ремонт и обслуживание

$$a_{ам.выкл} = 5,9\%, a_{ам.ЛЭП} = 0,5\%;$$

$\Delta W_{Л}$ - потери электроэнергии в линиях 6 кВ.

Полученные результаты расчёта приведенных затрат на сооружение сети 6 кВ коттеджного посёлка «Белый парус» по аналогии для похожих вычислений разделяются по вариантам сети 6 кВ и заносятся в таблицу 15.

Таблица 15 – Сравнение вариантов сети 6 кВ

№ Вар	1	2
$N_{\text{ВЫКЛ}}$, шт	2	2
$C_{\text{ВЫКЛ}}$, тыс руб	130	130
$K_{\text{ВЫКЛ}}$, тыс руб	260	260
$L_{\text{СИП-3}}$, км	5,1	5,35
$C_{\text{СИП-3}}$, тыс руб	114	114
$K_{\text{СИП-3}}$, тыс руб	581,4	609,9
$I_{\text{ЭКС}}$, тыс руб	3	3
$I_{\text{ЭКСП ВЫКЛ}}$, тыс руб	15	15
$I_{\text{ам}}$, тыс руб	42	43
$\Delta W_{\text{Л}}$, кВт*ч	1411870	1582536
$C_{\text{п}}$ руб/кВт*ч	1,9	1,9
$I_{\text{п}}$, тыс руб	2683	3007
Z , тыс руб	2769	3095

Вариант 2 дороже на 10%. Вариант 1 выбран по минимуму приведенных затрат при существенной разнице более 5%.

6 ТОКИ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В СЕТИ ДО 1 КВ

Расчёт токов КЗ в сети 0,4 кВ ведём в именованных единицах в соответствии с исходной схемой (рисунок 5), принимая за расчётные точки электрически ближайšie и удалённые ЭП сети 0,4 кВ для ТП, к примеру, для ТП-1 это потребитель №1 и №56 соответственно.

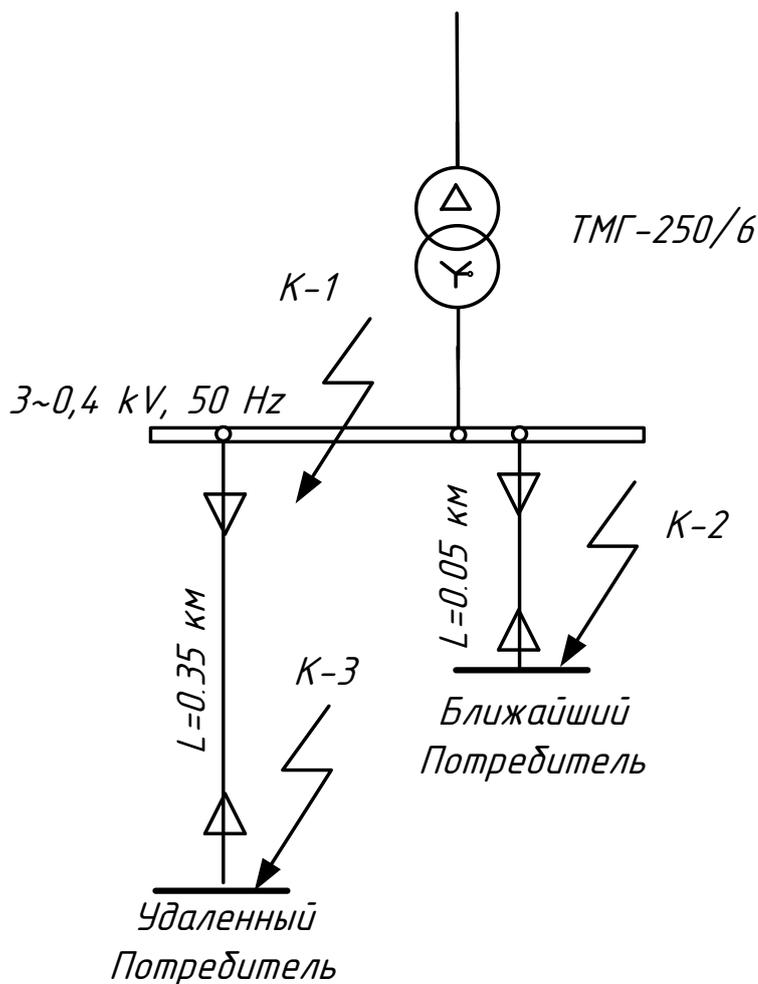


Рисунок 5– Исходная схема сети 0,4 кВ для ТП-1

Ссылаясь на [12], обосновано использование следующего расчётного выражения для расчёта реактивного сопротивления системы на стороне 0,4 кВ ТП в ходе проектирования:

$$x_c = \frac{U_{HH}}{\sqrt{3} \cdot I_{Kc}^{(3)}}; \quad (35)$$

$$x_c = \frac{0,38}{\sqrt{3} \cdot 10} = 0,022 \text{ Ом};$$

где $U_{\text{нн}}$ - напряжение НН ТП, кВ.

Далее составляется схема замещения и определяются параметры схемы замещения, рисунок 6.

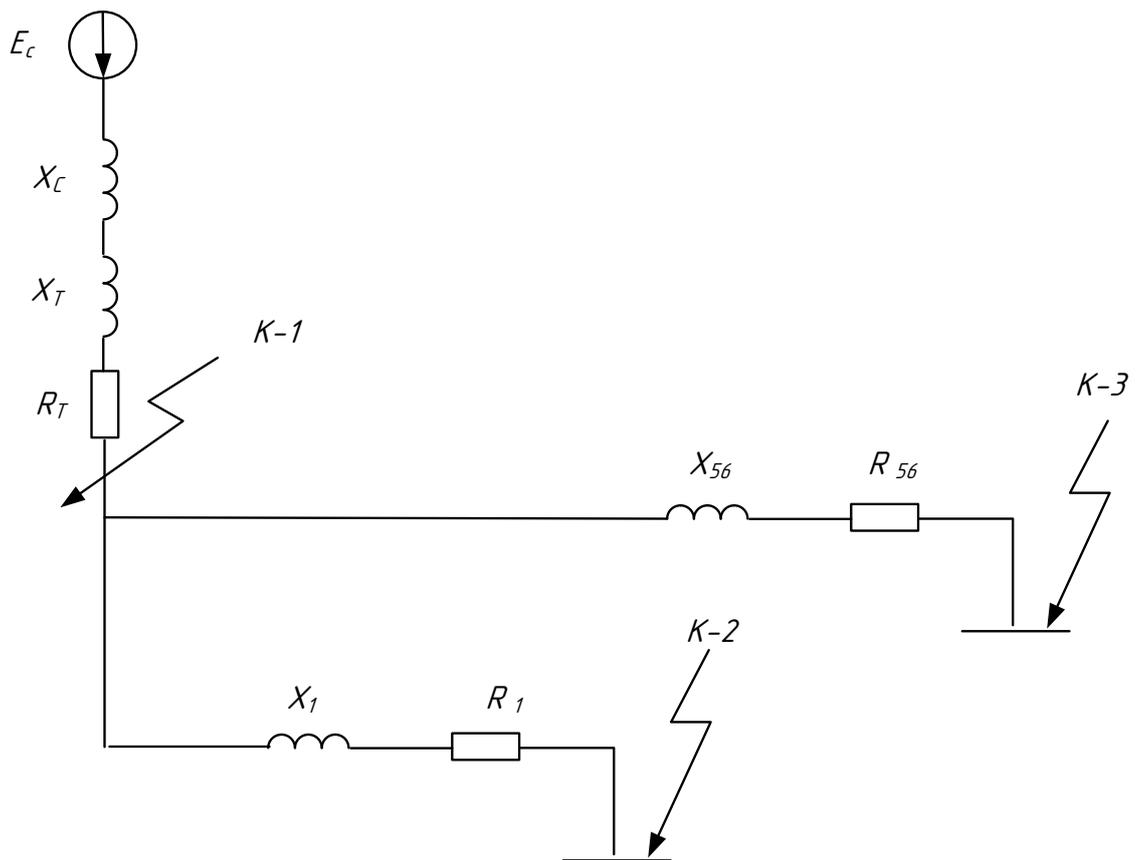


Рисунок 6 – Схема замещения сети 0,4 кВ

Расчётные условия относительно трёхфазной система принимаются одинаковыми для всех фаз, то есть система рассматривается как симметричная. Перекоса по загрузкии фаз нет, так как ввода в каждый дом предусмотрены трехфазные и равномерно загруженные. Двигательные насосы станций КНС не взяты в рассмотрение при мощности насосов менее 100 кВт. Так как устанавливаемые силовые трансформаторы ТП 6/0,4 кВ изготовлены с минимальным сроком готовности оборудования, то насыщение их магнитных систем не принималось в рассмотрение.

Ссылаясь на [12], обосновано использование следующего расчётного выражения для расчёта сопротивления проводов линий 0,4 кВ до ближнего и дальнего потребителя от шин 0,4 кВ ТП-1 в ходе проектирования:

$$X_{Л} = x_{y\partial} \cdot L ; \quad (36)$$

$$R_{Л} = r_{y\partial} \cdot L , \quad (37)$$

$$X_{Л1} = 0,0641 \cdot 0,05 = 0,005 \text{ Ом};$$

$$R_{Л1} = 0,443 \cdot 0,05 = 0,01 \text{ Ом},$$

$$X_{Л2} = 0,032 \cdot 0,35 = 0,035 \text{ Ом},$$

$$R_{Л2} = 0,443 \cdot 0,35 = 0,04 \text{ Ом},$$

где $r_{y\partial}$, $x_{y\partial}$ - удельное активное и реактивное сопротивление провода СИП-2А 3x70+1x35, Ом/км [14];

L – протяженность участка, км.

Сопротивление трансформатора ТМГ-250 по [9]:

$$R_{TM250} = 0,0094 \text{ Ом},$$

$$X_{TM250} = 0,0272 \text{ Ом}.$$

Ссылаясь на [12], обосновано использование следующего расчётного выражения для расчёта тока трехфазного короткого замыкания в характерных точках КЗ для стороны 0,4 кВ ТП-1 в ходе проектирования:

$$I_{\text{ПО } K-1} = \frac{U_{\text{HH}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{\Sigma}^2 + X_{\Sigma}^2}} = \frac{U_{\text{HH}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(R_{\text{TM}250})^2 + (X_{\text{TM}250} + x_C)^2}}, \quad (38)$$

$$I_{\text{ПО } K-1} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(0,0094)^2 + (0,0272 + 0,022)^2}} = 4,38 \text{ кА};$$

$$I_{\text{ПО } K-2} = \frac{U_{\text{HH}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{\Sigma}^2 + X_{\Sigma}^2}} = \frac{U_{\text{HH}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(R_{\text{TM}250} + R_{\text{Л1}})^2 + (X_{\text{TM}250} + x_C + X_{\text{Л1}})^2}}, \quad (39)$$

$$I_{\text{ПО } K-2} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(0,0094 + 0,01)^2 + (0,0272 + 0,022 + 0,005)^2}} = 3,8 \text{ кА};$$

$$I_{\text{ПО } K-3} = \frac{U_{\text{HH}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{\Sigma}^2 + X_{\Sigma}^2}} = \frac{U_{\text{HH}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(R_{\text{TM}630} + R_{\text{Л56}})^2 + (X_{\text{TM}630} + x_C + X_{\text{Л56}})^2}}; \quad (40)$$

$$I_{\text{ПО } K-3} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(0,0094 + 0,04)^2 + (0,0272 + 0,022 + 0,035)^2}} = 2,2 \text{ кА}.$$

Ссылаясь на [12], обосновано использование следующего расчётного выражения для расчёта времени затухания аperiodической составляющей тока короткого замыкания в характерных точках сети 0,4 кВ для ТП-1 в ходе проектирования:

$$T = \frac{X_{\Sigma}}{R_{\Sigma} \cdot 314}, \quad (41)$$

$$T_{K-1} = \frac{(0,0272 + 0,022)}{0,0094 \cdot 314} = 0,009 \text{ с},$$

$$T_{K-2} = \frac{(0,0272 + 0,022 + 0,005)}{(0,0094 + 0,01) \cdot 314} = 0,007 \text{ с};$$

$$T_{K-3} = \frac{(0,0272 + 0,022 + 0,02)}{(0,0094 + 0,04) \cdot 314} = 0,004 \text{ с}.$$

Ссылаясь на [12], обосновано использование следующего расчётного выражения для расчёта коэффициента затухания апериодической составляющей тока короткого замыкания в характерных точках сети 0,4 кВ для ТП-1 в ходе проектирования:

$$K_{y\partial} = 1 + e^{-\frac{0,01}{T}}, \quad (42)$$

$$K_{y\partial K-1} = 1 + e^{-\frac{0,01}{0,009}} = 1,34,$$

$$K_{y\partial K-2} = 1 + e^{-\frac{0,01}{0,007}} = 1,22,$$

$$K_{y\partial K-3} = 1 + e^{-\frac{0,01}{0,004}} = 1,1.$$

Ссылаясь на [12], обосновано использование следующего расчётного выражения для расчёта ударного тока короткого замыкания в характерных точках КЗ для стороны 0,4 кВ ТП-1 в ходе проектирования:

$$i_{y\partial} = K_{y\partial} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{П0}, \quad (43)$$

$$i_{y\partial K-1} = 1,34 \cdot \sqrt{2} \cdot 4,38 = 8,3 \text{ кА};$$

$$i_{y\partial K-2} = 1,22 \cdot \sqrt{2} \cdot 3,9 = 6,7 \text{ кА};$$

$$i_{y\partial K-3} = 1,1 \cdot \sqrt{2} \cdot 2,3 = 3,6 \text{ кА}.$$

Ссылаясь на [12], обосновано использование следующего расчётного выражения для расчёта тока однофазного короткого замыкания в характерных точках КЗ для стороны 0,4 кВ ТП-1 в ходе проектирования:

$$I_{\text{ПО}}^{(1)} = \frac{U_{\text{HH}} \cdot \sqrt{3}}{\sqrt{(R_{1\Sigma} + R_{2\Sigma} + R_{0\Sigma})^2 + (X_{1\Sigma} + X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma})^2}}, \quad (44)$$

$$I_{\text{ПО} K1}^{(1)} = \frac{400 \cdot \sqrt{3}}{\sqrt{(0,0094 \cdot 3)^2 + (0,0272 \cdot 3)^2}} = 2,5 \text{ кА};$$

$$I_{\text{ПО} K-2}^{(1)} = \frac{400 \cdot \sqrt{3}}{\sqrt{(0,0094 + 0,01 \cdot 10)^2 + (0,0272 + 0,022 + 0,005 \cdot 4)^2}} = 2,6 \text{ кА};$$

$$I_{\text{ПО} K-3}^{(1)} = \frac{400 \cdot \sqrt{3}}{\sqrt{(0,0094 + 0,04 \cdot 10)^2 + (0,0272 + 0,022 + 0,02 \cdot 4)^2}} = 0,96 \text{ кА};$$

где $R_{2\Sigma}, X_{2\Sigma}$ - сопротивления обратной последовательности, для всех имеющих элементов равно сопротивлению прямой последовательности;

$R_{1\Sigma}, X_{1\Sigma}$ - сопротивления прямой последовательности;

$R_{0\Sigma}, X_{0\Sigma}$ - сопротивления нулевой последовательности, для системы равняется нулю; для линий принимаются $X_{0л} = 3 - 5 \cdot X_{1л}, R_{0л} = 10 \cdot R_{1л}$, [12].

Полученные результаты расчёта токов короткого замыкания в сети 0,4 кВ по аналогии для похожих вычислений разделяются по характерным потребителям ТП и заносятся в таблицу 17.

Таблица 17 – Токи КЗ в сети 0,4 кВ

Подстанция	$S_{тр ном},$ кВА	$L,$ км	$R_L,$ Ом	$X_L,$ Ом	$R_T,$ Ом	$X_T,$ Ом	$Z_{экв},$ Ом	$I^{(3)}_{по},$ кА	$I^{(1)}_{по},$ кА	$T,$ с	$K_{уд}$	$I_{уд},$ кА
ТП 3 (шины НН)	250				0,0094	0,0272	0,05	4,4	2,5	0,009	1,34	8,3
ближний дом	250	0,05	0,02	0,005	0,0094	0,0272	0,06	3,5	1,8	0,003	1,05	5,2
удаленный дом	250	0,40	0,18	0,04	0,0094	0,0272	0,21	1,1	1,0	0,001	1,00	1,5
ТП 5 (шины НН)	400				0,0059	0,017	0,04	5,6	4,1	0,009	1,34	10,5
ближний дом	400	0,05	0,06	0,005	0,0059	0,017	0,08	2,8	0,9	0,001	1,00	3,9
удаленный дом	400	0,35	0,06	0,035	0,0059	0,017	0,10	4,5	0,7	0,003	1,02	6,4
ТП 1 (шины НН)	250				0,0094	0,0272	0,05	4,4	2,5	0,009	1,34	8,3
ближний дом	250	0,05	0,01	0,005	0,0094	0,0272	0,06	3,9	2,6	0,007	1,22	6,7
удаленный дом	250	0,35	0,04	0,035	0,0094	0,0272	0,10	2,3	1,0	0,004	1,10	3,6
ТП 6 (шины НН)	400				0,0059	0,017	0,04	5,6	4,1	0,009	1,34	10,5
ближний дом	400	0,05	0,01	0,005	0,0059	0,017	0,05	4,8	3,0	0,006	1,17	8,0
удаленный дом	400	0,40	0,05	0,04	0,0059	0,017	0,10	2,3	0,7	0,003	1,04	3,3

7 ВЫБОР И ПРОВЕРКА АППАРАТУРЫ ДО 1 КВ

7.1 Автоматические выключатели

Защита отходящих воздушных линий 0,4 кВ, шин 0,4 кВ ТП 6/0,4 кВ коттеджного посёлка «Белый парус» от предельных по току режимов работы и коротких замыканий осуществляется автоматическими выключателями 0,4 кВ серии ВА 51 в литом корпусе (Уральский электротехнический завод).

Ссылаясь на [8], обосновано использование следующего расчётного выражения для выбора автоматического выключателя 0,4 кВ линии 1 ТП-1 коттеджного посёлка «Белый парус» в ходе проектирования:

$$I_{расч} \leq I_{ном расц АВ}, \quad (45)$$

$$109 \text{ А} \leq 160 \text{ А},$$

где $I_{ном расц АВ}$ - номинальный ток расцепителя автоматического выключателя ВА 51-35, 160 А [13];

$I_{расч}$ - расчётный ток линии 1 ТП-1 коттеджного посёлка «Белый парус», 109 А.

Полученные результаты выбора автоматических выключателей в сети 0,4 кВ по аналогии для похожих вычислений разделяются по ТП и заносятся в таблицу 16.

