

**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  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 г.

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

на тему: Проектирование системы внешнего электроснабжения напряжением  
10 кВ станции биологической очистки в поселке Белогорье Амурской области

Исполнитель  
студент группы 842-узб

\_\_\_\_\_  
подпись, дата

Е.Л. Симонов

Руководитель  
профессор,  
канд.техн.наук, доцент

\_\_\_\_\_  
подпись, дата

Ю.В. Мясоедов

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

\_\_\_\_\_  
подпись, дата

А.Б. Булгаков

Нормоконтроль  
ст. преподаватель

\_\_\_\_\_  
подпись, дата

Л.А. Мясоедова

Благовещенск 2022

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

Факультет энергетический  
Кафедра энергетики

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой

\_\_\_\_\_ Н.В. Савина  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**З А Д А Н И Е**

К выпускной квалификационной работе студента Е.Л. Симонов

1. Тема выпускной квалификационной работы: Проектирование системы внешнего электроснабжения напряжением 10 кВ станции биологической очистки в поселке Белогорье Амурской области

(утверждена приказом от \_\_\_\_\_.\_\_\_\_.2022г. № \_\_\_\_\_)

2. Срок сдачи студентом законченной работы (проекта) \_\_\_\_\_

3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе: план расположения станции биологической очистки в поселке Белогорье, однолинейная схема ПС Силикатная, контрольный замер в электрических сетях за 2021 год, Схема и план развития Амурской области на период до 2030 года.

4. Содержание выпускной квалификационной работы (перечень подлежащих разработке вопросов): краткая климатическая и географическая характеристика района проектирования, электрические нагрузки и потребители электроэнергии, внутреннее электроснабжение станции, выбор и проверка трансформаторов 10/0,4 кВ, компенсация реактивной мощности, выбор варианта внешнего электроснабжения, расчёт электрических нагрузок на ПС «Силикатная», конструктивное исполнение распределительных линий 10 кВ, расчет токов короткого замыкания в сети 10 кВ, проверка выбранных сечений на воздействие токов короткого замыкания, выбор электрических аппаратов ПС «Силикатная», выбор электрических аппаратов трансформаторных подстанций, компенсация емкостных токов замыкания на землю, релейная защита и автоматика, надёжность схемы 10 кВ, безопасность и экологичность.

5. Перечень материалов приложения: (наличие чертежей, таблиц, графиков, схем, программных продуктов, иллюстративного материала и т.п.): варианты выполнения схемы сети 10 кВ, однолинейная схема сети 10 кВ, однолинейная схема ПС Силикатная 110/35/10 кВ, план и разрез КТП-1, однолинейная схема КТП-1, микропроцессорная защита воздушной линии 10 кВ и автоматика ТП 0,4 кВ

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

7. Дата выдачи задания \_\_\_\_\_

Руководитель выпускной квалификационной работы: \_\_\_\_\_

(фамилия, имя, отчество, должность, ученая степень, ученое звание)

Задание принял к исполнению (дата): \_\_\_\_\_

(подпись студента)

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 107 с, 10 рисунков, 29 таблиц, 1 приложение, 31 источник.

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ, ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ НАГРУЗКА, ПРОГНОЗИРУЕМАЯ НАГРУЗКА, РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО, ТОК КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ, РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА, ТРАНСФОРМАТОР, ВОЗДУШНАЯ ЛИНИЯ, САМОНЕСУЩИЙ ИЗОЛИРОВАННЫЙ ПРОВОД, ВЫКЛЮЧАТЕЛЬ, РАЗЪЕДИНИТЕЛЬ, ОШИНОВКА, ОГРАНИЧИТЕЛЬ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ.

Объект разработки в данной выпускной квалификационной работе - система внешнего электроснабжения напряжением 10 кВ станции биологической очистки сточных вод в п. Белогорье Амурской области. Предложены варианты конфигурации сетей 10 кВ, по приведенным затратам выбран оптимальный вариант. Цель выпускной квалификационной работы – разработка схемы внешнего электроснабжения напряжением 10 кВ станции биологической очистки сточных вод в п. Белогорье Амурской области. Расчётным способом получены уровни токов КЗ в проектируемой сети 10 кВ. Проведён выбор уставок средств РЗ и А для защиты линий и трансформаторов 10 кВ. Рассчитана надежность сетей аналитическим методом.