Таблица 16 – Выбор автоматических выключателей 0,4 кВ

ТП	Тип линии	$I_{расч}$, А	$I_{ном расц АВ}$, А	Марка оборудования
1	2	3	4	5
ТП 1	линия 1	109	160	ВА 51-35
	линия 2	130	160	ВА 51-35
	линия 3	144	160	ВА 51-35
	линия 4	95	100	ВА 51-33
	линия 5	138	160	ВА 51-35
	линия 6	126	160	ВА 51-35
	провод освещения	16	25	ВА 51-25
	шины ТП	287	400	ВА 55-43

Продолжение таблицы 16

1	2	3	4	5
ТП 2	линия 1	144	160	ВА 51-35
	линия 2	179	250	ВА 51-37
	линия 3	100	160	ВА 51-35
	линия 4	51	100	ВА 51-33
	провод освещения	8	25	ВА 51-25
	шины ТП	216	250	ВА 55-43
ТП 3	линия 1	148	160	ВА 51-35
	линия 2	166	250	ВА 51-37
	линия 3	85	100	ВА 51-33
	линия 4	109	160	ВА 51-35
	линия 5	165	250	ВА 51-37
	линия 6	165	250	ВА 51-37
	провод освещения	11	25	ВА 51-25
шины ТП	412	630	ВА 55-43	
ТП 4	линия 1	422	630	ВА 51-39
	линия 2	396	400	ВА 51-37
	линия 3	112	160	ВА 51-35
	линия 4	456	630	ВА 51-39
	линия 5	200	250	ВА 51-37
	линия 6	343	400	ВА 51-37
	линия 7	206	250	ВА 51-37
	линия 8	200	250	ВА 51-37
	провод освещения	22	25	ВА 51-25
	шины ТП	744	1600	ВА 55-43
ТП 5	линия 1	284	400	ВА 51-37
	линия 2	95	100	ВА 51-33
	линия 3	513	630	ВА 51-39
	линия 4	138	160	ВА 51-35
	линия 5	124	160	ВА 51-35
	линия 6	216	250	ВА 51-37
	линия 7	165	250	ВА 51-37
	провод освещения	16	25	ВА 51-25
	шины ТП	829	1600	ВА 55-43
ТП 6	линия 1	100	160	ВА 51-35
	линия 2	105	160	ВА 51-35
	линия 3	100	160	ВА 51-35
	линия 4	85	100	ВА 51-33
	линия 5	147	160	ВА 51-35
	линия 6	141	160	ВА 51-35
	линия 7	206	250	ВА 51-37
	провод освещения	16	25	ВА 51-25
	шины ТП	384	1600	ВА 55-43

Ссылаясь на [8], обосновано использование следующего расчётного выражения для проверки автоматического выключателя 0,4 кВ линии 1 ТП-1 по разрушающему действию трёхфазных токов КЗ в ходе проектирования:

$$I_{\text{ПО}}^{(3)} \leq I_{\text{отк}}; \quad (46)$$

$$3,9 \text{ кА} \leq 20 \text{ кА}.$$

Ссылаясь на [8], обосновано использование следующего расчётного выражения для проверки автоматического выключателя 0,4 кВ линии 1 ТП-1 по чувствительности к токам КЗ в ходе проектирования:

$$I_{\text{но}}^{(1)} \geq 1,25 \cdot I_{\text{ср расц}}; \quad (47)$$

$$2,6 \text{ кА} \geq 1,25 \cdot 1 = 1,25 \text{ кА}.$$

Ток срабатывания расцепителя автоматического выключателя ВА 51-35 линии 1 ТП-1 принимается $I_{\text{ср расц}} = 1000 \text{ А}$ [13].

Полученные результаты проверки линейных автоматических выключателей в сети 0,4 кВ по аналогии для похожих вычислений разделяются по ТП и заносятся в таблицу 17.

Таблица 17 – Проверка линейных автоматических выключателей 0,4 кВ

Потребитель	I _{ср расц} , кА	по разрушающему действию трёхфазных токов КЗ		по чувствительности к токам КЗ	
		I ⁽³⁾ _{по} , кА	I _{отк} , кА	I ⁽¹⁾ _{по} , кА	1,25I _{ср расц} , кА
1	2	3	4	5	6
ТП 3 (шины НН)					
ближний дом	1	3,5	20	1,761	1,25
удаленный дом	0,5	1,1	20	1,021	0,63
ТП 5 (шины НН)					
ближний дом	0,5	2,8	20	0,862	0,63
удаленный дом	0,5	4,5	20	0,661	0,63
ТП 1 (шины НН)					
ближний дом	1	3,9	20	2,595	1,25

1	2	3	4	5	6
удаленный дом	0,5	2,3	20	0,963	0,63
ТП 6 (шины НН)					
ближний дом	1	4,8	20	2,972	1,25
удаленный дом	0,5	2,3	20	0,664	0,63

Ссылаясь на [8], обосновано использование следующего расчётного выражения для проверки вводного автоматического выключателя 0,4 кВ ТП-1 по разрушающему действию трёхфазных токов КЗ в ходе проектирования:

$$I_{ПО}^{(3)} \leq I_{отк} ; \quad (48)$$

$$4,39 \text{ кА} \leq 20 \text{ кА} .$$

Ссылаясь на [8], обосновано использование следующего расчётного выражения для проверки вводного автоматического выключателя 0,4 кВ ТП-1 по чувствительности к токам КЗ в ходе проектирования:

$$I_{по}^{(1)} \geq 1,25 \cdot I_{расц} ; \quad (49)$$

$$2,54 \text{ кА} \geq 1,25 \cdot 1,5 = 1,9 \text{ кА} .$$

Полученные результаты проверки вводных автоматических выключателей в сети 0,4 кВ по аналогии для похожих вычислений разделяются по ТП и заносятся в таблицу 18.

Таблица 18 – Проверка вводных автоматических выключателей 0,4 кВ

Подстанция	I _{ср расц} , кА	по разрушающему действию трёхфазных токов КЗ		по чувствительности к токам КЗ	
		I ⁽³⁾ _{по} , кА	I _{отк} , кА	I ⁽¹⁾ _{по} , кА	1,25I _{ср расц} , кА
ТП 3 (шины НН)	1,5	4,39	20	2,54	1,9
ТП 5 (шины НН)	1,5	4,39	20	2,54	1,9
ТП 1 (шины НН)	1,5	4,39	20	2,54	1,9
ТП 6 (шины НН)	1,5	4,39	20	2,54	1,9

Для характерных точек сети защитные автоматы выбраны правильно.

7.2 Воздушные линии 0,4 кВ

Ссылаясь на [9], обосновано использование следующего расчётного выражения для расчёта потери напряжения по линии 1 ТП-1 в ходе проектирования:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I_p \cdot l \cdot (r_{уд} \cdot \cos \varphi + x_{уд} \cdot \sin \varphi) \cdot \frac{100}{U_{ном}}, \quad (50)$$

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot 109 \cdot 0,25 \cdot (0,641 \cdot 0,98 + 0,091 \cdot 0,2) \cdot \frac{100}{400} = 8\%.$$

где $\cos \varphi$, $\sin \varphi$ – коэффициента мощности по линии, значения усредняются по потребителям на их вводах 0,4 кВ;

l – длина линии, м;

I_p – расчетный ток в линии, А;

$r_{уд}$ – удельное активное сопротивление линии, Ом/км;

$x_{уд}$ – удельное реактивное сопротивление линии, Ом/км;

$U_{ном}$ – номинальное напряжение сети, В.

Ссылаясь на [16], обосновано использование следующего расчётного выражения для проверки линии 1 ТП-1 по потере напряжения в ходе проектирования:

$$\Delta U \leq \Delta U_{доп}; \quad (51)$$

$$8\% \leq 10\%;$$

где $\Delta U_{доп}$ – допустимая величина, равная предельному значению медленного изменения напряжения по ГОСТ 32144-2013, 10%.

Полученные результаты проверки линий 0,4 кВ по допустимой потере напряжения по аналогии для похожих вычислений разделяются по ТП и заносятся в таблицу 19.

Таблица 19 – Потери напряжения по линиям 0,4 кВ

ТП	№ линии	I_p , А	Тип проводника:	L, км	cosφ	sinφ	R, Ом/км	X, Ом/км	ΔU , %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ТП 1	линия 1	109	СИП	0,25	0,98	0,20	0,641	0,091	8,0
	линия 2	130	СИП	0,20	0,98	0,20	0,641	0,091	7,7
	линия 3	144	СИП	0,25	0,98	0,20	0,443	0,091	7,4
	линия 4	95	СИП	0,15	0,98	0,20	1,2	0,091	7,7
	линия 5	138	СИП	0,35	0,98	0,20	0,443	0,091	9,9
	линия 6	126	СИП	0,35	0,98	0,20	0,443	0,091	9,1
ТП 2	линия 1	144	СИП	0,20	0,98	0,20	0,641	0,091	8,5
	линия 2	179	СИП	0,35	0,98	0,20	0,253	0,088	7,6
	линия 3	100	СИП	0,10	0,98	0,20	1,2	0,091	5,4
	линия 4	51	СИП	0,15	0,90	0,43	1,2	0,091	3,9
ТП 3	линия 1	148	СИП	0,40	0,98	0,20	0,253	0,088	7,2
	линия 2	166	СИП	0,30	0,98	0,20	0,253	0,088	6,0
	линия 3	85	СИП	0,15	0,98	0,20	1,2	0,091	6,9
	линия 4	109	СИП	0,25	0,98	0,20	0,641	0,091	8,0
	линия 5	165	СИП	0,05	0,97	0,24	1,2	0,091	4,5
	линия 6	165	СИП	0,10	0,92	0,40	1,2	0,091	8,6
ТП 4	линия 1	422	СИП	0,24	0,98	0,20	0,206	0,088	10
	линия 2	396	СИП	0,20	0,98	0,20	0,253	0,088	9,6
	линия 3	112	СИП	0,10	0,93	0,36	1,2	0,091	5,9
	линия 4	456	СИП	0,20	0,98	0,20	0,206	0,088	9,1
	линия 5	200	СИП	0,40	0,98	0,20	0,253	0,088	9,7
	линия 6	343	СИП	0,45	0,98	0,20	0,206	0,088	9,4
	линия 7	206	СИП	0,35	0,98	0,20	0,206	0,088	7,2
	линия 8	200	СИП	0,25	0,98	0,20	0,32	0,088	7,5
ТП 5	линия 1	284	СИП	0,25	0,98	0,20	0,253	0,088	8,6
	линия 2	95	СИП	0,30	0,98	0,20	0,641	0,091	8,4
	линия 3	513	СИП	0,10	0,90	0,43	0,32	0,088	7,6
	линия 4	138	СИП	0,25	0,98	0,20	0,443	0,091	7,1
	линия 5	124	СИП	0,35	0,98	0,30	0,443	0,091	9,1
	линия 6	216	СИП	0,35	0,98	0,20	0,253	0,088	9,1
	линия 7	165	СИП	0,05	0,92	0,40	1,2	0,091	4,3

Продолжение таблицы 19

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ТП 6	линия 1	100	СИП	0,15	0,98	0,20	1,2	0,091	8,2
	линия 2	105	СИП	0,15	0,98	0,20	1,2	0,091	8,6
	линия 3	100	СИП	0,15	0,98	0,20	1,2	0,091	8,2
	линия 4	85	СИП	0,15	0,98	0,20	1,2	0,091	7,0
	линия 5	147	СИП	0,40	0,98	0,30	0,253	0,088	7,3
	линия 6	141	СИП	0,40	0,98	0,20	0,253	0,088	6,8
	линия 7	206	СИП	0,20	0,97	0,24	0,443	0,091	8,5

Наибольшая потеря напряжения достигает значения 9,7%, все линии 0,4 кВ коттеджного посёлка «Белый парус» проходят проверку.

8 ТОКИ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В СЕТИ ВЫШЕ 1 КВ

Расчёт токов КЗ в сети 6 кВ ведём в именованных единицах в соответствии с исходной схемой (рисунок 7), принимая за расчётные точки электрически ближайšie и удалённые ТП сети 6 кВ для ВЛ-6 кВ ПС Шмидтовка-ТП3-ТП4-ТП5, к примеру, это ТП3 и ТП5.

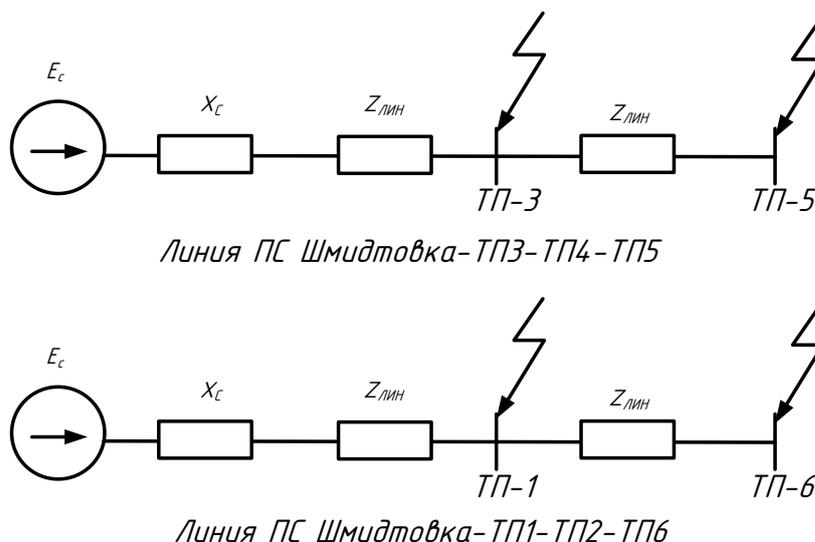


Рисунок 7 - Схема замещения сети 6 кВ

Ссылаясь на [12], обосновано использование следующего расчётного выражения для расчёта реактивного сопротивления системы на стороне 6 кВ ТП в ходе проектирования:

$$x_c = \frac{U_H}{\sqrt{3} \cdot I_{Kc}^{(3)}}$$

$$x_c = \frac{6}{\sqrt{3} \cdot 12,5} = 0,28 \text{ Ом} ;$$

где U_H - напряжение системы, кВ;

$I_{Kc}^{(3)}$ - отключающая способность линейного выключателя 6 кВ на ПС Шмидтовка, 12,5 кА.

Ссылаясь на [12], обосновано использование следующего расчётного выражения для расчёта сопротивления участка линии 6 кВ до ТП-3 в ходе проектирования:

$$R_{\text{ЛПЛ}} = r_{\text{уд}} \cdot L, ,$$

$$R_{\text{ЛПЛ}} = 0,99 \cdot 2,05 = 2,02 \text{ Ом} ,$$

$$X_{\text{ЛПЛ}} = x_{\text{уд}} \cdot L, ,$$

$$X_{\text{ЛПЛ}} = 0,05 \cdot 2,05 = 0,1 \text{ Ом} ,$$

где $r_{\text{уд}}, x_{\text{уд}}$ - удельное активное и реактивное сопротивление провода СИП-3 3x35, Ом/км;

L – протяженность участка, км.

Ссылаясь на [12], обосновано использование следующего расчётного выражения для расчёта тока трехфазного короткого замыкания для стороны 6 кВ ТП-3 в ходе проектирования:

$$I^{(3)}_{\text{ПО}} = \frac{U_H}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{\Sigma}^2 + X_{\Sigma}^2}} = \frac{U_H}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(R_{\text{Л}})^2 + (x_{\text{С}} + X_{\text{Л}})^2}}, \quad (52)$$

$$I^{(3)}_{\text{ПО ТПЗ}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(2,02)^2 + (0,28 + 0,1)^2}} = 1,78 \text{ кА},$$

Ссылаясь на [12], обосновано использование следующего расчётного выражения для расчёта времени затухания апериодической составляющей тока короткого замыкания для стороны 6 кВ ТП-3 в ходе проектирования:

$$T = \frac{X_{\Sigma}}{R_{\Sigma} \cdot 314}, \quad (53)$$

$$T_{ТПЗ} = \frac{0,28 + 0,1}{2,02 \cdot 314} = 0,013 \text{ с},$$

Ссылаясь на [12], обосновано использование следующего расчётного выражения для расчёта коэффициента затухания апериодической составляющей тока короткого замыкания для стороны 6 кВ ТП-3 в ходе проектирования:

$$K_{y\partial} = 1 + e^{-\frac{0,01}{T}}, \quad (54)$$

$$K_{y\partial ТПЗ} = 1 + e^{-\frac{0,01}{0,013}} = 1.$$

Ссылаясь на [12], обосновано использование следующего расчётного выражения для расчёта ударного тока короткого замыкания для стороны 6 кВ ТП-3 в ходе проектирования:

$$i_{y\partial} = K_{y\partial} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{по}^{(3)}, \quad (55)$$

$$i_{y\partial ТПЗ} = 1 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,78 = 2,5 \text{ кА}.$$

Ссылаясь на [12], обосновано использование следующего расчётного выражения для расчёта тока двухфазного короткого замыкания для стороны 6 кВ ТП-3 в ходе проектирования:

$$I_{ноТП}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{ноТП}^{(3)}; \quad (56)$$

$$I^{(2)}_{\text{по ТПЗ}} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 1,78 = 1,55 \text{ кА.}$$

Полученные результаты расчёта токов короткого замыкания в сети 6 кВ по аналогии для похожих вычислений разделяются по характерным ТП и заносятся в таблицу 20.

Таблица 20 – Токи КЗ в сети 6 кВ

Линия	L, км	R _{уд} , Ом	R _{экв} , Ом	Z _{экв} , Ом	I ⁽³⁾ _{по} , кА	I ⁽²⁾ _{по} , кА	T, с	K _{уд}	I _{уд} , кА
ЦП-ТП3-ТП4-ТП5									
ближняя ТП 3	2,05	0,99	2,02	2,04	1,78	1,55	0,013	1,00	2,5
дальняя ТП 5	2,6	0,99	2,56	2,58	1,41	1,23	0,017	1,0	2,0
ЦП-ТП1-ТП2-ТП6									
ближняя ТП 1	1,6	0,99	1,58	1,60	2,27	1,98	0,010	1,0	3,21
дальняя ТП 6	2,35	0,99	2,32	2,33	1,56	1,36	0,015	1,0	2,21

9 ВЫБОР ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ 6 кВ

9.1 Распределительное устройство

На стороне 6 кВ ПС Шмидтовка установлены шкафы КРУ К-2-6Э, в том числе на резервных ячейках, к которым подключается система электроснабжения 6 кВ коттеджного посёлка «Белый парус».

Ссылаясь на [26], обосновано использование следующих расчётных выражений для выбора шкафа КРУ по длительно допустимому току для ВЛ-6 кВ ПС Шмидтовка – ТП3-ТП4-ТП5 в ходе проектирования:

$$I_p \text{ ТП3-ТП4-ТП5} \leq I_{\text{ном}}; \quad (57)$$

$$123 \text{ А} \leq 630 \text{ А};$$

$$I_{\text{мах}} \leq I_{\text{ном}}; \quad (58)$$

$$158 \text{ А} \leq 630 \text{ А};$$

где $I_{\text{мах}}$ - ток максимального режима работы ВЛ-6 кВ, для петлевой конфигурации ток режима, в котором все ТП линии подключены на одно плечо схемы;

$I_p \text{ ТП3-ТП4-ТП5}$ - ток нормального режима работы ВЛ-6 кВ, в котором ТП3-ТП4-ТП5 подключены на одно плечо схемы.