## СОДЕРЖАНИЕ

Определения, обозначения, сокращения	6
Введение	7
1 Краткая климатическая и географическая характеристика района проектирования	9
2 Электрические нагрузки и потребители электроэнергии	10
3 Внутреннее электроснабжение станции	16
4 Выбор и проверка трансформаторов 10/0,4 кВ	18
4.1 Выбор мощности трансформаторов 10/0,4 кВ	18
4.2 Расчёт мощности трансформаторов 10/0,4 кВ на стороне 10 кВ	19
5 Компенсация реактивной мощности	23
6 Выбор варианта внешнего электроснабжения	25
6.1 Выбор и проверка проводов ВЛ	25
6.2 Технико-экономическое обоснование варианта сети 10 кВ	31
7 Расчёт электрических нагрузок на ПС «Силикатная»	33
8 Конструктивное исполнение распределительных линий 10 кВ	37
9 Расчет токов короткого замыкания в сети 10 кВ	40
10 Проверка выбранных сечений на воздействие токов короткого замыкания	44
11 Выбор электрических аппаратов ПС «Силикатная»	46
11.1 Выбор КРУ 10 кВ	46
11.2 Выбор выключателей 10 кВ	48
11.3 Выбор разъединителей 10 кВ	52
11.4 Выбор трансформаторов тока 10 кВ	53
11.5 Выбор трансформатора напряжения 10 кВ	58
11.6 Выбор ограничителей перенапряжений	60
11.7 Выбор предохранителей трансформаторов напряжения	61
11.8 Выбор жестких шин на стороне 10 кВ	62
11.9 Выбор изоляторов	66
12 Выбор электрических аппаратов трансформаторных подстанций	68

12.1	Выбор предохранителей 10 кВ	68
12.2	Выбор выключателей нагрузки	69
13	Компенсация емкостных токов замыкания на землю	71
14	Релейная защита и автоматика	72
14.1	Токовая отсечка без выдержки времени	72
14.2	Максимальная токовая защита линий	74
14.3	Защита от однофазных замыканий на землю	76
14.4	Устройства автоматического включения резерва	77
14.5	Защита понижающих трансформаторов ТП	78
14.6	Сигнализация	82
15	Надёжность схемы 10 кВ	83
16	Безопасность и экологичность	91
16.1	Безопасность	91
16.2	Экологичность	95
16.3	Чрезвычайные ситуации	100
	Заключение	104
	Библиографический список	105
	Приложение А. Расчёт надёжности сети 10 кВ	108

## ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ

АВР – автоматический ввод резерва;

АПВ – автоматическое повторное включение;

ВЛ – воздушная линия;

ВН – высокое напряжение;

ЗРУ – закрытое распределительное устройство;

КЗ – короткое замыкание;

КРУ – комплектное распределительное устройство;

КТП – комплектная трансформаторная подстанция;

МТЗ – максимальная токовая защита;

НН – низкое напряжение;

ПС – подстанция;

ПУЭ – правила устройства электроустановок;

ПЭВМ – персональная электронно-вычислительная машина;

РЗиА – релейная защита и автоматика;

РУ – распределительное устройство;

СИП – самонесущие изолированные провода;

ТН – трансформатор напряжения;

ТО – токовая отсечка;

ТП – трансформаторная подстанция;

## ВВЕДЕНИЕ

Рост потребления электроэнергии на территории Амурской области на протяжении последних нескольких лет наглядно показывает технико-экономическую необходимость развития электросетевого комплекса. Получаемые сетевыми организациями заявки на технологическое присоединение к сетям электроснабжения количественно также увеличиваются.

Имеющиеся резервы питающих подстанций для подключения ранее не присоединенной нагрузки позволяют сократить резерв мощности в электрических сетях, но без увеличения пропускной способности силового оборудования представляется сложным процессом ввод новых мощностей потребителей электроэнергии.