Ссылаясь на [26], обосновано использование следующего расчётного выражения для выбора шкафа КРУ по напряжению установки для ВЛ-6 кВ ПС Шмидтовка – ТП3-ТП4-ТП5 в ходе проектирования:

$$U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном}}; \quad (59)$$

$$6 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ}.$$

Ссылаясь на [26], обосновано использование следующих расчётных выражений для проверки шкафа КРУ по термической стойкости для ВЛ-6 кВ ПС Шмидтовка – ТП3-ТП4-ТП5 в ходе проектирования:

$$B_k = I_{\text{ПО}}^{(3)2} \cdot (t_{\text{отк}} + T_a + t_{\text{pz}}), \quad (60)$$

$$B_k = 1,78^2 \cdot (0,045 + 0,01 + 0,5 + 0,5 + 0,5) = 4,9 \text{ кА}^2\text{с},$$

$$B_{\text{Кном}} = I_{\text{терм}}^2 \cdot t_{\text{терм}}; \quad (61)$$

$$B_{\text{Кном}} = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2\text{с};$$

$$B_{\text{К.ном}} \geq B_k; \quad (62)$$

$$1200 \text{ кА}^2\text{с} \geq 4,9 \text{ кА}^2\text{с};$$

где $t_{\text{отк}}$ - собственное время отключения выключателя ВВ-Тел-6-20 (31,5)/630 УЗ, 0.045с;

T_a - время затухания апериодической составляющей тока короткого замыкания для стороны 6 кВ, 0,01 с;

t_{pz} - степень селективности защиты, по мере удаления от шин 6 кВ ПС Шмидтовка выдержка времени увеличивается на 0,5 с для каждой ТП;

$t_{\text{терм}}$ - длительность теплового воздействия по условию не превышения температуры деформации ошиновки, 3 с;

$I_{\text{терм}}$ - ток теплового воздействия по условию не превышения температуры деформации ошиновки, 20 кА;

Ссылаясь на [26], обосновано использование следующего расчётного выражения для проверки шкафа КРУ по динамической стойкости для ВЛ-6 кВ ПС Шмидтовка – ТП3-ТП4-ТП5 в ходе проектирования:

$$i_{скв} \geq i_{уд}; \quad (63)$$

$$32 \text{ кА} \geq 2,5 \text{ кА}.$$

Полученные результаты выбора и проверки шкафов КРУ 6 кВ по аналогии для похожих вычислений разделяются по расчётным условиям и заносятся в таблицу 21.

Таблица 21– Результаты выбора и проверки шкафов КРУ-6 кВ ПС Шмидтовка

Справочные данные	Расчётные данные	Условия выбора
ВЛ 6 кВ Шмидтовка-ТП3-ТП4-ТП5		
$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$ $I_{ном} = 630 \text{ А}$ $i_{скв} = 32 \text{ кА}$ $В_{к.ном} = 1200 \text{ кА}^2\text{с}$	$U_{уст} = 6 \text{ кВ}$ $I_{рmax} = 158 \text{ А}$ $i_{уд} = 2,5 \text{ кА}$ $В_{к.} = 4,9 \text{ кА}^2\text{с}$	$U_{ном} \geq U_{уст}$ $I_{ном} \geq I_{рmax}$ $i_{скв} \geq i_{уд}$ $В_{к.ном} \geq В_{к.}$
ВЛ 6 кВ Шмидтовка- ТП1-ТП2-ТП6		
$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$ $I_{ном} = 630 \text{ А}$ $i_{скв} = 32 \text{ кА}$ $В_{к.ном} = 1200 \text{ кА}^2\text{с}$	$U_{уст} = 6 \text{ кВ}$ $I_{рmax} = 158 \text{ А}$ $i_{уд} = 3,2 \text{ кА}$ $В_{к.} = 8 \text{ кА}^2\text{с}$	$U_{ном} \geq U_{уст}$ $I_{ном} \geq I_{рmax}$ $i_{скв} \geq i_{уд}$ $В_{к.ном} \geq В_{к.}$

На стороне 6 кВ ПС Шмидтовка шкафы КРУ К-2-6Э соответствуют всем условиям выбора и проверки для дальнейшего подключения системы электропитания 6 кВ коттеджного посёлка «Белый парус».

9.2 Выключатели 6 кВ

Для использования в составе КРУ К-2-6Э на стороне 6 кВ ПС Шмидтовка выбираются выключатели ВВ-Тел-6-20 (31,5)/630 УЗ встраиваемые в КРУ.

Ссылаясь на [26], обосновано использование следующих расчётных выражений для выбора выключателя 6 кВ по длительно допустимому току для ВЛ-6 кВ ПС Шмидтовка – ТП3-ТП4-ТП5 в ходе проектирования:

$$I_{р \text{ ТП3-ТП4-ТП5}} \leq I_{ном};$$

$$123 \text{ A} \leq 630 \text{ A};$$

$$I_{\max} \leq I_{\text{ном}};$$

$$158 \text{ A} \leq 630 \text{ A};$$

где I_{\max} - ток максимального режима работы ВЛ-6 кВ, для петлевой конфигурации ток режима, в котором все ТП линии подключены на одно плечо схемы;

I_p ТП3-ТП4-ТП5 - ток нормального режима работы ВЛ-6 кВ, в котором ТП3-ТП4-ТП5 подключены на одно плечо схемы.

Ссылаясь на [26], обосновано использование следующего расчётного выражения для выбора выключателя 6 кВ по напряжению установки для ВЛ-6 кВ ПС Шмидтовка – ТП3-ТП4-ТП5 в ходе проектирования:

$$U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном}} ;$$

$$6 \text{ кВ} \leq 6 \text{ кВ}.$$

Ссылаясь на [26], обосновано использование следующего расчётного выражения для выбора выключателя 6 кВ по отключающей способности тока КЗ для ВЛ-6 кВ ПС Шмидтовка – ТП3-ТП4-ТП5 в ходе проектирования:

$$I_{\text{по}} \leq I_{\text{ном откл}};$$

$$1,78 \text{ кА} \leq 20 \text{ кА};$$

где $I_{\text{ном откл}}$ – номинальный ток отключающей способности выключателя ВВ-Тел-6-20 (31,5)/630 У3, 20 кА.

Ссылаясь на [26], обосновано использование следующих расчётных выражений для проверки выключателя 6 кВ по термической стойкости к току КЗ для ВЛ-6 кВ ПС Шмидтовка – ТП3-ТП4-ТП5 в ходе проектирования:

$$B_K = I_{\text{ПО}}^{(3)2} \cdot (t_{\text{отк}} + T_a + t_{\text{pz}}),$$

$$B_K = 1,78^2 \cdot (0,045 + 0,01 + 0,5 + 0,5 + 0,5) = 4,9 \text{ кА}^2\text{с},$$

$$B_{\text{Кном}} = I_{\text{терм}}^2 \cdot t_{\text{терм}};$$

$$B_{\text{Кном}} = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2\text{с};$$

$$B_{\text{К.ном}} \geq B_K;$$

$$1200 \text{ кА}^2\text{с} \geq 4,9 \text{ кА}^2\text{с};$$

где $t_{\text{отк}}$ - собственное время отключения выключателя ВВ-Тел-6-20 (31,5)/630 УЗ, 0.045с;

T_a - время затухания апериодической составляющей тока короткого замыкания для стороны 6 кВ, 0,01 с;

t_{pz} - степень селективности защиты, по мере удаления от шин 6 кВ ПС Шмидтовка выдержка времени увеличивается на 0,5 с для каждой ТП;

$t_{\text{терм}}$ - длительность теплового воздействия по условию не превышения температуры деформации ошиновки, 3 с;

$I_{\text{терм}}$ - ток теплового воздействия по условию не превышения температуры деформации ошиновки, 20 кА.

Ссылаясь на [26], обосновано использование следующего расчётного выражения для проверки выключателя 6 кВ по динамической стойкости для ВЛ-6 кВ ПС Шмидтовка – ТП3-ТП4-ТП5 в ходе проектирования:

$$i_{скв} \geq i_{уд};$$

$$32 \text{ кА} \geq 2,5 \text{ кА}.$$

Ссылаясь на [26], обосновано использование следующих расчётных выражений для проверки выключателя 6 кВ по отключению апериодической составляющей тока КЗ для ВЛ-6 кВ ПС Шмидтовка – ТПЗ-ТП4-ТП5 в ходе проектирования:

$$i_{а.ном} = \sqrt{2} \cdot \beta_n \cdot I_{ном откл}; \quad (64)$$

$$i_{а.ном} = \sqrt{2} \cdot 0,4 \cdot 20 = 11,31 \text{ кА};$$

$$i_{а.ном} \geq i_{ат};$$

$$11,31 \text{ кА} \geq 2,5 \text{ кА};$$

где β_n – допустимая доля тока апериодической составляющей выключателя 6 кВ ВВ-Тел-6-20 (31,5)/630, 0,4.

Ссылаясь на [26], обосновано использование следующего расчётного выражения для проверки выключателя 6 кВ по отключению полного тока КЗ для ВЛ-6 кВ ПС Шмидтовка – ТПЗ-ТП4-ТП5 в ходе проектирования:

$$\sqrt{2} \cdot I_{но}^{(3)} + i_{ат} \leq \sqrt{2} \cdot I_{номотк} \cdot \left(1 + \frac{\beta_n}{100}\right); \quad (65)$$

$$\sqrt{2} \cdot 1,78 + \sqrt{2} \cdot 1,78 \leq \sqrt{2} \cdot 20 \cdot \left(1 + \frac{40}{100}\right);$$

$$3,9 \text{ кА} \leq 39,2 \text{ кА};$$

Ссылаясь на [26], обосновано использование следующего расчётного выражения для проверки выключателя 6 кВ по отключению полного тока КЗ для ВЛ-6 кВ ПС Шмидтовка – ТП1-ТП2-ТП6 в ходе проектирования:

$$\sqrt{2} \cdot I_{no}^{(3)} + i_{at} \leq \sqrt{2} \cdot I_{НОМОТК} \cdot \left(1 + \frac{\beta_H}{100}\right);$$

$$\sqrt{2} \cdot 2,27 + 2,27 \cdot \sqrt{2} \leq \sqrt{2} \cdot 20 \cdot \left(1 + \frac{40}{100}\right);$$

$$6,2 \text{ кА} \leq 39,2 \text{ кА}.$$

Полученные результаты выбора и проверки выключателей 6 кВ по аналогии для похожих вычислений разделяются по расчётным условиям и заносятся в таблицу 22.

Таблица 22– Результаты выбора и проверки выключателей 6 кВ ПС Шмидтовка

Справочные данные	Расчётные данные	Условия выбора
ВЛ 6 кВ Шмидтовка-ТП3-ТП4-ТП5		
$U_{НОМ} = 10 \text{ кВ}$ $I_{НОМ} = 630 \text{ А}$ $i_{скв} = 32 \text{ кА}$ $В_{к.НОМ} = 1200 \text{ кА}^2\text{с}$ $I_{ВКЛ} = 20 \text{ кА}$ $I_{ОТКЛ} = 20 \text{ кА}$ $i_{а.НОМ} = 11,31 \text{ кА}$	$U_{уст} = 6 \text{ кВ}$ $I_{рmax} = 158 \text{ А}$ $i_{y\phi} = 2,5 \text{ кА}$ $В_{к.} = 4,9 \text{ кА}^2\text{с}$ $I_{по} = 1,78 \text{ кА}$ $I_{пт} = 1,78 \text{ кА}$ $i_{at} = 1,78 \text{ кА}$	$U_{НОМ} \geq U_{уст}$ $I_{НОМ} \geq I_{рmax}$ $i_{скв} \geq i_{y\phi}$ $В_{к.НОМ} \geq В_{к.}$ $I_{ВКЛ} \geq I_{по}$ $I_{ОТКЛ} \geq I_{пт}$ $i_{а.НОМ} \geq i_{at}$
ВЛ 6 кВ Шмидтовка- ТП1-ТП2-ТП6		
$U_{НОМ} = 10 \text{ кВ}$ $I_{НОМ} = 630 \text{ А}$ $i_{скв} = 32 \text{ кА}$ $В_{к.НОМ} = 1200 \text{ кА}^2\text{с}$ $I_{ВКЛ} = 20 \text{ кА}$ $I_{ОТКЛ} = 20 \text{ кА}$ $i_{а.НОМ} = 11,31 \text{ кА}$	$U_{уст} = 6 \text{ кВ}$ $I_{рmax} = 158 \text{ А}$ $i_{y\phi} = 3,2 \text{ кА}$ $В_{к.} = 8 \text{ кА}^2\text{с}$ $I_{по} = 2,27 \text{ кА}$ $I_{пт} = 2,27 \text{ кА}$ $i_{at} = 2,27 \text{ кА}$	$U_{НОМ} \geq U_{уст}$ $I_{НОМ} \geq I_{рmax}$ $i_{скв} \geq i_{y\phi}$ $В_{к.НОМ} \geq В_{к.}$ $I_{ВКЛ} \geq I_{по}$ $I_{ОТКЛ} \geq I_{пт}$ $i_{а.НОМ} \geq i_{at}$

На стороне 6 кВ ПС Шмидтовка выключатели 6 кВ ВВ-Тел-6-20 (31,5)/630 У3 соответствуют всем условиям выбора и проверки для дальнейше-

го подключения системы электроснабжения 6 кВ коттеджного посёлка «Белый парус».

9.3 Разъединители 6 кВ

На стороне 6 кВ ПС Шмидтовка установлены разъединители РЛНД-1-10-1- УХЛ1, в том числе на резервных ячейках, к которым подключается система электроснабжения 6 кВ коттеджного посёлка «Белый парус».

Ссылаясь на [26], обосновано использование следующих расчётных выражений для выбора разъединителей 6 кВ по длительно допустимому току для ВЛ-6 кВ ПС Шмидтовка – ТП3-ТП4-ТП5 в ходе проектирования:

$$I_p \text{ ТП3-ТП4-ТП5} \leq I_{\text{ном}};$$

$$123 \text{ А} \leq 200 \text{ А};$$

$$I_{\text{мах}} \leq I_{\text{ном}};$$

$$158 \text{ А} \leq 200 \text{ А};$$

где $I_{\text{мах}}$ - ток максимального режима работы ВЛ-6 кВ, для петлевой конфигурации ток режима, в котором все ТП линии подключены на одно плечо схемы;

$I_p \text{ ТП3-ТП4-ТП5}$ - ток нормального режима работы ВЛ-6 кВ, в котором ТП3-ТП4-ТП5 подключены на одно плечо схемы.

Ссылаясь на [26], обосновано использование следующего расчётного выражения для выбора разъединителей 6 кВ по напряжению установки для ВЛ-6 кВ ПС Шмидтовка – ТП3-ТП4-ТП5 в ходе проектирования:

$$U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном}} ;$$

$$6 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ}.$$

Ссылаясь на [26], обосновано использование следующих расчётных выражений для проверки разъединителей 6 кВ по термической стойкости для ВЛ-6 кВ ПС Шмидтовка – ТП3-ТП4-ТП5 в ходе проектирования:

$$B_K = I_{ПО}^{(3)2} \cdot (t_{отк} + T_a + t_{pz}),$$

$$B_K = 1,78^2 \cdot (0,045 + 0,01 + 0,5 + 0,5 + 0,5) = 4,9 \text{ кА}^2\text{с},$$

$$B_{Кном} = I_{терм}^2 \cdot t_{терм};$$

$$B_{Кном} = 10^2 \cdot 3 = 300 \text{ кА}^2\text{с};$$

$$B_{К.ном} \geq B_K;$$

$$300 \text{ кА}^2\text{с} \geq 4,9 \text{ кА}^2\text{с};$$

где $t_{отк}$ - собственное время отключения выключателя ВВ-Тел-6-20 (31,5)/630 УЗ, 0.045с;

T_a - время затухания апериодической составляющей тока короткого замыкания для стороны 6 кВ, 0,01 с;

t_{pz} - степень селективности защиты, по мере удаления от шин 6 кВ ПС Шмидтовка выдержка времени увеличивается на 0,5 с для каждой ТП;

$t_{терм}$ - длительность теплового воздействия по условию не превышения температуры деформации ошиновки, 3 с;

$I_{терм}$ - ток теплового воздействия по условию не превышения температуры деформации ошиновки, 10 кА.

Ссылаясь на [26], обосновано использование следующего расчётного выражения для проверки разъединителей 6 кВ по динамической стойкости для ВЛ-6 кВ ПС Шмидтовка – ТП3-ТП4-ТП5 в ходе проектирования:

$$i_{скв} \geq i_{y\delta};$$

$$20 \text{ кА} \geq 2,5 \text{ кА}.$$

Полученные результаты выбора и проверки разъединителей 6 кВ по аналогии для похожих вычислений разделяются по расчётным условиям и заносятся в таблицу 23.

Таблица 23– Результаты выбора и проверки линейных разъединителей 6 кВ ПС Шмидтовка

Справочные данные	Расчётные данные	Условия выбора
ВЛ 6 кВ Шмидтовка-ТП3-ТП4-ТП5		
$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$ $I_{ном} = 200 \text{ А}$ $i_{скв} = 20 \text{ кА}$ $B_{к.ном} = 300 \text{ кА}^2\text{с}$	$U_{уст} = 6 \text{ кВ}$ $I_{рmax} = 158 \text{ А}$ $i_{y\delta} = 2,5 \text{ кА}$ $B_{к.} = 4,9 \text{ кА}^2\text{с}$	$U_{ном} \geq U_{уст}$ $I_{ном} \geq I_{рmax}$ $i_{скв} \geq i_{y\delta}$ $B_{к.ном} \geq B_{к.}$
ВЛ 6 кВ Шмидтовка- ТП1-ТП2-ТП6		
$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$ $I_{ном} = 200 \text{ А}$ $i_{скв} = 20 \text{ кА}$ $B_{к.ном} = 300 \text{ кА}^2\text{с}$	$U_{уст} = 6 \text{ кВ}$ $I_{рmax} = 158 \text{ А}$ $i_{y\delta} = 3,2 \text{ кА}$ $B_{к.} = 8 \text{ кА}^2\text{с}$	$U_{ном} \geq U_{уст}$ $I_{ном} \geq I_{рmax}$ $i_{скв} \geq i_{y\delta}$ $B_{к.ном} \geq B_{к.}$

На стороне 6 кВ ПС Шмидтовка разъединители РЛНД-1-10-1- УХЛ1 соответствуют всем условиям выбора и проверки для дальнейшего подключения системы электроснабжения 6 кВ коттеджного посёлка «Белый парус».

9.4 Выключатели нагрузки 6 кВ

На стороне 6 кВ ТП 6/0,4 кВ установлены выключатели нагрузки ВНМ - 10/400.

Ссылаясь на [26], обосновано использование следующих расчётных выражений для выбора выключателей нагрузки 6 кВ по длительно допустимому току для ТП1 в ходе проектирования:

$$I_{P \text{ ВНТП1}} = \frac{S_{НОМ \text{ ТП1}}}{\sqrt{3} \cdot U_H};$$

$$I_{P \text{ ВНТП1}} = \frac{250}{\sqrt{3} \cdot 6} = 24 \text{ A};$$

$$I_{P \text{ ВНТП1}} \leq I_{\text{ном}};$$

$$24 \text{ A} \leq 400 \text{ A};$$

где $I_{P \text{ ВНТП1}}$ - ток нормального режима работы ТП1 на стороне 6 кВ.

Ссылаясь на [26], обосновано использование следующего расчётного выражения для выбора выключателей нагрузки 6 кВ по напряжению установки для ТП1 в ходе проектирования:

$$U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном}};$$

$$6 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ}.$$

Ссылаясь на [26], обосновано использование следующих расчётных выражений для проверки выключателей нагрузки 6 кВ по термической стойкости для ТП1 в ходе проектирования:

$$B_{\text{к}} = I_{\text{ПО}}^{(3)2} \cdot (t_{\text{отк}} + T_{\text{а}} + t_{\text{рз}}),$$

$$B_{\text{к}} = 2,27^2 \cdot (0,5 + 0,01 + 0,5) = 5,2 \text{ кА}^2\text{с},$$

$$B_{\text{Кном}} = I_{\text{терм}}^2 \cdot t_{\text{терм}};$$

$$B_{\text{Кном}} = 10^2 \cdot 1 = 100 \text{ кА}^2\text{с},$$

$$B_{\text{к.ном}} \geq B_{\text{к}};$$

$$100 \text{ кА}^2\text{с} \geq 5,2 \text{ кА}^2\text{с};$$

где $t_{отк}$ - собственное время отключения выключателя нагрузки ВНМ - 10/400, 0.5с;

T_a - время затухания апериодической составляющей тока короткого замыкания для стороны 6 кВ, 0,01 с;

t_{pz} - степень селективности защиты, по мере удаления от шин 6 кВ ПС Шмидтовка выдержка времени увеличивается на 0,5 с для каждой ТП;

$t_{терм}$ - длительность теплового воздействия по условию не превышения температуры деформации ошиновки, 1 с;

$I_{терм}$ - ток теплового воздействия по условию не превышения температуры деформации ошиновки, 10 кА.

Ссылаясь на [26], обосновано использование следующего расчётного выражения для проверки выключателей нагрузки 6 кВ по динамической стойкости для ТП1 в ходе проектирования:

$$i_{скв} \geq i_{уд};$$

$$32 \text{ кА} \geq 3,21 \text{ кА}.$$

Полученные результаты выбора и проверки выключателей нагрузки 6 кВ по аналогии для похожих вычислений разделяются по расчётным условиям и заносятся в таблицу 24.

Таблица 24– Результаты выбора и проверки выключателей нагрузки 6 кВ ТП

Справочные данные	Расчётные данные	Условия выбора
1	2	3
ТП1		
$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$ $I_{ном} = 400 \text{ А}$ $i_{скв} = 20 \text{ кА}$ $B_{к.ном} = 100 \text{ кА}^2\text{с}$	$U_{уст} = 6 \text{ кВ}$ $I_{рmax} = 24 \text{ А}$ $i_{уд} = 3,21 \text{ кА}$ $B_{к.} = 5,2 \text{ кА}^2\text{с}$	$U_{ном} \geq U_{уст}$ $I_{ном} \geq I_{рmax}$ $i_{скв} \geq i_{уд}$ $B_{к.ном} \geq B_{к.}$

1	2	3
ТП2		
$U_{\text{НОМ}} = 10 \text{ кВ}$ $I_{\text{НОМ}} = 400 \text{ А}$ $i_{\text{скв}} = 20 \text{ кА}$ $B_{\text{к.НОМ}} = 100 \text{ кА}^2\text{с}$	$U_{\text{уст}} = 6 \text{ кВ}$ $I_{\text{рmax}} = 24 \text{ А}$ $i_{\text{yд}} = 3,21 \text{ кА}$ $B_{\text{к.}} = 7,8 \text{ кА}^2\text{с}$	$U_{\text{НОМ}} \geq U_{\text{уст}}$ $I_{\text{НОМ}} \geq I_{\text{рmax}}$ $i_{\text{скв}} \geq i_{\text{yд}}$ $B_{\text{к.НОМ}} \geq B_{\text{к}}$
ТП3		
$U_{\text{НОМ}} = 10 \text{ кВ}$ $I_{\text{НОМ}} = 400 \text{ А}$ $i_{\text{скв}} = 20 \text{ кА}$ $B_{\text{к.НОМ}} = 100 \text{ кА}^2\text{с}$	$U_{\text{уст}} = 6 \text{ кВ}$ $I_{\text{рmax}} = 48 \text{ А}$ $i_{\text{yд}} = 2,5 \text{ кА}$ $B_{\text{к.}} = 3,2 \text{ кА}^2\text{с}$	$U_{\text{НОМ}} \geq U_{\text{уст}}$ $I_{\text{НОМ}} \geq I_{\text{рmax}}$ $i_{\text{скв}} \geq i_{\text{yд}}$ $B_{\text{к.НОМ}} \geq B_{\text{к}}$
ТП4		
$U_{\text{НОМ}} = 10 \text{ кВ}$ $I_{\text{НОМ}} = 400 \text{ А}$ $i_{\text{скв}} = 20 \text{ кА}$ $B_{\text{к.НОМ}} = 100 \text{ кА}^2\text{с}$	$U_{\text{уст}} = 6 \text{ кВ}$ $I_{\text{рmax}} = 61 \text{ А}$ $i_{\text{yд}} = 2,5 \text{ кА}$ $B_{\text{к.}} = 4,8 \text{ кА}^2\text{с}$	$U_{\text{НОМ}} \geq U_{\text{уст}}$ $I_{\text{НОМ}} \geq I_{\text{рmax}}$ $i_{\text{скв}} \geq i_{\text{yд}}$ $B_{\text{к.НОМ}} \geq B_{\text{к}}$
ТП5		
$U_{\text{НОМ}} = 10 \text{ кВ}$ $I_{\text{НОМ}} = 400 \text{ А}$ $i_{\text{скв}} = 20 \text{ кА}$ $B_{\text{к.НОМ}} = 100 \text{ кА}^2\text{с}$	$U_{\text{уст}} = 6 \text{ кВ}$ $I_{\text{рmax}} = 77 \text{ А}$ $i_{\text{yд}} = 2 \text{ кА}$ $B_{\text{к.}} = 4 \text{ кА}^2\text{с}$	$U_{\text{НОМ}} \geq U_{\text{уст}}$ $I_{\text{НОМ}} \geq I_{\text{рmax}}$ $i_{\text{скв}} \geq i_{\text{yд}}$ $B_{\text{к.НОМ}} \geq B_{\text{к}}$
ТП6		
$U_{\text{НОМ}} = 10 \text{ кВ}$ $I_{\text{НОМ}} = 400 \text{ А}$ $i_{\text{скв}} = 20 \text{ кА}$ $B_{\text{к.НОМ}} = 100 \text{ кА}^2\text{с}$	$U_{\text{уст}} = 6 \text{ кВ}$ $I_{\text{рmax}} = 39 \text{ А}$ $i_{\text{yд}} = 2,2 \text{ кА}$ $B_{\text{к.}} = 4,9 \text{ кА}^2\text{с}$	$U_{\text{НОМ}} \geq U_{\text{уст}}$ $I_{\text{НОМ}} \geq I_{\text{рmax}}$ $i_{\text{скв}} \geq i_{\text{yд}}$ $B_{\text{к.НОМ}} \geq B_{\text{к}}$

На стороне 6 кВ ТП выключатели нагрузки ВНМ - 10/400 соответствуют всем условиям выбора и проверки для дальнейшего подключения системы электроснабжения 6 кВ коттеджного посёлка «Белый парус».

9.5 Предохранители 6 кВ

На стороне 6 кВ ТП защита трансформаторов ТП осуществляется предохранителем. Выбираем предохранители марки ПКТ101-10, [13].

Ссылаясь на [26], обосновано использование следующих расчётных выражений для выбора предохранителей 6 кВ по длительно допустимому току для ТП1 в ходе проектирования:

$$I_{P \text{ ВНТП1}} = \frac{S_{\text{НОМ ТП1}}}{\sqrt{3} \cdot U_H}; \quad (66)$$

$$I_{P \text{ ВНТП1}} = \frac{250}{\sqrt{3} \cdot 6} = 24 \text{ А};$$

$$I_{P \text{ ВНТП1}} \leq I_{\text{НОМ ВСТ}};$$

$$I_{P \text{ ВНТП1}} \leq I_{\text{НОМ ПРЕД}};$$

$$24 \text{ А} \leq 80 \text{ А};$$

где $I_{P \text{ ВНТП1}}$ - ток нормального режима работы ТП1 на стороне 6 кВ;

$I_{\text{НОМ ВСТ}}$ - ток плавкой вставки предохранителя, 50 А;

$I_{\text{НОМ ПРЕД}}$ - ток предохранителя, 80 А.

Ссылаясь на [26], обосновано использование следующего расчётного выражения для выбора предохранителей 6 кВ по напряжению установки для ТП1 в ходе проектирования:

$$U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном}};$$

$$6 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ}.$$

Ссылаясь на [26], обосновано использование следующего расчётного выражения для выбора предохранителей 6 кВ по отключающей способности тока КЗ для ТП1 в ходе проектирования:

$$I_{\text{по}} \leq I_{\text{ном откл}};$$

$$2,27 \text{ кА} \leq 10 \text{ кА};$$

где $I_{\text{НОМ ОТКЛ}}$ – номинальный ток отключающей способности предохранителей ПКТ101-10, 10 кА.

Полученные результаты выбора и проверки предохранителей 6 кВ по аналогии для похожих вычислений разделяются по расчётным условиям и записываются в таблицу 25.

Таблица 25– Результаты выбора и проверки предохранителей 6 кВ ТП

Справочные данные	Расчётные данные	Условия выбора
ТП1		
$U_{\text{НОМ}} = 10 \text{ кВ}$ $I_{\text{НОМ}} = 80 \text{ А}$ $I_{\text{НОМ}} = 50 \text{ А}$ $I_{\text{НОМ ОТКЛ}} = 10 \text{ кА}$	$U_{\text{уст}} = 6 \text{ кВ}$ $I_{\text{рmax}} = 24 \text{ А}$ $I_{\text{рmax}} = 24 \text{ А}$ $I_{\text{по}} = 2,27 \text{ кА}$	$U_{\text{НОМ}} \geq U_{\text{уст}}$ $I_{\text{НОМ ВСТ}} \geq I_{\text{рmax}}$ $I_{\text{НОМ ПРЕД}} \geq I_{\text{рmax}}$ $I_{\text{НОМ ОТКЛ}} \geq I_{\text{по}}$
ТП2		
$U_{\text{НОМ}} = 10 \text{ кВ}$ $I_{\text{НОМ}} = 80 \text{ А}$ $I_{\text{НОМ}} = 50 \text{ А}$ $I_{\text{НОМ ОТКЛ}} = 10 \text{ кА}$	$U_{\text{уст}} = 6 \text{ кВ}$ $I_{\text{рmax}} = 24 \text{ А}$ $I_{\text{рmax}} = 24 \text{ А}$ $I_{\text{по}} = 2,27 \text{ кА}$	$U_{\text{НОМ}} \geq U_{\text{уст}}$ $I_{\text{НОМ ВСТ}} \geq I_{\text{рmax}}$ $I_{\text{НОМ ПРЕД}} \geq I_{\text{рmax}}$ $I_{\text{НОМ ОТКЛ}} \geq I_{\text{по}}$
ТП3		
$U_{\text{НОМ}} = 10 \text{ кВ}$ $I_{\text{НОМ}} = 80 \text{ А}$ $I_{\text{НОМ}} = 50 \text{ А}$ $I_{\text{НОМ ОТКЛ}} = 10 \text{ кА}$	$U_{\text{уст}} = 6 \text{ кВ}$ $I_{\text{рmax}} = 48 \text{ А}$ $I_{\text{рmax}} = 48 \text{ А}$ $I_{\text{по}} = 1,78 \text{ кА}$	$U_{\text{НОМ}} \geq U_{\text{уст}}$ $I_{\text{НОМ ВСТ}} \geq I_{\text{рmax}}$ $I_{\text{НОМ ПРЕД}} \geq I_{\text{рmax}}$ $I_{\text{НОМ ОТКЛ}} \geq I_{\text{по}}$
ТП4		
$U_{\text{НОМ}} = 10 \text{ кВ}$ $I_{\text{НОМ}} = 80 \text{ А}$ $I_{\text{НОМ}} = 80 \text{ А}$ $I_{\text{НОМ ОТКЛ}} = 10 \text{ кА}$	$U_{\text{уст}} = 6 \text{ кВ}$ $I_{\text{рmax}} = 61 \text{ А}$ $I_{\text{рmax}} = 61 \text{ А}$ $I_{\text{по}} = 1,78 \text{ кА}$	$U_{\text{НОМ}} \geq U_{\text{уст}}$ $I_{\text{НОМ ВСТ}} \geq I_{\text{рmax}}$ $I_{\text{НОМ ПРЕД}} \geq I_{\text{рmax}}$ $I_{\text{НОМ ОТКЛ}} \geq I_{\text{по}}$
ТП5		
$U_{\text{НОМ}} = 10 \text{ кВ}$ $I_{\text{НОМ}} = 80 \text{ А}$ $I_{\text{НОМ}} = 80 \text{ А}$ $I_{\text{НОМ ОТКЛ}} = 10 \text{ кА}$	$U_{\text{уст}} = 6 \text{ кВ}$ $I_{\text{рmax}} = 77 \text{ А}$ $I_{\text{рmax}} = 77 \text{ А}$ $I_{\text{по}} = 1,41 \text{ кА}$	$U_{\text{НОМ}} \geq U_{\text{уст}}$ $I_{\text{НОМ ВСТ}} \geq I_{\text{рmax}}$ $I_{\text{НОМ ПРЕД}} \geq I_{\text{рmax}}$ $I_{\text{НОМ ОТКЛ}} \geq I_{\text{по}}$
ТП6		
$U_{\text{НОМ}} = 10 \text{ кВ}$ $I_{\text{НОМ}} = 80 \text{ А}$ $I_{\text{НОМ}} = 50 \text{ А}$ $I_{\text{НОМ ОТКЛ}} = 10 \text{ кА}$	$U_{\text{уст}} = 6 \text{ кВ}$ $I_{\text{рmax}} = 39 \text{ А}$ $I_{\text{рmax}} = 39 \text{ А}$ $I_{\text{по}} = 1,56 \text{ кА}$	$U_{\text{НОМ}} \geq U_{\text{уст}}$ $I_{\text{НОМ ВСТ}} \geq I_{\text{рmax}}$ $I_{\text{НОМ ПРЕД}} \geq I_{\text{рmax}}$ $I_{\text{НОМ ОТКЛ}} \geq I_{\text{по}}$

На стороне 6 кВ ТП предохранители ПКТ101-10 соответствуют всем условиям выбора и проверки для дальнейшего подключения системы электропитания 6 кВ коттеджного посёлка «Белый парус».

9.6 Трансформаторы тока

На стороне 6 кВ ПС Шмидтовка установлены трансформаторы тока ТПЛ-10-05, в том числе на резервных ячейках, к которым подключается система электропитания 6 кВ коттеджного посёлка «Белый парус».

Ссылаясь на [26], обосновано использование следующих расчётных выражений для выбора трансформаторов тока 6 кВ по длительно допустимому току для ВЛ-6 кВ ПС Шмидтовка – ТПЗ-ТП4-ТП5 в ходе проектирования:

$$I_r \text{ ТПЗ-ТП4-ТП5} \leq I_{\text{ном}};$$

$$123 \text{ А} \leq 200 \text{ А};$$

$$I_{\text{мах}} \leq I_{\text{ном}};$$

$$158 \text{ А} \leq 200 \text{ А};$$

где $I_{\text{мах}}$ - ток максимального режима работы ВЛ-6 кВ, для петлевой конфигурации ток режима, в котором все ТП линии подключены на одно плечо схемы;

$I_r \text{ ТПЗ-ТП4-ТП5}$ - ток нормального режима работы ВЛ-6 кВ, в котором ТПЗ-ТП4-ТП5 подключены на одно плечо схемы.

Ссылаясь на [26], обосновано использование следующего расчётного выражения для выбора трансформаторов тока 6 кВ по напряжению установки для ВЛ-6 кВ ПС Шмидтовка – ТПЗ-ТП4-ТП5 в ходе проектирования:

$$U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном}} ;$$

$$6 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ}.$$

Ссылаясь на [26], обосновано использование следующих расчётных выражений для проверки трансформаторов тока 6 кВ по термической стойкости для ВЛ-6 кВ ПС Шмидтовка – ТП3-ТП4-ТП5 в ходе проектирования:

$$B_k = I_{\text{пю}}^{(3)2} \cdot (t_{\text{отк}} + T_a + t_{\text{рз}}),$$

$$B_k = 1,78^2 \cdot (0,045 + 0,01 + 0,5 + 0,5 + 0,5) = 4,9 \text{ кА}^2\text{с},$$

$$B_{\text{к.ном}} = I_{\text{терм}}^2 \cdot t_{\text{терм}};$$

$$B_{\text{к.ном}} = 20^2 \cdot 1 = 400 \text{ кА}^2\text{с};$$

$$B_{\text{к.ном}} \geq B_k;$$

$$400 \text{ кА}^2\text{с} \geq 4,9 \text{ кА}^2\text{с};$$

где $t_{\text{отк}}$ - собственное время отключения выключателя ВВ-Тел-6-20 (31,5)/630 УЗ, 0,045с;

T_a - время затухания апериодической составляющей тока короткого замыкания для стороны 6 кВ, 0,01 с;

$t_{\text{рз}}$ - степень селективности защиты, по мере удаления от шин 6 кВ ПС Шмидтовка выдержка времени увеличивается на 0,5 с для каждой ТП;

$t_{\text{терм}}$ - длительность теплового воздействия по условию не превышения температуры деформации ошиновки, 1 с;

$I_{\text{терм}}$ - ток теплового воздействия по условию не превышения температуры деформации ошиновки, 20 кА.

Ссылаясь на [26], обосновано использование следующего расчётного выражения для проверки трансформаторов тока 6 кВ по динамической стойкости для ВЛ-6 кВ ПС Шмидтовка – ТПЗ-ТП4-ТП5 в ходе проектирования:

$$i_{скв} \geq i_{уд};$$

$$20 \text{ кА} \geq 2,5 \text{ кА}.$$

Ссылаясь на [26], обосновано использование следующего расчётного выражения для проверки трансформаторов тока 6 кВ по вторичной нагрузке для ВЛ-6 кВ ПС Шмидтовка – ТПЗ-ТП4-ТП5 в ходе проектирования:

$$Z_{2 \text{ макс}} \leq Z_{2\text{НОМ}},$$

$$0,183 \text{ Ом} \leq 0,4 \text{ Ом},$$

где $Z_{2 \text{ макс}}$ – максимальная по фазе вторичная нагрузка трансформатора тока ТПЛ-10-05 со всеми составляющими нагрузки, Ом;

$Z_{2\text{НОМ}}$ – номинальная вторичная нагрузка трансформатора тока ТПЛ-10-05 при $K_T=0,5$.

Полученные результаты выбора приборов вторичной цепи трансформаторов тока 6 кВ по аналогии для похожих вычислений разделяются по типу приборов и заносятся в таблицу 26.

Таблица 26 – Вторичная нагрузка трансформаторов тока 6 кВ

Прибор	Тип	Потребление нагрузки $S_{\text{ПРИБ}}$, ВА		
		По фазе А	По фазе В	По фазе С
Амперметр	ЦП-А96		0.8	
Счетчик ЭЭ	СЕ304	0.3		0.3
Ватметр	ЦВа-А96	0.45		0.45
Варметр	ЦВр-А96	0.45		0.45
Итого		1.2	0.8	1.2

Ссылаясь на [26], обосновано использование следующих расчётных выражений для определения вторичной нагрузки трансформаторов тока 6 кВ для ВЛ-6 кВ ПС Шмидтовка – ТПЗ-ТП4-ТП5 в ходе проектирования:

$$Z_{2H} = \frac{S_{2H}}{I_2^2}, \quad (67)$$

$$Z_{2H} = \frac{12.5}{5^2} = 0.5 \text{ Ом};$$

$$r_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{I_2^2}, \quad (68)$$

$$r_{\text{приб}} = \frac{1.2}{5^2} = 0.05 \text{ Ом}.$$

$$r_{\text{пр}} = \frac{\rho \cdot l}{q}, \quad (69)$$

$$r_{\text{пр}} = \frac{0.0283 \cdot 10}{4} = 0.07 \text{ Ом},$$

$$r_2 = r_{\text{конт}} + r_{\text{пров}} + r_{\text{приб}}, \quad (70)$$

$$r_2 = 0.1 + 0.07 + 0.05 = 0.22 \text{ Ом};$$

где $r_{\text{конт}}$ - сопротивление контактов, зажимов, фиксаторов соединений, 0.1 Ом;

S_{2H} – мощность нагрузки трансформатора тока ТПЛ-10-05 при $K_T=0,5$, 12,5 ВА;

I_2 – вторичный ток трансформатора тока ТПЛ-10-05, 5 А;

q – площадь сечения проводов соединений, 4 мм²;

ρ - удельное сопротивление проводов соединений АКРВГ, 28,3 мОм*мм²*м⁻¹;

l – погонная длина проводов соединений, 10 м;

Полученные результаты выбора и проверки трансформаторов тока 6 кВ по аналогии для похожих вычислений разделяются по расчётным условиям и заносятся в таблицу 27.