Состояние электросетевого имущества в ряде случаев технологического присоединения новых потребителей ограничивает возможности по расширению технологического оборудования имеющихся производств, что негативно сказывается на перспективном развитии электрических сетей. Для того, чтобы избежать подобных проблем при подключении новых потребителей комплексная реконструкция как центра питания, так и электрических сетей способствует в долгосрочной перспективе снижению ограничений на ввод новых мощностей потребителей.

Актуальность выпускной квалификационной работы состоит в том, что в п. Белогорье имеется потребность подключения станции биологической очистки сточных вод для обеспечения прилегающих территорий необходимой мощностью санитарно-технических устройств. В рамках данной работы предусматривается проектирование участка схемы 10 кВ для подключения станции биологической очистки. Совместно с подключением новой ТП осуществляется реконструкцией сетей 10 кВ рассматриваемого района, при этом применяются провода марки СИП-3 для увеличения надёжности сетей 10 кВ.

Цель проекта – спроектировать систему внешнего электроснабжения для потребителей станции биологической очистки сточных вод в п. Белогорье

Амурской области.

В ходе реализации цели работы выполняются следующие задачи:

1. Расчёт нагрузок в сети 10 кВ.
2. Выбор оптимального варианта сети.
3. Выбор оборудования на ПС Силикатная и на ТП, проверка по стойкости к токам КЗ.
4. Выбор уставок средств РЗА.
5. Расчёт надёжности сети 10 кВ.
6. Описание мер безопасности при строительстве и эксплуатации сетей, расчёт показатели экологичности проекта.

При проектировании использовались ПЭВМ и следующие лицензионные программные продукты: Операционная система Win 10 (лицензионный ключ); MS Office (лицензионный ключ); MS Visio (лицензионный ключ); Mathcad (лицензионный ключ).

Практическая значимость работы заключается в том, что принятые в работе решения в части реконструкции сетей 10 кВ позволяют снизить уровни потерь электроэнергии в сети 10 кВ, повысить надёжность сетей 10 кВ схемными и техническими способами, организовать соблюдение качества по ГОСТ 32144-2013.

Ожидаемые результаты:

- Выбранные и проверенные сечения проводов сетей 10 кВ;
- Выбранные и проверенные устройства и аппараты 10 кВ устанавливаемые в центре питания;
- Рассчитанные уставки средств РЗА;
- Высокая надёжность реконструируемой сети 10 кВ в связи с использованием оптимальной конфигурации сети.

Ожидаемая эффективность работы заключается в способности сети 10 кВ п. Белогорье Амурской области функционировать с минимальным ущербом от недоотпуска электроэнергии в течении нормативного срока эксплуатации оборудования.

## 1 КРАТКАЯ КЛИМАТИЧЕСКАЯ И ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Для того, чтобы охарактеризовать район проектирования, используется паспорт Благовещенского района в целом, так как станция биологической очистки находится в Благовещенском районе, [2].

Зейско–Бурейская равнина является образующим рельефом местности, южная часть Амурской области на своей территории в 2,6 тысяч квадратных километров включает в том числе Благовещенский район. Благовещенский район является одним из крупных сельскохозяйственных районов из всех районов Амурской области, если сравнение выполняется по площадям.

Характер климата района резко континентальный. Температура воздуха самого холодного месяца колеблется от -16 до -43 градусов в январе, самого теплого до +36 градусов в июле. Среднегодовая сумма осадков 728,6 мм. Летом 622,1 мм, зимой покров снега достигает 112 мм.

Основные направления ветра:

-зимой - северный со скоростью 1 м/сек;

-весной - юго-восточный со скоростью 2 м/сек;

-летом - южный со скоростью 2 м/сек.

Район по толщине стенки гололеда – III.

Район по скоростному напору ветра – III.

Удельное сопротивление грунта 60-130 Ом\*м (песок умеренно увлажненный).

Характеристика Благовещенского района включает информацию по следующим показателям: наличии более 20 предприятий всех форм собственности, 18365 человек экономически активного населения, 120940 м<sup>2</sup> коммунального жилого фонда, 5067 га посевных площадей под производство сельхоз культур различного назначения.

## 2 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ И ПОТРЕБИТЕЛИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Основным показателем загруженности оборудования системы внешнего электроснабжения напряжением 10 кВ станции биологической очистки сточных вод в п. Белогорье Амурской области является результат контрольного замера декабря 2021 года. От значений нагрузки ТП, полученных по результату контрольного замера, зависит правильность расчётов нагрузок линий электропередачи 10 кВ.

Справочные замерные данные величины нагрузок существующих ТП на стороне 10 кВ по результатам контрольного замера зимы 2021 года систематизируются по каждой ТП в виде общей таблицы 1.

Таблица 1 – Нагрузка существующих КТП

№ ТП	$S_p$ , кВА	$P_p$ , кВт	$Q_p$ , кВАр
ТП 10	638,3	603	210,9
ТП 11	365,5	345,0	120,8
ТП 12	290,9	275	96,1
ТП 25	121,8	115	40,3

Центром питания станции биологической очистки сточных вод в п. Белогорье Амурской области выбирается проектируемая двухтрансформаторная подстанция 10/0,4кВ, так как основная категория потребителей 0,4 кВ относится ко 2 категории по надёжности и бесперебойности электроснабжения. Построение схемы подключения электроприёмников сооружений повторного использования промывных вод заключается в установке проектируемых панелей ЩО-1 и ЩО-2 в виде шкафов типа ЩО70. В свою очередь, подключение проектируемых панелей ЩО-1 и ЩО-2 осуществляется от I и II секций шин РУ-0,4 кВ двухтрансформаторной подстанции 10/0,4кВ.

Основными потребителями электроэнергии станции очистки промывных вод являются электроосвещение, системы отопления и вентиляции, силовое, технологическое и противопожарное электрооборудование.

В качестве напряжения питающей сети принимаются напряжения 380/220 В.

В качестве установленной мощности КНС дренажа принимается проектная величина 270 кВт, [4].

В качестве установленной мощности электроотопления (электропроводо-нагреватель «Титан-150») принимается проектная величина 300 кВт, [4].

В качестве установленной мощности КНС ила принимается проектная величина 250 кВт, [4].

Для расположения электроприёмников 0,4 кВ предусматривается сооружение отдельного здания, с размещением всего силового оборудования внутри. Проектируемая двухтрансформаторная КТП 10/0,4кВ располагается вне здания станции биологической очистки сточных вод. Данное решение позволяет выделить силовое питающее оборудование из состава всех электроприёмников, что способствует исключению влияния повреждений рабочего оборудования на силовое оборудование в результате аварийных режимов работы при коротких замыканиях, приводящих к электродинамическим повреждениям силовых шкафов или сборок. В результате поврежденный элемент отключается автоматикой защиты без ущерба работоспособности силового оборудования, поэтому разделение силового и рабочего оборудования обосновано с точки зрения бесперебойной работы станции биологической очистки сточных вод в том числе в различных ненормальных режимах работы.

Так как в данной выпускной квалификационной работе в качестве объекта разработки принята система внешнего электроснабжения напряжением 10 кВ станции биологической очистки сточных вод в п. Белогорье Амурской области, то необходимо выбрать участок системы внешнего электроснабжения напряжением 10 кВ, на котором будет осуществляться подключение станции биологической очистки сточных вод.

Графически участок распределительных сетей 10 кВ, на котором будет осуществляться подключение станции биологической очистки сточных вод в п. Белогорье Амурской области показан на рисунке 1.