Таблица 27– Результаты выбора и проверки трансформаторов тока 6 кВ ПС Шмидтовка

Справочные данные	Расчётные данные	Условия выбора
ВЛ 6 кВ Шмидтовка-ТП3-ТП4-ТП5		
$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$ $I_{ном} = 200 \text{ А}$ $i_{скв} = 20 \text{ кА}$ $B_{к.ном} = 400 \text{ кА}^2\text{с}$ $Z_{2Н} = 0.4 \text{ Ом}$	$U_{уст} = 6 \text{ кВ}$ $I_{рmax} = 158 \text{ А}$ $i_{yд} = 2,5 \text{ кА}$ $B_{к.} = 4,9 \text{ кА}^2\text{с}$ $Z_{Нр} = 0.22 \text{ Ом}$	$U_{ном} \geq U_{уст}$ $I_{ном} \geq I_{рmax}$ $i_{скв} \geq i_{yд}$ $B_{к.ном} \geq B_{к.}$ $Z_{2Н} \geq Z_{Нр}$
ВЛ 6 кВ Шмидтовка- ТП1-ТП2-ТП6		
$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$ $I_{ном} = 200 \text{ А}$ $i_{скв} = 20 \text{ кА}$ $B_{к.ном} = 400 \text{ кА}^2\text{с}$ $Z_{2Н} = 0.4 \text{ Ом}$	$U_{уст} = 6 \text{ кВ}$ $I_{рmax} = 158 \text{ А}$ $i_{yд} = 3,2 \text{ кА}$ $B_{к.} = 8 \text{ кА}^2\text{с}$ $Z_{Нр} = 0.22 \text{ Ом}$	$U_{ном} \geq U_{уст}$ $I_{ном} \geq I_{рmax}$ $i_{скв} \geq i_{yд}$ $B_{к.ном} \geq B_{к.}$ $Z_{2Н} \geq Z_{Нр}$

На стороне 6 кВ ПС Шмидтовка трансформаторы тока ТПЛ-10-05 соответствуют всем условиям выбора и проверки для дальнейшего подключения системы электроснабжения 6 кВ коттеджного посёлка «Белый парус».

9.7 Трансформаторы напряжения

На стороне 6 кВ ПС Шмидтовка установлены трансформаторы напряжения НАМИ-6.

Полученные результаты выбора приборов вторичной цепи трансформаторов напряжения 6 кВ по аналогии для похожих вычислений разделяются по типу приборов и заносятся в таблицу 28.

Таблица 28 – Вторичная нагрузка трансформаторов напряжения 6 кВ

Прибор	Тип	S _{потр} , ВА	N	Cos φ	Sin φ	S _{потр}	
						P,Вт	Q,ВА
1 секция шин ПС Шмидтовка							
Вольтметр	ЦВ-А96	3	1	1	0	3	0
Вольтметр с переключением регистрирующий	Н3095	12	1	1	0	12	0
Ватметр	ЦВа-А96	4	1	1	0	4	0
Варметр	ЦВр-А96	4	1	1	0	4	0
Счетчик ЭЭ (акт)	СЕ304	5	5	0,38	0,9	9,5	23,25
Счетчик ЭЭ (реакт)	СЕ304	5	5	0,38	0,9	9,5	23,25
Итого	-	-	-	-	-	42,0	46,5
2 секция шин ПС Шмидтовка							
Вольтметр	ЦВ-А96	3	1	1	0	3	0
Вольтметр с переключением регистрирующий	Н3095	12	1	1	0	12	0
Ватметр	ЦВа-А96	4	1	1	0	4	0
Варметр	ЦВр-А96	4	1	1	0	4	0
Счетчик ЭЭ (акт)	СЕ304	5	6	0,38	0,9	11,4	27,9
Счетчик ЭЭ (реакт)	СЕ304	5	6	0,38	0,9	11,4	27,9
Итого	-	-	-	-	-	45,8	55,8

Ссылаясь на [26], обосновано использование следующих расчётных выражений для проверки трансформаторов напряжения 6 кВ 1 секции шин ПС Шмидтовка по вторичной нагрузке в ходе проектирования:

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{P_{\text{приб}}^2 + Q_{\text{приб}}^2}; \quad (71)$$

$$S_{2\Sigma_{\text{ШП}}} = \sqrt{42^2 + 46,5^2} = 62,7 \text{ ВА};$$

$$S_{2\Sigma} \leq S_{\text{НОМ}}, \quad (72)$$

$$62,7 \text{ ВА} \leq 75 \text{ ВА},$$

где $S_{2\Sigma}$ – максимальная вторичная нагрузка трансформатора напряжения НТМИ-6 со всеми составляющими нагрузки, ВА;

$S_{\text{ном}}$ – номинальная вторичная нагрузка трансформатора напряжения НТМИ\6 при $K_T=0,5$.

Ссылаясь на [26], обосновано использование следующего расчётного выражения для выбора трансформаторов напряжения 6 кВ по напряжению установки для 1 секции шин ПС Шмидтовка в ходе проектирования:

$$U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном}} ;$$

$$6 \text{ кВ} \leq 6 \text{ кВ}.$$

Полученные результаты выбора и проверки трансформаторов напряжения 6 кВ по аналогии для похожих вычислений разделяются по расчётным условиям и заносятся в таблицу 29.

Таблица 29– Результаты выбора и проверки трансформаторов напряжения 6 кВ ПС Шмидтовка

Справочные данные	Расчётные данные	Условия выбора
1 секция шин ПС Шмидтовка		
$U_{\text{ном}} = 6 \text{ кВ}$ $S_{\text{ном}} = 75 \text{ ВА}$	$U_{\text{уст}} = 6 \text{ кВ}$ $S_{2\Sigma} = 62,7 \text{ ВА}$	$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{уст}}$ $S_{2\Sigma} \leq S_{\text{ном}}$
2 секция шин ПС Шмидтовка		
$U_{\text{ном}} = 6 \text{ кВ}$ $S_{\text{ном}} = 75 \text{ ВА}$	$U_{\text{уст}} = 6 \text{ кВ}$ $S_{2\Sigma} = 72,2 \text{ ВА}$	$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{уст}}$ $S_{2\Sigma} \leq S_{\text{ном}}$

На стороне 6 кВ ПС Шмидтовка трансформаторы напряжения НАМИ-6 соответствуют всем условиям выбора и проверки для дальнейшего подключения системы электроснабжения 6 кВ коттеджного посёлка «Белый парус».

9.8 Ограничители перенапряжения

Выбирается ОПНп-6/7,2/10/1(2) УХЛ2 с полимерной изоляцией на напряжение 6 кВ для установки на ПС Шмидтовка в КРУ-6 кВ, [13].

Ссылаясь на [15], обосновано использование следующего расчётного выражения для выбора ОПН 6 кВ по наибольшему длительному рабочему напряжению для ПС Шмидтовка в ходе проектирования:

$$U_{HP} \geq 1,02 - 1,05 \cdot U_{HC}, \quad (73)$$

$$6,9 \geq 1,05 \cdot 6 = 6,3 \text{ кВ},$$

где U_{HP} - наибольшее длительно допустимое рабочее напряжение ОПНп-6/7,2/10/1(2) УХЛ2, 6,9 кВ;

U_{HC} - наибольшее рабочее фазное напряжение сети коттеджного поселка Белый парус, 6 кВ.

Ссылаясь на [15], обосновано использование следующего расчётного выражения для выбора ОПН 6 кВ по соответствию эквивалентному напряжению для ПС Шмидтовка в ходе проектирования:

$$U_{ном} \geq U_k \cdot \left(\frac{T_k}{10}\right)^m, \quad (74)$$

$$8,6 \geq 9 \cdot \left(\frac{3}{10}\right)^{0,2} = 7,1 \text{ кВ},$$

где $U_{ном}$ - номинальное напряжение ОПНп-6/7,2/10/1(2) УХЛ2, 8,6 кВ;

U_k - амплитуда квазистационарного перенапряжения, в сети 6 кВ поселка Белый парус сброс нагрузки приведёт к перенапряжению кратностью 1,5 от номинального;

T_k - продолжительность квазистационарного перенапряжения в сети 6 кВ поселка Белый парус при сбросе нагрузки, 3 с;

m - среднее значение коэффициента ОПН, 0,02.

Ссылаясь на [15], обосновано использование следующего расчётного выражения для выбора ОПН 6 кВ по разрядному току для ПС Шмидтовка в ходе проектирования:

$$I_{ном P} \geq 5 \text{ кА},$$

$$10 \text{ кА} \geq 5 \text{ кА},$$

где $I_{ном P}$ – номинальный разрядный ток ОПНп-6/7,2/10/1(2) УХЛ2, 10 кА.

Ссылаясь на [15], обосновано использование следующего расчётного выражения для выбора ОПН 6 кВ по классу и соответствующей энергоемкости для ПС Шмидтовка в ходе проектирования:

$$W = 2 \cdot U_{эк} \cdot (U_{п} - U_{эк}) \cdot \frac{T_B}{Z}, \quad (75)$$

$$W = 2 \cdot 19,2 \cdot (3,5 \cdot 6 - 19,2) \cdot \frac{7,94}{30} = 18,3 \text{ кДж},$$

$$W_{уд} = \frac{W}{U_{ном}}; \quad (76)$$

$$W_{уд} = \frac{18,3}{6} = 3,1 \text{ кДж/кВ};$$

где $U_{п}$ - амплитуда напряжения ОПН для диапазона 2%-ных перенапряжений, 3,5 от номинального значения 6 кВ;

$U_{эк}$ - остающееся напряжение ОПН при разрядном токе 10 кА, 19,2 кВ;

Z – волновое сопротивление ВЛ от ПС Шмидтовка, равное 30 Ом;

T – время распространения электромагнитной волны по ВЛ от ПС Шмидтовка до ТП-1, 7,94 мкс.

Ссылаясь на [15], обосновано использование следующего расчётного выражения для выбора ОПН 6 кВ по условию обеспечения взрывобезопасности для ПС Шмидтовка в ходе проектирования:

$$I_{ВБ} \geq 1,2 \cdot I_{КЗ}, \quad (77)$$

$$20 \text{ кА} > 1,2 \cdot 12,5 = 15 \text{ кА},$$

где $I_{ВБ}$ – ток взрывобезопасности ОПНп-6/7,2/10/1(2) УХЛ2, 20 кА;

$I_{КЗ}$ – величина тока КЗ на стороне 6 кВ ПС Шмидтовка, 12,5 кА.

Ссылаясь на [15], обосновано использование следующего расчётного выражения для выбора ОПН 6 кВ по уровню ограничения коммутационных перенапряжений для ПС Шмидтовка в ходе проектирования:

$$U_{ост} \leq U_{ки} / (1,15-1,20), \quad (78)$$

$$U_{ки} = K_{и} \cdot K_{к} \cdot \sqrt{2} \cdot U_{исп}, \quad (79)$$

$$U_{ки} = 1,35 \cdot 0,9 \cdot \sqrt{2} \cdot 57 = 97,7 \text{ кВ};$$

$$19,2 \text{ кВ} < 97,7 / 1,2 = 81,4 \text{ кВ},$$

где $U_{ост}$ – остающееся напряжение ОПНп-6/7,2/10/1(2) УХЛ2 при волнах тока 30/60 мкс амплитудой 1000 А, 19,2 кВ;

$U_{исп}$ – испытательное напряжение ВЛ-6 кВ, 57 кВ;

$K_{и}$ – коэффициент импульса, 1,35;

$K_{к}$ – коэффициент куммулятивности, 0,9.

Ссылаясь на [15], обосновано использование следующего расчётного выражения для выбора ОПН 6 кВ по уровню ограничения грозových перенапряжений для ПС Шмидтовка в ходе проектирования:

$$(U_{ИСП гр} - U_{Ост.ОПН6}) / U_{ИСП гр} > 0,2-0,25; \quad (80)$$

$$(57-25) / 57 = 0,56 > 0,2-0,25,$$

где $U_{Ост.ОПН6}$ – остающееся напряжение при токе грозových перенапряжений с амплитудой 10 кА, 25 кВ;

$U_{ИСП гр}$ – значение грозového импульса, 57 кВ.

Полученные результаты выбора и проверки ОПН 6 кВ по аналогии для похожих вычислений разделяются по расчётным условиям и заносятся в таблицу 30.

Таблица 30– Результаты выбора и проверки ОПН 6 кВ ПС Шмидтовка

Расчетные данные	Каталожные данные	Условия выбора
$U_{ном} = 6 \text{ кВ}$ $3,1 \text{ кДж/кВ}$	$U_{уст} = 6 \text{ кВ}$ класс энергоемкости 2	$U_{ном} \geq U_{уст}$ $3,1 \geq 2$

На стороне 6 кВ ПС Шмидтовка ОПН 6 кВ ОПНп-6/7,2/10/1(2) УХЛ2 соответствуют всем условиям выбора и проверки для дальнейшего подключения системы электроснабжения 6 кВ коттеджного посёлка «Белый парус».

9.9 Шины 6 кВ

Принимаются однополюсные алюминиевые шины прямоугольного сечения А 100×10 мм², расположение шин плашмя.

Ссылаясь на [26], обосновано использование следующего расчётного выражения для проверки шин КРУ 6 кВ по термической стойкости для ячейки КРУ линии ЦП-ТП1-ТП2-ТП6 в ходе проектирования

$$q_{\min} = \frac{\sqrt{Bk}}{C}; \quad (81)$$

$$q_{\min} = \frac{\sqrt{8 \cdot 10^6}}{91} = 31 \text{ мм}^2.$$

Ссылаясь на [26], обосновано использование следующих расчётных выражений для проверки шин КРУ 6 кВ по частоте собственных колебаний для линии ЦП-ТП1-ТП2-ТП6 в ходе проектирования:

$$l = \sqrt{\frac{173.2}{200} \cdot \sqrt{\frac{J}{q}}}, \quad (82)$$

$$l = \sqrt{\frac{173.2}{200} \cdot \sqrt{\frac{8333}{1000}}} = 1,58 \text{ м},$$

$$J = \frac{b \cdot h^3}{12}; \quad (83)$$

$$J = \frac{100 \cdot 10^3}{12} = 8333 \text{ мм}^4;$$

$$l_{\text{факт}} \leq l; \quad (84)$$

$$0,7 \text{ м} \leq 1,58 \text{ м};$$

где $l_{\text{факт}}$ - длина пролёта между осями опорных изоляторов в КРУ-2-6Э, 0,7 м;

b - ширина полосы шины, 100 мм;

h - толщина полосы шины, 10 мм;

q - поперечное сечение шины, 1000 мм².

Ссылаясь на [26], обосновано использование следующих расчётных выражений для проверки шин КРУ 6 кВ по механической устойчивости к ударному току КЗ для линии ЦП-ТП1-ТП2-ТП6 в ходе проектирования:

$$\sigma_{расч} = \sqrt{3} \cdot 10^{-8} \cdot \frac{i_{уд}^2 \cdot l^2}{W \cdot a}, \quad (85)$$

$$\sigma_{расч} = \sqrt{3} \cdot 10^{-8} \cdot \frac{2500^2 \cdot 0,7^2}{0,017 \cdot 0,3} = 11 \text{ МПа},$$

$$W = \frac{b^2 \cdot h}{6}; \quad (86)$$

$$W = \frac{1^2 \cdot 0,1}{6} = 0,017 \text{ см}^3,$$

$$\sigma_{доп} \geq \sigma_{расч}; \quad (87)$$

$$75 \text{ МПа} \geq 11 \text{ МПа};$$

где а - расстояние между фазами, 0,3 м.

Полученные результаты выбора и проверки шин КРУ 6 кВ по аналогии для похожих вычислений разделяются по расчётным условиям и заносятся в таблицу 31.

Таблица 31– Результаты выбора и проверки шин КРУ 6 кВ ПС Шмидтовка

Расчётные данные	Справочные данные	Условия выбора
ВЛ 6 кВ Шмидтовка-ТП3-ТП4-ТП5		
$I_{\max} = 158 \text{ А}$ $\sigma_{расч} = 11 \text{ МПа}$ $q_{\min} = 31 \text{ мм}^2$	$I_{\text{доп}} = 1820 \text{ А}$ $\sigma_{\text{доп}} = 75 \text{ МПа}$ $q = 1000 \text{ мм}^2$	$I_{\text{доп}} \geq I_{\max}$ $\sigma_{\text{доп}} \geq \sigma_{расч}$ $q \geq q_{\min}$
ВЛ 6 кВ Шмидтовка-ТП1-ТП2-ТП6		
$I_{\max} = 158 \text{ А}$ $\sigma_{расч} = 17,5 \text{ МПа}$ $q_{\min} = 27 \text{ мм}^2$	$I_{\text{доп}} = 1820 \text{ А}$ $\sigma_{\text{доп}} = 75 \text{ МПа}$ $q = 1000 \text{ мм}^2$	$I_{\text{доп}} \geq I_{\max}$ $\sigma_{\text{доп}} \geq \sigma_{расч}$ $q \geq q_{\min}$

На стороне 6 кВ ПС Шмидтовка шины КРУ-6 кВ марки А 100x10 соответствуют всем условиям выбора и проверки для дальнейшего подключения системы электроснабжения 6 кВ коттеджного посёлка «Белый парус».

9.10 Опорные изоляторы

Выбираем опорные изоляторы марки ОНШП-10-20 УХЛ1.

Ссылаясь на [26], обосновано использование следующих расчётных выражений для проверки изоляторов КРУ 6 кВ по механической прочности к ударному току КЗ для линии ПС Шмидтовка-ТП1-ТП2-ТП6 в ходе проектирования:

$$F_{расч} = \sqrt{3} \frac{i_{yo}^2 \cdot l}{a} \cdot 10^{-7}, \quad (88)$$

$$F_{расч} = \sqrt{3} \cdot \frac{2500^2 \cdot 0.7}{0.3} \cdot 10^{-7} = 2,6 \text{ Н};$$

$$F_{доп} = 0.6 \cdot F_{разр}. \quad (89)$$

$$F_{доп} = 0.6 \cdot 3000 = 1800 \text{ Н}.$$

$$F_{доп} \geq F_{расч}; \quad (90)$$

$$1800 \text{ Н} \geq 2,6 \text{ Н}.$$

Полученные результаты выбора и проверки изоляторов КРУ 6 кВ по аналогии для похожих вычислений разделяются по расчётным условиям и заносятся в таблицу 32.

Таблица 32– Выбор и проверка изоляторов КРУ 6 кВ ПС Шмидтовка

Справочные данные	Расчётные данные	Условия выбора
ВЛ 6 кВ Шмидтовка-ТП3-ТП4-ТП5		
$U_{ном} = 6 \text{ кВ}$ $F_{доп} = 1800 \text{ Н}$	$U_{уст} = 6 \text{ кВ}$ $F_{расч} = 2,6 \text{ Н}$	$U_{ном} \geq U_{уст}$ $S_{2\Sigma} \leq S_{ном}$
ВЛ 6 кВ Шмидтовка-ТП1-ТП2-ТП6		
$U_{ном} = 6 \text{ кВ}$ $F_{доп} = 1800 \text{ Н}$	$U_{уст} = 6 \text{ кВ}$ $F_{расч} = 4,2 \text{ Н}$	$U_{ном} \geq U_{уст}$ $S_{2\Sigma} \leq S_{ном}$

На стороне 6 кВ ПС Шмидтовка изоляторы КРУ-6 кВ соответствуют всем условиям выбора и проверки для дальнейшего подключения системы электропитания 6 кВ коттеджного посёлка «Белый парус».

9.11 Проверка линий 6 кВ

Ссылаясь на [26], обосновано использование следующих расчётных выражений для проверки линии 6 кВ до ТП1 по термической стойкости в ходе проектирования:

$$B_k = I_{по}^{(3)2} \cdot t_{п} , \quad (91)$$

$$B_k = 2,27^2 \cdot (0,045 + 0,01 + 1,5) = 8 \text{ кА}^2\text{с},$$

$$F_{\min} = \frac{\sqrt{B_k}}{C_T} , \quad (92)$$

$$F_{\min} = \frac{\sqrt{8 \cdot 1000000}}{95} = 30 \text{ мм}^2.$$

Полученные результаты выбора и проверки линий 6 кВ по аналогии для похожих вычислений заносятся в таблицу 33.

Таблица 33 – Проверка сечений линий 6 кВ

Линия	$I_{по}^{(3)}$, кА	t_I , с	K_T	F_{\min} , мм ²	$F_{СИПЗ \text{ факт}}$, мм ²
ЦП-ТП5-ТП3					
ближняя ТП 3	1,78	(0,045 + 0,01 + 1,5)	95	23,3	35
дальняя ТП 5	1,41	(0,045 + 0,01 + 3,0)	95	26	35
ЦП-ТП2-ТП4					
ближняя ТП 1	2,27	(0,045 + 0,01 + 1,5)	95	30	35
дальняя ТП 6	1,56	(0,045 + 0,01 + 3,0)	95	29	35

Линии 6 кВ, выполненные проводом СИП-3 3х35 соответствуют всем условиям выбора и проверки для дальнейшего подключения системы электропитания 6 кВ коттеджного посёлка «Белый парус».

10 НАГРУЗКА ЦЕНТРА ПИТАНИЯ

10.1 Подключаемая нагрузка

Ссылаясь на [5], обосновано использование следующего расчётного выражения для расчёта нагрузки ЦП на стороне 6 кВ в ходе проектирования:

$$P_{P\text{ЦП}} = \kappa_{\text{совм}} \cdot (P_{P\text{ТП1}} + P_{P\text{ТП2}} + P_{P\text{ТП3}} + P_{P\text{ТП4}} + P_{P\text{ТП5}} + P_{P\text{ТП6}}), \quad (93)$$

$$P_{P\text{ЦП}} = 0,8 \cdot (1954) = 1563 \text{ кВт},$$

$$Q_{P\text{ЦП}} = \kappa_{\text{совм}} \cdot (Q_{P\text{ТП1}} + Q_{P\text{ТП2}} + Q_{P\text{ТП3}} + Q_{P\text{ТП4}} + Q_{P\text{ТП5}} + Q_{P\text{ТП6}}), \quad (94)$$

$$Q_{P\text{ЦП}} = 0,8 \cdot (626) = 501 \text{ квар};$$

$$S_{P\text{ЦП}} = \sqrt{P_{P\text{ЦП}}^2 + Q_{P\text{ЦП}}^2}, \quad (95)$$

$$S_{P\text{ЦП}} = \sqrt{1563^2 + 501^2} = 1642 \text{ кВА};$$

где $\kappa_{\text{совм}}$ - коэффициент совмещения максимумов нагрузок трансформаторов, 0,8 [5].

10.2 Проверка загрузки силовых трансформаторов ПС Шмидтовка

Ссылаясь на [26], обосновано использование следующих расчётных выражений для проверки загрузки силовых трансформаторов ПС Шмидтовка в ходе проектирования:

$$P_{P\text{ТР}} = P_{P\text{ЦП}} + P_{\text{макс}} + P_{\text{пер}}, \quad (96)$$

$$P_{P\text{ТР}} = 1563 + 3808 + 4910 = 10281 \text{ кВт},$$

$$Q_{P\ TP} = Q_{P\ ЦП} + Q_{\max} + Q_{\text{пер}}, \quad (97)$$

$$Q_{P\ ЦП} = 501 + 630 + 1964 = 3095 \text{ квар};$$

$$S_{P\ TP} = \sqrt{P_{P\ TP}^2 + Q_{P\ TP}^2}, \quad (98)$$

$$S_{P\ TP} = \sqrt{10281^2 + 3095^2} = 10737 \text{ кВА};$$

$$K_3 = S_{P\ TP} / S_{TP\ \text{факт}}; \quad (99)$$

$$K_3 = 10737 / 5000 = 2,15;$$

где $S_{TP\ \text{факт}}$ - фактическая номинальная мощность установленных на ПС Шмидтовка силовых трансформаторов ТМН-2500/35, 2 шт, 5000 кВА;

P_{\max} - активная нагрузка на ПС Шмидтовка по результату контрольного хамера 2022 года, 3808 кВт;

$P_{\text{пер}}$ - перспективная активная нагрузка по договорам технологического присоединения, 4910 кВт;

Q_{\max} реактивная нагрузка на ПС Шмидтовка по результату контрольного хамера 2022 года, 630 квар;

$Q_{\text{пер}}$ - перспективная реактивная нагрузка по договорам технологического присоединения, 1964 квар.

В результате расчётов получено, что ПС Шмидтовка перегружена на 215% на ближайшую перспективу, необходимо заменить силовые трансформаторы на ПС Шмидтовка.

Ссылаясь на [26], обосновано использование следующего расчётного выражения для расчёта перспективной мощности трансформаторов ПС Шмидтовка в ходе проектирования:

$$S_P = \frac{S_{P\ TP}}{n_T \cdot K_3^{OПT}}, \quad (100)$$

$$S_P = \frac{10737}{2 \cdot 0,7} = 7669 \text{ кВА},$$

где n_T - число трансформаторов, принимаем 2 при наличии 2, 3й категории потребителей по надежности и бесперебойности электроснабжения;

$K_3^{OПT}$ - коэффициент загрузки, принимаем 0,7.

Ближайшее большее значение номинально мощности трансформаторов ТМН-10000/35:

$$S_{НОМТР} = 10000 \text{ кВА}.$$

Ссылаясь на [26], обосновано использование следующего расчётного выражения для расчёта нормальной загрузки трансформаторов ПС Шмидтовка в ходе проектирования:

$$K_{3\text{ норм}} = \frac{S_P}{S_{НОМТР} \cdot N_{ТР}} \geq 0,5 ; \quad (101)$$

$$K_{3\text{ норм}} = \frac{10737}{10000 \cdot 2} = 0,54 \geq 0,5 .$$

Ссылаясь на [26], обосновано использование следующего расчётного выражения для расчёта послеаварийной загрузки трансформаторов ПС Шмидтовка в ходе проектирования:

$$K_{3\text{ на}} = \frac{S_P}{S_{НОМТР} \cdot (N_{ТР} - 1)} \leq 1,5 ; \quad (102)$$

$$K_{3na} = \frac{10737}{10000 \cdot 1} = 1,07 \leq 1,5 .$$

В результате расчётов получено, что замена существующих трансформаторов на ПС Шмидтовка ТМН-2500/35 на большее значение номинально мощности трансформаторов ТМН-10000/35 позволит покрыть дефицит присоединяемой мощности на ближайшую перспективу до 2030 года.

10.3 Компенсация реактивной мощности

Ссылаясь на [26], обосновано использование следующего расчётного выражения для расчёта требуемой реактивной мощности ЦП на стороне 6 кВ в ходе проектирования:

$$Q_{KV} = Q_P - P_P \cdot tg\phi_{\Sigma}, \quad (103)$$

$$Q_{KV} = 3095 - 10281 \cdot 0,4 = -1017 \text{ квар} ,$$

где $tg\phi_{\Sigma}$ - допустимый коэффициент реактивной мощности, 0,4 [17].

В результате расчётов получено, что после замены существующих трансформаторов на ПС Шмидтовка ТМН-2500/35 на большее значение номинально мощности трансформаторов ТМН-10000/35 компенсация реактивной мощности не требуется.

11 КОМПЕНСАЦИЯ ЕМКОСТНЫХ ТОКОВ

Ссылаясь на [18], обосновано использование следующего расчётного выражения оценки величины ёмкостного тока сети 6 кВ в ходе проектирования:

$$I_c = \frac{1,35 \cdot U_H \cdot L_K}{180}; \quad (104)$$

$$I_c = \frac{1,35 \cdot 6 \cdot 5,1}{180} = 0,17 \text{ A};$$

$$I_c \leq I_{c \text{ норм}}; \quad (105)$$

$$0,17 \text{ A} \leq 10 \text{ A};$$

где U_H – номинальное напряжение сети, 6 кВ;

L_K – суммарная длина ВЛ, 5,1 км;

$I_{c \text{ норм}}$ - нормируемая величина емкостного тока замыкания на землю, 10 А.

12 РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА

Защита ВЛ-6 кВ ПС Шмидтовка выполняется на комбинированных микропроцессорных терминалах релейной защиты и автоматики Сириус-2-Л, которые широко используются для функций релейной защиты ВЛ 6 кВ, автоматики ввода резерва 6 кВ, управления и сигнализации замыканий на землю присоединений напряжением 6 кВ.

12.1 Токовая отсечка без выдержки времени

Ссылаясь на [20], обосновано использование следующего расчётного выражения для расчёта коэффициента трансформации трансформатора тока 6 кВ для линии ПС Шмидтовка-ТП3-ТП4-ТП5 в ходе проектирования:

$$n_T = \frac{I_{ТТВН}}{I_{ТТНН}}, \quad (105)$$

$$n_T = \frac{200}{5} = 40 .$$

Ссылаясь на [20], обосновано использование следующего расчётного выражения для расчёта первичного тока срабатывания токовой отсечки для линии ПС Шмидтовка-ТП3-ТП4-ТП5 в ходе проектирования:

$$I_{с.з.} = k_n \cdot I_{к.мах}^{(3)}, \quad (106)$$

$$I_{с.з.} = 1,1 \cdot 1,78 = 2 \text{ кА},$$

где k_n – коэффициент надежности, 1,1, [20];

$I_{к.мах}^{(3)}$ – ток трехфазного короткого замыкания на стороне 6 кВ ТП3.

Ссылаясь на [20], обосновано использование следующего расчётного выражения для расчёта чувствительности токовой отсечки для линии ПС Шмидтовка-ТП3-ТП4-ТП5 в ходе проектирования:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{кз}}^{(2)}}{I_{\text{с.з.}}}, \quad (107)$$

$$K_{\text{ч}} = \frac{1,23}{2} = 0,63 \leq 2,$$

где $I_{\text{кз}}^{(2)}$ – ток двухфазного короткого замыкания на стороне 6 кВ ТП5.

Ссылаясь на [20], обосновано использование следующего расчётного выражения для расчёта вторичного тока срабатывания токовой отсечки для линии ПС Шмидтовка-ТП3-ТП4-ТП5 в ходе проектирования:

$$I_{\text{с.р.}} = k_{\text{сх}} \frac{I_{\text{с.з.}}}{n_{\text{T}}}, \quad (108)$$

$$I_{\text{с.р.}} = 1 \cdot \frac{2000}{40} = 60 \text{ А}.$$

Ссылаясь на [20], обосновано использование следующего расчётного выражения для расчёта выдержки времени токовой отсечки для линии ПС Шмидтовка-ТП3-ТП4-ТП5 в ходе проектирования:

$$t_{\text{с.з.тО}} = 0 \text{ с}.$$

Полученные результаты расчёта токовой отсечки линий 6 кВ ПС Шмидтовка по аналогии для похожих вычислений разделяются по ВЛ-6 кВ и заносятся в таблицу 34.

Таблица 34– Токовая отсечка линий 6 кВ ПС Шмидтовка

Линия	$I_{(3)\text{по}}$, кА	$I_{(2)\text{по}}$, кА	$I_{\text{р}}$, А	$I_{\text{н тт}}$, А	$I_{\text{с.з.}}$ кА	n_{T}	$I_{\text{с.р.}}$ А	$K_{\text{ч}}$
ЦП-ТП3-ТП4-ТП5	1,78	1,23	123	150	1,963	30	65	0,63
ЦП-ТП1-ТП2-ТП6	2,27	1,36	55	150	2,500	30	83	0,54

12.2 Максимальная токовая защита линий

Ссылаясь на [19], обосновано использование следующего расчётного выражения для расчёта первичного тока срабатывания максимальной токовой защиты для линии ПС Шмидтовка-ТП3-ТП4-ТП5 в ходе проектирования:

$$I_{с.з.} = I_{раб.} \cdot k_H \cdot k_{с.з.} / k_{в}, \quad (109)$$

$$I_{с.з.} = 0,2 \cdot 1,1 \cdot 1 / 0,95 = 0,232 \text{ кА},$$

где k_H – коэффициент учёта надёжности терминала, 1,1, [19];

$k_{с.з.}$ – коэффициент заглубления при условии запуска двигателей 0,4-6 кВ, 1, [19];

$k_{в}$ – коэффициент возврата при работе терминала, 0,95, [19];

$I_{раб.}$ – максимальный ток линии ПС Шмидтовка-ТП3-ТП4-ТП5, 200 А.

Ссылаясь на [19], обосновано использование следующего расчётного выражения для расчёта вторичного тока срабатывания максимальной токовой защиты для линии ПС Шмидтовка-ТП3-ТП4-ТП5 в ходе проектирования:

$$I_{с.р.} = I_{с.з.} \cdot k_{сх} / n_T, \quad (110)$$

$$I_{с.р.} = 232 \cdot 1 / (40) = 6 \text{ А}.$$

где $k_{сх}$ – коэффициент схемы, 1, [19].

Ссылаясь на [19], обосновано использование следующего расчётного выражения для расчёта чувствительности максимальной токовой защиты для линии ПС Шмидтовка-ТП3-ТП4-ТП5 в ходе проектирования:

$$K_{ч} = \frac{I_{кз}^{(2)}}{I_{с.з.}}, \quad (111)$$

$$K_{\text{ч}} = \frac{2}{0.232} = 5 \geq 1,5 .$$

Ссылаясь на [19], обосновано использование следующего расчётного выражения для расчёта выдержки времени максимальной токовой защиты первой и второй ступени для линии ПС Шмидтовка-ТП3-ТП4-ТП5 в ходе проектирования:

$$t_{\text{с.з.МТЗ1}} = 0 \text{ с},$$

$$t_{\text{с.з.МТЗ2}} = t_{\text{р.з.}} + \Delta t + t_{\text{с.з.МТЗ1}}, \quad (112)$$

$$t_{\text{с.з.МТЗ2}} = 0,01 + 0,5 + 0 = 0,51 \text{ с},$$

где $t_{\text{с.з.МТЗ1}}$ – время срабатывания МТЗ ВЛ 6 кВ первой ступени;

Δt – выдержка времени, 0,5 с;

$t_{\text{р.з.}}$ - время срабатывания терминала, 0,01 с.

Полученные результаты расчёта максимальной токовой защиты линий 6 кВ ПС Шмидтовка по аналогии для похожих вычислений разделяются по ВЛ-6 кВ и заносятся в таблицу 35.

Таблица 35– Максимальная токовая защита линий 6 кВ ПС Шмидтовка

Линия	$I_{(3)\text{по}}$, кА	$I_{(2)\text{по}}$, кА	$I_{\text{р}}$, А	$I_{\text{н тт}}$, А	$I_{\text{с.з.}}$ кА	$I_{\text{с.р.}}$ А	$K_{\text{ч}}$
ЦП-ТП3-ТП4-ТП5	1,78	1,23	123	150	0,232	8	5
ЦП-ТП1-ТП2-ТП6	2,27	1,36	55	150	0,232	8	6

12.3 Защита от однофазных замыканий на землю

Ссылаясь на [19], обосновано использование следующего расчётного выражения для расчёта тока замыкания на землю линии ПС Шмидтовка-ТП3-ТП4-ТП5 в ходе проектирования:

$$I_{повр.л} = \frac{1,35 \cdot U_H \cdot L_K}{180}; \quad (113)$$

$$I_{повр.л} = \frac{1,35 \cdot 6 \cdot 2,6}{180} = 0,09 \text{ А.}$$

Ссылаясь на [19], обосновано использование следующего расчётного выражения для расчёта тока замыкания на землю поврежденного участка линии ПС Шмидтовка-ТП3-ТП4-ТП5 в ходе проектирования:

$$I_{ТНП.повр.л} = I_c - I_{повр.л}, \quad (114)$$

$$I_{ТНП.повр.л} = 0,17 - 0,09 = 0,08 \text{ А.}$$

Ссылаясь на [19], обосновано использование следующего расчётного выражения для расчёта тока срабатывания защиты от замыкания на землю линии ПС Шмидтовка-ТП3-ТП4-ТП5 в ходе проектирования:

$$I_{с.з.} = I_{ТНП.повр.л} / k_{ч} \quad (115)$$

$$I_{с.з.} = 0,08 / 1,5 = 0,06 \text{ А.}$$

Полученные результаты расчёта защиты от замыкания на землю линий 6 кВ ПС Шмидтовка по аналогии для похожих вычислений разделяются по ВЛ-6 кВ и заносятся в таблицу 36.

Таблица 36– Защита от замыкания на землю линий 6 кВ ПС Шмидтовка

Линия	$I_{повр.л}$, А	$I_{ТНП.повр.л}$, А	$I_{с.з.}$, А
ЦП-ТП3-ТП4-ТП5	0,09	0,08	0,06
ЦП-ТП1-ТП2-ТП6	0,08	0,09	0,06

12.4 Устройства автоматического включения резерва

Ссылаясь на [20], обосновано использование следующего расчётного выражения для расчёта напряжения срабатывания пусковых органов автоматического включения резерва вводных выключателей 6 кВ ПС Шмидтовка в ходе проектирования:

$$U_{с.з.} = (0,25 \div 0,40) \cdot U_{НОМ}; \quad (116)$$

$$U_{с.з.} = 0,4 \cdot 6000 = 240 \text{ В.}$$

Ссылаясь на [20], обосновано использование следующего расчётного выражения для расчёта выдержки времени срабатывания пусковых органов автоматического включения резерва вводных выключателей 6 кВ ПС Шмидтовка в ходе проектирования:

$$t_{с.з.АВР} = t_{р.з.} + \Delta t + t_{с.з.МТЗ2}; \quad (117)$$

$$t_{с.з.АВР} = 0,01 + 0,5 + 0,51 = 1,02 \text{ с,}$$

где $t_{с.з.МТЗ}$ – время срабатывания второй ступени МТЗ;

Δt – выдержка времени, 0,5 с;

$t_{р.з.}$ - время срабатывания терминала, 0,01 с.

12.5 Устройство автоматической частотной разгрузки

Автоматическая частотная нагрузка на ПС Шмидтовка настраивается на работу для предотвращения глубокого снижения частоты.

Ссылаясь на [20], обосновано использование следующего расчётного выражения для расчёта частоты срабатывания пусковых органов автоматической частотной разгрузки на стороне 6 кВ ПС Шмидтовка в ходе проектирования:

$$f_{с.з.АЧР} = 48 \text{ Гц.}$$

Ссылаясь на [20], обосновано использование следующего расчётного выражения для расчёта выдержки времени срабатывания пусковых органов автоматической частотной разгрузки на стороне 6 кВ ПС Шмидтовка в ходе проектирования:

$$t_{с.з.АЧР} = 0,3 \text{ с.}$$

12.6 Устройство автоматического повторного включения

Ссылаясь на [20], обосновано использование следующего расчётного выражения для расчёта выдержки времени срабатывания пусковых органов автоматического повторного включения первой ступени ВЛ 6 кВ ПС Шмидтовка в ходе проектирования:

$$t_{с.з.АПВ1} \geq 0,8 \text{ с,}$$

$$3 \text{ с} \geq 0,8 \text{ с,}$$

Ссылаясь на [20], обосновано использование следующего расчётного выражения для расчёта выдержки времени срабатывания пусковых органов автоматического повторного включения второй ступени ВЛ 6 кВ ПС Шмидтовка в ходе проектирования:

$$t_{с.з.АПВ2} \geq t_{с.з.АПВ1} + t_{р.з.} + \Delta t + t_{с.з.МТЗ2}, \quad (118)$$

$$15 \text{ с} \geq 3 + 0,01 + 10 + 0,51 = 13,52 \text{ с,}$$

где Δt – выдержка времени, 10 с;

$t_{р.з.}$ - время срабатывания терминала, 0,01 с.

13 ЗАЗЕМЛЕНИЕ

Выполняется заземляющее устройство ТП-1 в виде системы из вертикальных стальных электродов диаметром 10 мм, длиной 2 м. Горизонтальные электроды прокладываются по периметру здания ТП и выполнены из того же материала, что и вертикальные электроды. Тип соединения электродов – сварное, глубина заложения идентичная, 0,7 м.

Ссылаясь на [15], обосновано использование следующего расчётного выражения для расчёта стационарного сопротивления одного вертикального электрода ТП-1 в ходе проектирования:

$$R_{ЭВ} = \frac{\rho_{\text{грунт}}}{\pi \cdot 2 \cdot l_B} \cdot \ln \left[\frac{4 \cdot l_B \cdot (2 \cdot h_3 + l_B)}{d \cdot (4 \cdot h_3 + l_B)} \right], \quad (119)$$

$$R_{ЭВ} = \frac{80}{\pi \cdot 2 \cdot 2} \cdot \ln \left[\frac{4 \cdot 2 \cdot (2 \cdot 0,7 + 2)}{0,02 \cdot (4 \cdot 0,7 + 2)} \right] = 17 \text{ Ом},$$

где l_B - длина вертикального электрода, 2 м;

h_3 - глубина заложения заземлителя, 0,7 м;

$\rho_{\text{грунт}}$ - удельное сопротивление грунта, 80 Ом·м;

d - диаметр электродов, 0,02 м.

Ссылаясь на [15], обосновано использование следующего расчётного выражения для расчёта стационарного сопротивления одного горизонтального электрода ТП-1 в ходе проектирования:

$$R_{ЭГ} = \frac{\rho_{\text{грунт}}}{\pi \cdot l} \cdot \ln \left[\frac{1,5 \cdot l}{\sqrt{2 \cdot d \cdot h_3}} \right], \quad (120)$$

$$R_{ЭГ} = \frac{80}{\pi \cdot 2} \cdot \ln \left[\frac{1,5 \cdot 2}{\sqrt{2 \cdot 0,02 \cdot 0,7}} \right] = 18 \text{ Ом},$$

где l – длина горизонтального электрода, 2 м.

Ссылаясь на [15], обосновано использование следующего расчётного выражения для расчёта общего стационарного сопротивления ТП-1 в ходе проектирования:

$$R_{cm} = \frac{R_{\text{ЭВ}} \cdot R_{\text{ЭГ}}}{\eta \cdot (n_B \cdot R_{\text{ЭГ}} + n_G \cdot R_{\text{ЭВ}})}, \quad (121)$$

$$R_{cm} = \frac{17 \cdot 18}{0,75 \cdot (2 \cdot 17 + 4 \cdot 18)} = 4 \text{ Ом} ,$$

где η - коэффициент использования заземлителя ТП-1, ввиду сложного характера процесса растекания тока молнии по причине взаимного экранирования электродов, 0,75;

n_B - для ТП-1 число электродов вертикального расположенных;

n_G - для ТП-1 число электродов горизонтально расположенных;

Ссылаясь на [15], обосновано использование следующего расчётного выражения для расчёта импульсного сопротивления одного вертикального электрода ТП-1 в ходе проектирования:

$$R_{uB} = \frac{\alpha_{uB} \cdot R_{\text{ЭВ}}}{\eta \cdot n_B}, \quad (122)$$

$$R_{uB} = \frac{1 \cdot 17}{0,75 \cdot 2} = 11 \text{ Ом} ,$$

где α_{uB} - импульсный коэффициент вертикального электрода, 1.

Ссылаясь на [15], обосновано использование следующего расчётного выражения для расчёта удельной индуктивности протяженного заземлителя ТП-1 в ходе проектирования:

$$L_o = 0,2 \cdot \left(\ln \frac{l}{r} - 0,31 \right), \quad (123)$$

$$L_o = 0,2 \cdot \left(\ln \frac{2}{0,01} - 0,31 \right) = 1 \text{ мкГн/м}.$$

Ссылаясь на [15], обосновано использование следующего расчётного выражения для расчёта импульсного коэффициента протяженного заземлителя ТП-1 в ходе проектирования:

$$\alpha_{u\Gamma} = 1 + \frac{L_o \cdot l}{3 \cdot \tau_\phi \cdot R_{\text{эГ}}}, \quad (124)$$

$$\alpha_{u\Gamma} = 1 + \frac{1 \cdot 2}{3 \cdot 2 \cdot 18} = 1,02,$$

где τ_ϕ - длительность фронта тока молнии, 2 с^{-6} .

Ссылаясь на [15], обосновано использование следующего расчётного выражения для расчёта импульсного сопротивления одного горизонтального электрода ТП-1 в ходе проектирования:

$$R_{u\Gamma} = \alpha_u \cdot R_{\text{эГ}}, \quad (125)$$

$$R_{u\Gamma} = 1,08 \cdot 18 = 19 \text{ Ом}.$$

Ссылаясь на [15], обосновано использование следующего расчётного выражения для расчёта общего импульсного сопротивления ТП-1 в ходе проектирования:

$$R_u = \frac{R_{u\Gamma} \cdot R_{uB}}{\eta_u \cdot (n_B \cdot R_{u\Gamma} + n_\Gamma \cdot R_{uB})}, \quad (126)$$

$$R_u = \frac{19 \cdot 11}{0,75 \cdot (2 \cdot 19 + 4 \cdot 11)} = 3,4 \text{ Ом} .$$

Порядок оборудования заземлителя ТП-1 показан на рисунке 8.

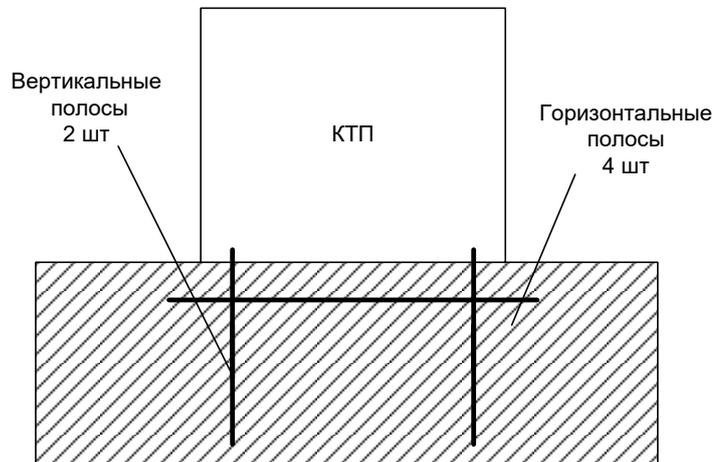


Рисунок 8 – Порядок оборудования заземлителя ТП-1

Заземлитель ТП-1 обосновано использовать в эксплуатации, так как показатели импульсного и стационарного сопротивления не превышают нормативные величины, что следует из показанных расчётных выражений для ТП-1 в ходе проектирования:

$$R_{cm} \leq R_{cm \text{ доп}} ; \tag{127}$$

$$4 \text{ Ом} \leq 4 \text{ Ом};$$

$$R_u \leq R_{u \text{ доп}} ; \tag{128}$$

$$3,4 \text{ Ом} \leq 9 \text{ Ом}.$$

14 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ

Система электроснабжения 6-0,4 кВ коттеджного поселка «Белый парус» Надеждинского муниципального района Приморского края, на стадии строительства и эксплуатации используется с соблюдением мер безопасности, которые приводятся в следующем подразделе 14.1. Подключение системы электроснабжения 6 кВ коттеджного поселка «Белый парус» осуществляется от ячеек РУ-6 кВ на ПС «Шмидтовка». В подразделе 14.2 выполняется расчёт маслоприемника ТП 6/0,4 кВ коттеджного поселка «Белый парус». В подразделе 14.3 указываются мероприятия по соблюдению пожарной безопасности при строительстве и эксплуатации системы электроснабжения 6-0,4 кВ коттеджного поселка «Белый парус».

14.1 Безопасность

К монтажу системы электроснабжения 6-0,4 кВ коттеджного поселка «Белый парус» производится допуск рабочего персонала после прохождения целевого инструктажа по технике безопасности. При монтаже системы электроснабжения 6-0,4 кВ коттеджного поселка «Белый парус» нарушения правил техники безопасности запрещены всем составом рабочего персонала. Во время работ по монтажу системы электроснабжения 6-0,4 кВ коттеджного поселка «Белый парус» используются только исправные инструменты, устройства и механизмы [27].

Безопасность в отношении персонала, обслуживающего РУ-6 кВ ПС Шмидтовка обеспечивается путём корректного выбора режима работы электрооборудования РУ-6 кВ, его параметров стойкости к токам короткого замыкания, перенапряжениям и перегрузкам.

Во время работ по монтажу электрооборудования в РУ-6 кВ ПС Шмидтовка защита от поражения электрическим током обеспечивается, так как правильно выбран класс изоляции электрооборудования по отношению к номинальному напряжению РУ-6 кВ, использованы ограничители перенапряжения 6 кВ.

Помещение РУ-6 кВ ПС Шмидтовка имеет вентиляцию, что обеспечивает в теплое время года температуру в помещении РУ-6 кВ менее 40°C, так как климатическое исполнение оборудования ячеек КРУ-6 кВ выбрано соответствующего класса климатического исполнения. Дополнительно в холодное время года предусмотрено использование устройств обогрева приводов оборудования с целью предотвратить их заклинивание и выход из строя, что создаст угрозу безопасности работников в РУ-6 кВ.

Помещение РУ-6 кВ ПС Шмидтовка снабжено защитными ограждениями вентиляционных шахт для предотвращения попадания животных в помещение РУ-6 кВ, камеры КРУ-6 кВ, кабельные каналы РУ-6 кВ. Образование цементной пыли исключается специальным устройством полового покрытия в помещении для снижения опасности скольжения и исключения негативного воздействия пыли в воздухе рабочей зоны работников при монтаже оборудования в РУ-6 кВ ПС Шмидтовка.

Ремонт и техническое обслуживание ячеек КРУ-6 кВ и иного оборудования в помещении РУ-6 кВ ПС Шмидтовка осуществляется в специальных предназначенных для этого комнатах, имеющих противопожарные средства и средства сигнализации о пожаре. Ремонтные комнаты в РУ-6 кВ ПС Шмидтовка отделяются от улицы и других помещений противопожарными перегородками [31].

Помещение РУ-6 кВ ПС Шмидтовка отделано с помощью пыленепроницаемой краски, пола, стены и потолок обработаны таким составом краски. Используются фильтры для вентиляционных шахт, задерживающие пыль при движении воздуха снаружи внутрь помещений РУ-6 кВ ПС Шмидтовка. Процесс уборки помещений РУ-6 кВ ПС Шмидтовка организован вакуумными специальными промышленными пылесосами.

В РУ-6 кВ ПС Шмидтовка кабельные каналы для укладки кабелей 6 кВ закрыты негорючими крышками, предотвращающими распространение горения изоляции кабелей. Места, в которых кабели 6 кВ проходят в соседние помещения или в пределах одного помещения производится переход прокладки на дру-

гой уровень места переходов кабелей заделываются плотным негорючим материалом на основе асбеста.

Тепловизионный контроль всего шинного и кабельного оборудования РУ-6 кВ ПС Шмидтовка организован с привлечением ответственных работников и выполняется под контролем эксплуатационного персонала ПС Шмидтовка, график контроля заполнен и утвержден по специальному порядку.

Безопасность в отношении персонала, обслуживающего РУ-6 кВ ПС Шмидтовка обеспечивается путём наличия устройств блокировки, не допускающей выполнять ошибочные действия при обслуживании ячеек КРУ-6 кВ в отношении включения разъединителей 6 кВ при включенных заземляющих ножах. Блокировочные замки в РУ-6 кВ ПС Шмидтовка с устройствами опломбирования установлены на приводах соответствующего оборудования.

Заземление в РУ-6 кВ ПС Шмидтовка выполняется стационарными заземляющими ножами во всех линейных, вводных, секционных ячейках КРУ-6 кВ. В виде переносных заземлителей в РУ-6 кВ ПС Шмидтовка при работах используются специальные проверенные комплекты заземлителей.

Рукоятки приводов заземления в РУ-6 кВ ПС Шмидтовка покрыты краской красного цвета, заземляющие ножи окрашены в черный цвет.

Безопасность в отношении персонала, обслуживающего РУ-6 кВ ПС Шмидтовка обеспечивается достаточным количеством в РУ-6 кВ ПС Шмидтовка средств по оказанию первой помощи пострадавшим от несчастных случаев, защитных средств и противопожарного оборудования.

Камеры КРУ-6 кВ ПС Шмидтовка в достаточной степени снабжены информационными надписями, содержащими наименование ячейки или камеры в соответствии с диспетчерским перечнем наименований. Диспетчерские надписи располагаются со всех сторон камер, с которых возможно проведение обслуживания оборудования.

Камеры КРУ-6 кВ ПС Шмидтовка в достаточной степени снабжены предупреждающими знаками и памятками по применению средств защиты, используемых в электроустановках.

Камеры КРУ-6 кВ ПС Шмидтовка трансформатора напряжения, где установлен предохранитель 6 кВ защиты трансформатора напряжения должны быть снабжены табличкой с указанием тока плавкой вставки предохранителя.

Камеры КРУ-6 кВ ПС Шмидтовка содержат цветовое обозначение фазной ошиновки: фаза А – желтым цветом, фаза В – зеленым цветом, фаза С – красным цветом.

Осмотр оборудования в составе работ по ремонту и техническому обслуживанию ячеек КРУ-6 кВ и иного оборудования в помещении РУ-6 кВ ПС Шмидтовка осуществляется не реже 1 раза в 6 мес.

Так как в РУ-6 кВ ПС Шмидтовка размещаются шкафы с аппаратурой устройств релейной защиты и автоматики, шкафы управления и распределительные шкафы связи и телемеханики, то для их стабильной работы устанавливаются устройства электроподогрева, которые должны быть включены в работы в случае снижения температуры окружающего воздуха ниже допустимого значения.

Камеры КРУ-6 кВ ПС Шмидтовка оборудованы указателями отключенного и включенного положений вакуумных выключателей и приводов их включения.

14.2 Экологичность

В данном подпункте экологичность работы рассчитывается в части определения параметров маслоприемника для ТП 6/0,4 кВ коттеджного поселка «Белый парус».

Проектируемые ТП 6/0,4 кВ коттеджного поселка «Белый парус» комплектуются трансформаторами следующей мощности: ТП1 – 250 кВА, ТП2 – 250 кВА, ТП3 – 2x250 кВА, ТП4 – 630 кВА, ТП5 – 2x400 кВА, ТП6 – 400 кВА. По данным завода-изготовителя, для трансформатора ТП4 ТМГ-630/6 масса масла составляет 1250 кг. По требованиям [29] для маслonaполненного трансформатора ТМГ-630/6 с массой масла более 600 кг выполняется незаглубленный маслоприемник, способный удерживать полный объем масла. Для расчёта габаритов маслоприёмника трансформатора ТМГ-630/6 используются справочные дан-

ные, графически изображенные на рисунке 9 для выбранного трансформатора ТМГ-630/6 завода изготовителя, которые представлены в [28].

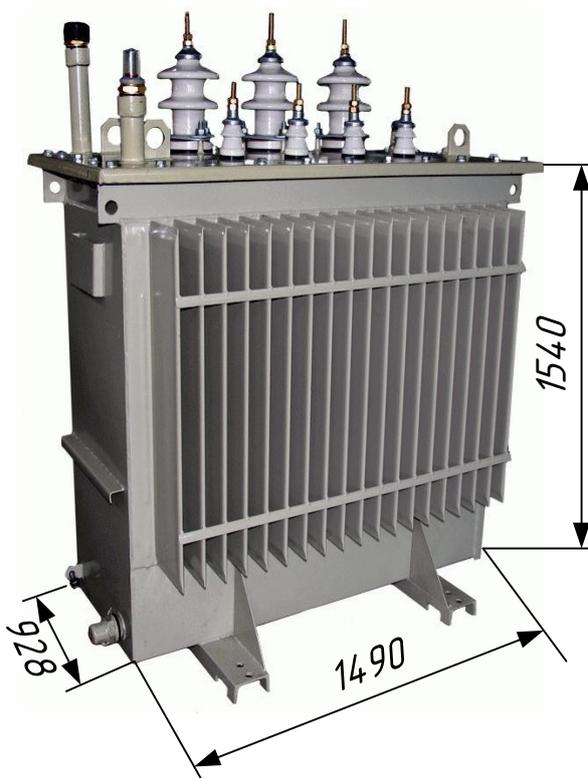


Рисунок 9 – Габаритные размеры трансформатора ТМГ-630/6

Применяется подробный порядок расчёта маслоприёмника по [30].

Расчёт площади маслоприёмника для трансформатора ТМГ-630/6 ТП4 выполняется по следующей формуле по имеющимся справочным данным, м²:

$$S_{МП} = (A + 2 \cdot \delta) \cdot (B + 2 \cdot \delta), \quad (129)$$

$$S_{МП} = (1,49 + 2 \cdot 0,2) \cdot (0,928 + 2 \cdot 0,2) = 2,51,$$

где A - габаритная длина трансформатора ТМГ-630/6 ТП4 по рисунку 9, 1,49 м;

B - габаритная ширина трансформатора ТМГ-630/6 ТП4 по рисунку 9, 0,928 м;

δ - ширина выступа, 0,2 м [29].

Расчёт объёма трансформаторного масла трансформатора ТМГ-630/6 ТП4 выполняется по следующей формуле по имеющимся справочным данным, м³:

$$V_{TM} = \frac{M}{\rho_{TM}}, \quad (130)$$

$$V_{TM} = \frac{1250}{880} = 1,42,$$

где M - масса масла трансформатора ТМГ-630/6 ТП4, 1250 кг;

ρ_{TM} - плотность трансформаторного масла, ориентировочно 880 кг/м³ [30].

Расчёт высоты маслоприёмника для приёма 100 % масла трансформатора ТМГ-630/6 ТП4 выполняется по следующей формуле по имеющимся расчётным данным, м:

$$h_{TM} = \frac{V_{TM}}{S_{МП}}, \quad (131)$$

$$h_{TM} = \frac{1,42}{2,51} = 0,57 \text{ м.}$$

Расчёт суммарной высоты маслоприёмника для приёма 100 % с учётом насыпи гравия и зазора от сетки до поверхности масла для трансформатора ТМГ-630/6 ТП4 выполняется по следующей формуле по имеющимся расчётным данным, м:

$$h_{МП} = h_{TM} + h_z + h_{en} + h_p \quad (132)$$

$$h_{МП} = 0,57 + 0,25 + 0,05 + 0,075 = 0,94.$$

где h_2 - высота слоя насыпи из чистого гравия для маслоприёмника ТП4, выполненного без отвода масла заглубленной конструкции, 0,25 м, [30];

h_p - расстояние от поверхности масла в маслоприёмнике ТП4 до металлической решетки, накрывающей маслоприёмник, выполненный заглубленной конструкции, 0,05 м, [30];

h_{en} - расстояние от поверхности слоя насыпи из чистого гравия до воздухоподводящего вентиляционного канала маслоприёмника ТП4, выполненного заглубленной конструкции, 0,075 м, [30].

Удаление масла из маслоприёмника заглубленной конструкции ТП4 без отвода масла предусматривается при помощи передвижных насосов. Маслоприёмник ТП4 снабжается шкалой-указателем уровня масла в маслоприёмнике. Внутренние поверхности маслоприёмника ТП4 защищены от воздействия трансформаторного масла полиэтиленовым маслостойким покрытием.

Для ТП4 оформляется эскиз маслоприёмника, на котором указаны габариты маслоприёмника заглубленной конструкции трансформатора ТМГ-630/6, рисунок 10, [30].

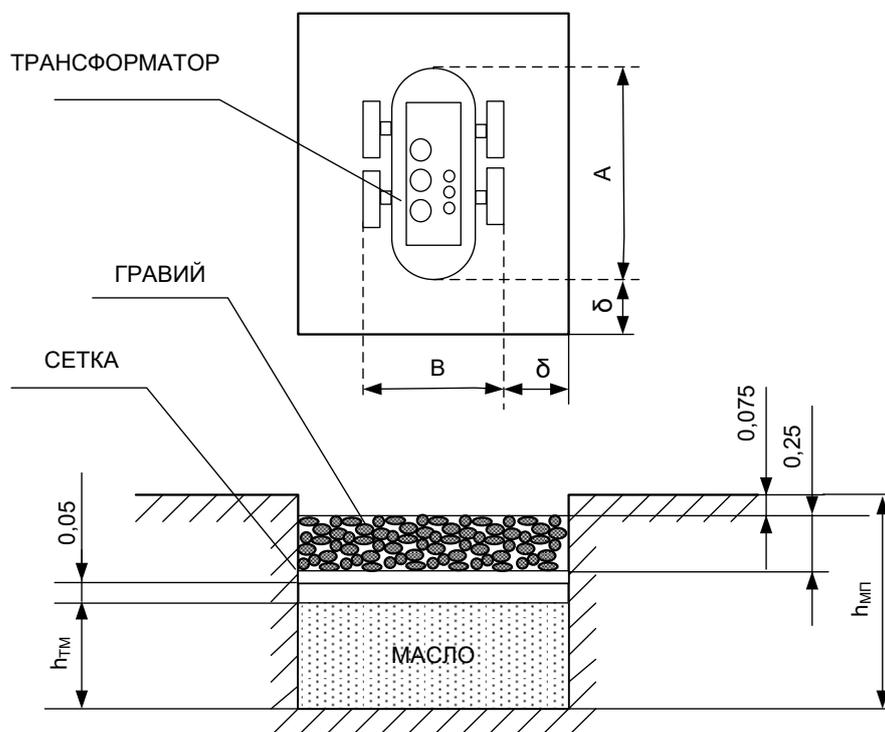


Рисунок 10 - Эскиз маслоприёмника ТП4

В завершении определения экологичности работы получен результат расчётов габаритов маслоприёмника ТП4 – длина 1,89 м, ширина 1,328 м, глубина 0,94 м.

Пожаробезопасность здания ТП4 коттеджного поселка «Белый парус» будет обеспечена сбором масла из маслonaполненного трансформатора ТМГ-630/6 в том случае, если габарит маслоприёмника по глубине будет минимум 0,94 м

14.3 Чрезвычайные ситуации

В данном подпункте перечисляются действия персонала, занятого на работах по сооружению электросетевого комплекса при возникновении пожара в РУ-6 кВ ПС Шмидтовка и на оборудовании электрических сетей напряжением 6 и 0,4 кВ коттеджного поселка «Белый Парус».

В случае обнаружения пожара или признаков возгорания в виде избыточного тепла, характерного запаха гари, дымового образования в помещении РУ-6 кВ ПС Шмидтовка сотрудник электросетевого комплекса должен задействовать кнопку пожарного извещателя, предварительно откинув крышку кнопки извещателя для передачи сигнала на единый пульт подконтрольной организации по осуществлению надзора по пожарной охране. Затем сотрудник из числа работников электросетевого комплекса производит передачу сообщения с помощью телефона по стационарному номеру 01 или мобильному номеру 112, при этом обязательно передается информация о месте и адресе происшествия, фамилии вызывающего [31].

В случае обнаружения пожара в помещении РУ-6 кВ ПС Шмидтовка сотрудник электросетевого комплекса должен проинформировать своего руководителя и вахту ведомственной охраны при её наличии, далее работник обязан приступить, при наличии такой возможности, к эвакуации людей из РУ-6 кВ ПС Шмидтовка и, если возможно, сохранить материальные ценности без ущерба жизни и здоровью себе и окружающим.

Сотрудники подведомственной структуры из числа работников охраны ПС Шмидтовка после получения сообщения о пожаре или сигнала на пульт

контроля и сигнализации обязаны обеспечить открытие всех запасных эвакуационных выходов, продублировать сообщения о пожаре с помощью телефона по стационарному номеру 01 или мобильному номеру 112. Далее выполняется усиление имеющимся составом работников охраны здания РУ-6 кВ ПС Шмидтовка и перекрывается вход в здание РУ-6 кВ ПС Шмидтовка работников электросетевого комплекса и другим лицам до особого распоряжения. При непосредственном руководстве пропуском в здание РУ-6 кВ ПС Шмидтовка обеспечить вход работников пожарной охраны, прибывших для тушения пожара, как вовнутрь здания РУ-6 кВ ПС Шмидтовка, так и на территорию ПС Шмидтовка.

Сотрудники подведомственной структуры из числа работников охраны ПС Шмидтовка оказывают содействие работникам из числа ремонтного или оперативного персонала по отключению электропитания в здании РУ-6 кВ ПС Шмидтовка. При пожаре во внерабочее время сотрудники подведомственной структуры из числа работников охраны ПС Шмидтовка после передачи информации о возгорании, отключения электроэнергии, осуществляют до прибытия пожарной охраны тушение найденного возгорания первичными средствами пожаротушения, которые в достаточном количестве и исправные находятся в здании РУ-6 кВ ПС Шмидтовка.

Дежурный из числа работников по обслуживанию РУ-6 кВ ПС Шмидтовка должен иметь выверенные план или схему электропитания здания РУ-6 кВ ПС Шмидтовка для успешного отключения соответствующих участков электропитания. Отключению не подлежат магистрали питания центрального узла связи, автоматической пожарной сигнализации, оповещения людей о пожаре, дымоудаления и пожаротушения, аварийного освещения. Вся информация о проведенных отключениях должна быть передана дежурным старшему смены работнику из числа подведомственной охраны РУ-6 кВ ПС Шмидтовка [33].

Руководитель предприятия по обслуживанию РУ-6 кВ ПС Шмидтовка прибывает на место пожара незамедлительно и контролирует, передана ли информации о возгорании в пожарную охрану, проведены ли в должном объеме эвакуация за пределы опасной зоны работников по обслуживанию РУ-6 кВ ПС

Шмидтовка, которые не участвуют в тушении пожара и эвакуации материальных ценностей.

Руководитель предприятия по обслуживанию РУ-6 кВ ПС Шмидтовка выполняет функцию координации тушения пожара до прибытия пожарной охраны, после чего организует их встречу и кратчайший путь по территории ПС Шмидтовка, для боевых расчётов тушения пожара непосредственно к очагу возгорания. Перечень обязательной к передаче начальнику пожарной охраны информации относятся данные об очаге пожара, мерах, принимаемых по его ликвидации, особенностях планировки помещений РУ-6 кВ ПС Шмидтовка, кроме того исчерпывающий перечень необходимой информации включает сведения, позволяющие более эффективно выполнять работу по тушению пожара и обезопасить личный состав, участвующий в его тушении.

Руководитель предприятия по обслуживанию РУ-6 кВ ПС Шмидтовка организует консолидацию сил и средств ликвидации пожара и предупреждения его развития, а также всячески содействует прибывающим пожарным подразделениям в любых действиях, направленных на предотвращение развития и ликвидации пожара.

Работники, выполняющие работы по обслуживанию РУ-6 кВ ПС Шмидтовка во время эвакуации должны использовать наиболее безопасные эвакуационные пути и выходы. Путь эвакуации в безопасную зону должен быть наименьше протяженности без воздействия дыма, пламени, искр, высокой температуры. Условия для возникновения паники должны быть исключены и взяты под контроль, а также не допускается коллективное снижение способности покинуть опасную зону из-за различных предлогов. После эвакуации из РУ-6 кВ ПС Шмидтовка работников, выполняющих работы по обслуживанию, должны быть закрыты все двери и окна по пути эвакуации.

Действия работников, выполняющих работы по обслуживанию РУ-6 кВ ПС Шмидтовка при возникновении пожара должны соответствовать требованиям Инструкции о действиях персонала по эвакуации людей при пожаре и планом эвакуации при пожаре и не должны создавать помех другим эвакуируе-

мым и участникам тушения пожара. После объявления эвакуации работники, выполняющие работы по обслуживанию РУ-6 кВ ПС Шмидтовка прекращают все работы в здании РУ-6 кВ ПС Шмидтовка, за исключением работ, связанных с мероприятиями по ликвидации пожара. По завершении эвакуации работников, выполняющих работы по обслуживанию РУ-6 кВ ПС Шмидтовка на место сбора, информация о количестве работников передается своему непосредственному руководителю [34].

Во время пожара работники, выполняющие работы по обслуживанию РУ-6 кВ ПС Шмидтовка не должны открывать окна и дверей, для предотвращения притока воздуха к очагу возгорания и быстрому распространению огня. Работникам, выполняющим работы по обслуживанию РУ-6 кВ ПС Шмидтовка запрещается разбивать стекла, во избежание распространения огня и дыма в смежные помещения РУ-6 кВ ПС Шмидтовка.

Оказание первой помощи пострадавшим на месте чрезвычайной ситуации в РУ-6 кВ ПС Шмидтовка допускается лицами, имеющими медицинское образование и соответствующую медицинскую подготовку.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных расчётов разработана система электроснабжения 6-0,4 кВ коттеджный посёлок «Белый парус» Надеждинского муниципального района Приморского края. На ближайшую перспективу, развитие района благодаря близости резидентов ТЭС Надеждинская будет обеспечиваться инфраструктурой и жилищным фондом района, в который входит коттеджный посёлок «Белый парус».

Проведены расчёты нагрузок потребителей 0,4 кВ, выбрана схема подключения потребителей 0,4 кВ, выбраны и проверены аппараты 0,4-6 кВ, определены токи короткого замыкания, выбраны и проверены устройства защиты и автоматики в сетях 6 кВ, указаны меры безопасности при строительстве сетей 0,4-6 кВ, меры пожарной безопасности, рассчитан маслоприёмник для соблюдения норм экологичности.

Полученные результаты расчёта системы электроснабжения напряжением 0,4-6 кВ коттеджного посёлка «Белый парус» Надеждинского муниципального района Приморского края показаны в пояснительной записке к выпускной квалификационной работе в текстовом и табличном виде для удобства их анализа и ознакомления.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Официальный сайт ЦЗН «Моя земля» [Электронный ресурс]. – URL: <https://myland25.ru/> (дата обращения: 15.04.2023).
- 2 Официальный сайт АО «Корпорация развития Дальнего Востока и Арктики» [Электронный ресурс]. – URL: <https://erdc.ru/about-tor/> (дата обращения: 15.04.2023).
- 3 Официальный сайт Правительства Приморского края [Электронный ресурс]. – URL: <https://primorsky.ru/authorities/executive-agencies/departments/departament-proektov/pilotnye-proekty-dlya-aprobatsii-proektnogo-upravleniya/territorii-operezhayushchego-razvitiya.php> (дата обращения: 15.04.2023).
- 4 Официальный сайт АО «ДРСК» - Портал по работе с клиентами технологическое присоединение [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://utp.drsk.ru/ya_map/PR (дата обращения: 15.04.2023).
- 5 Инструкция по проектированию городских электрических сетей РД 34.20.385-94.
- 6 Насосы водоснабжения// Двигатели насосов: URL: <http://moikolodets.ru/povysitelnyj-nasos-dlya-vodoprovoda-616> (дата обращения: 15.04.2023).
- 7 Сибикин, Ю. Д. Электроснабжение [Текст] : учеб. пособие / Ю. Д. Сибикин, М. Ю. Сибикин. - М. : РадиоСофт, 2012. - 328 с. : рис., табл. - Библиогр. : с. 326
- 8 Мясоедов, Ю. В. Системы электроснабжения промышленных объектов и городов [Электронный ресурс] : учеб. пособие. Ч. 2. Электроснабжение жилых домов с улучшенной планировкой и коттеджей / Ю. В. Мясоедов, Л. А. Мясоедова, И. Г. Подгурская ; АмГУ, Эн. ф. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2015. - 162 с. Режим доступа http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/7366.pdf (дата обращения: 10.04.2023).

9 Электроснабжение объектов [Текст] : учеб. пособие для СПО / Е. А. Конюхова. - 9-е изд., испр. - М. : Академия, 2013. - 320 с. : рис., табл. - (Среднее проф. образование. Электротехника). - Библиогр. : с. 311

10 Официальный сайт ЗАО «Севкабель» [Электронный ресурс]. – URL: <http://sevcable.ru/sites/default/files/catalog/help/dop-tok-odn-zam.pdf> (дата обращения: 15.04.2023).

11 ГОСТ 14209-97 (МЭК 354-91) «Руководство по нагрузке силовых масляных трансформаторов»

12 РД 153-34.0-20.527-98 Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования

13 Официальный сайт АО «Электрощит» [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.electroshield.ru/catalog/properties/3/689/> (дата обращения: 15.04.2023).

14 Официальный сайт АО «Сибэл» [Электронный ресурс]. – URL: <http://sibelz.ru/catalog/id/42/> (дата обращения: 15.04.2023).

15 Савина Н. В. Техника высоких напряжений. Грозовые перенапряжения и защита от них [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Н. В. Савина ; АмГУ, Эн. ф. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2015. - 191 с. - Режим доступа: http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/7361.pdf (дата обращения: 10.05.2023).

16 ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – Введён 2014-07-01. – М. : Изд-во Стандартиформ. – 2014.

17 Порядок расчета значений соотношения потребления активной и реактивной мощности для отдельных энергопринимающих устройств (групп энергопринимающих устройств) потребителей электрической энергии. Утвержден приказом Минэнерго России от 23 июня 2015 г. № 380.

18 Козлов А. Н. Диагностика электрооборудования высокого напряжения [Электронный ресурс] : учеб. пособие / А. Н. Козлов ; АмГУ, Эн. ф. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2013. - 44 с. - Режим доступа:

http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/6925.pdf (дата обращения: 24.05.2023).

19 Ротачева А. Г. Современные средства релейной защиты и автоматики [Электронный ресурс] : метод. указания по курсовому проектированию для направления 13.03.02 / А. Г. Ротачева, А. Н. Козлов, И. Г. Подгурская ; АмГУ, Эн.ф. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2015. - 93 с. - Режим доступа: http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/4322.pdf (дата обращения: 24.05.2023).

20 Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем [Электронный ресурс] : учеб. пособие для направления подготовки "Электроэнергетика и электротехника" / сост.: А. Н. Козлов, В. А. Козлов, Ю. В. Мясоедов ; АмГУ, Эн. ф. - 4-е изд., испр. - Благовещенск: Изд-во Амур. гос. ун-та, 2017. - 160 с. Режим доступа: http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/9689.pdf (дата обращения: 10.05.2023).

21 Официальный сайт АО «ДРСК» - Тариф покупки потерь электроэнергии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.drsk.ru/> (дата обращения: 10.05.2023).

22 Бочаров Ю. Н. Техника высоких напряжений [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Ю. Н. Бочаров, С. М. Дудкин, В. В. Титков. - СПб. : С.-Петербург. политех. ун-т Петра Великого, 2013. - 265 с. - Б. ц. Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/43976> (дата обращения: 24.05.2023).

23 Электротехнический справочник: В 4 т. Производство, передача и распределение электрической энергии. Под общ. ред. профессоров МЭИ В.Г. Герасимова и др. (гл. ред. А.И. Попов). - 8-е изд., испр. и доп. — М.: Издательство МЭИ, 2007 — 964 с.

24 Официальный сайт Правительства Приморского края - Схема и программа развития электроэнергетики Приморского края на 2023 - 2027 годы [Электронный ресурс]. – URL: <https://primorsky.ru/authorities/executive-agencies/departments/energy/structure/skhema-i-programma-razvitiya->

elektroenergetiki-primorskogo-kraya-na-2023-2027-gody/?clear_cache=Y (дата обращения: 10.05.2023).

25 Файбисович, Д.Л. Справочник по проектированию электрических сетей : справочник / Д.Л. Файбисович, И.Г. Карапетян. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: ЭНАС, 2012. – 376 с.

26 Проектирование электрической части электростанций и подстанций : учеб. пособие/ Ю. В. Мясоедов, Н. В. Савина , А. Г. Ротачева; АмГУ, Эн.ф.. - Благовещенск: Изд-во Амур. гос. ун-та, 2012. -140 с.

27 ГОСТ 12.1.019-79 (2001) ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

28 Официальный сайт ООО «Уралэнерго» [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.uralen.ru/catalog/trans/group-17/64.html> (дата обращения: 10.05.2023).

29 Правила устройства электроустановок (ПУЭ). 8-е изд. – М.: «Издательство НЦ ЭНАС», 2012. – 488 с.

30 Булгаков А.Б. Охрана окружающей среды в электроэнергетике [Электронный ресурс] : учеб. пособие / А. Б. Булгаков ; АмГУ, ИФФ. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2020. - 90 с.

31 Руководящий документ «Правила пожарной безопасности для энергетических предприятий» РД-153.-34.0-03.301-00. – М.: ЗАО «Энергетические технологии», 2020.-116 с.

32 Приказ Минтруда России от 15.12.2020 N 903н "Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок" (Зарегистрировано в Минюсте России 30.12.2020 N 61957)

33 ГОСТ 12.1.033-81 (2001) ССБТ. Пожарная безопасность. Термины и определения.

34 Правила пожарной безопасности в Российской Федерации ППБ-01-93. – Зарегистрировано в Минюсте РФ 27 декабря 1993 г., № 445