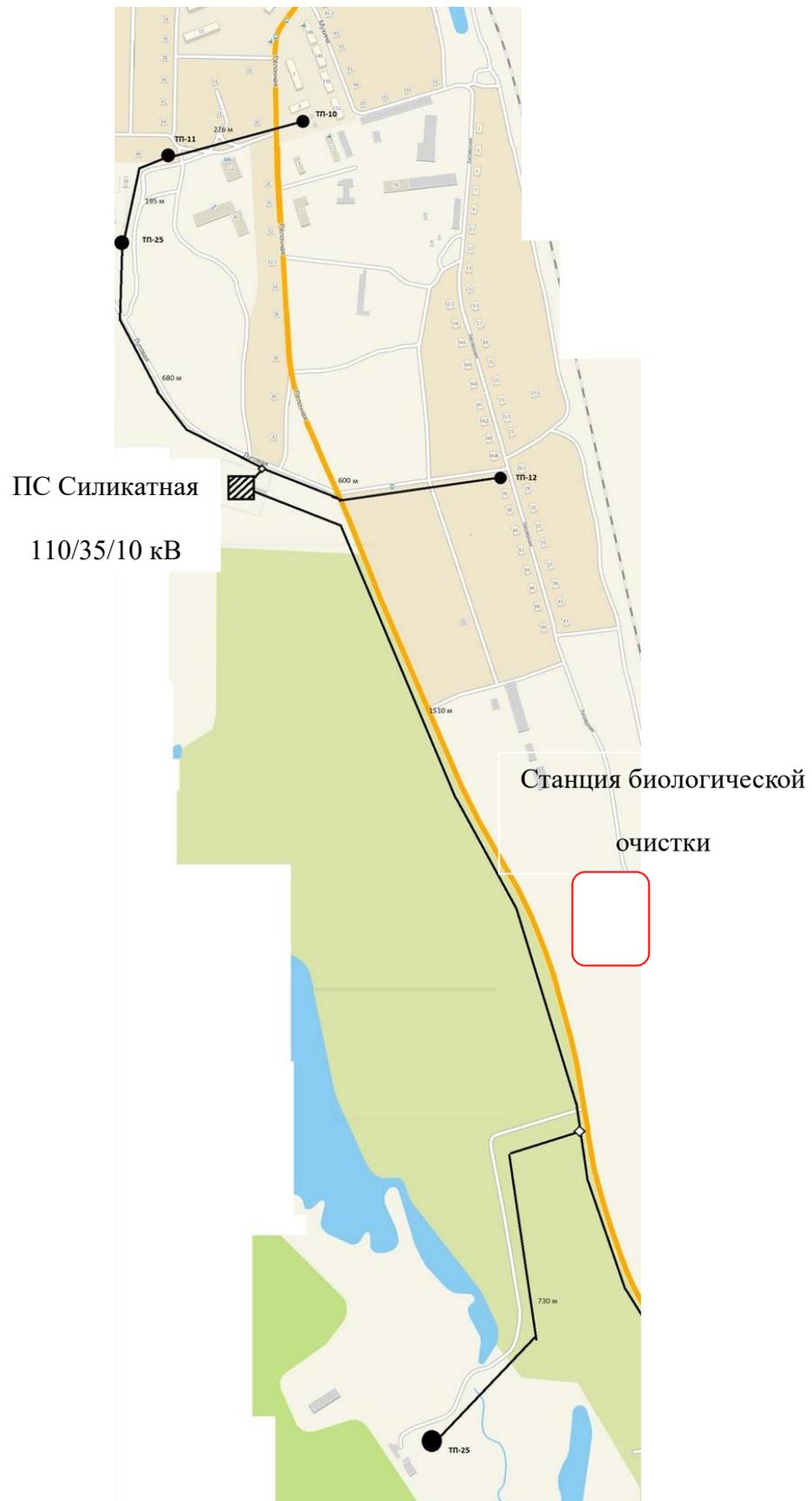


Рисунок 1 - Участок распределительных сетей 10 кВ, на котором будет осуществляться подключение станции биологической очистки сточных вод в п. Белогорье Амурской области [1]

Выполнение расчёта средней активной и реактивной нагрузки КНС дренажа станции биологической очистки сточных вод осуществляется по приведенному выражению с применением справочной информации по используемым в расчётах величинам:

$$P_{cp} = P_{уст} \cdot K_{II}; \quad (1)$$

$$P_{cp} = 270 \cdot 0.85 = 229,5 \text{ кВт};$$

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

$$Q_{cp} = 229,5 \cdot 0.48 = 110,2 \text{ квар};$$

где  $K_{II}$  - коэффициент использования, [4];

$tg\varphi$  - коэффициент мощности, [4].

Выполнение расчёта расчётной активной и реактивной нагрузки КНС дренажа станции биологической очистки сточных вод осуществляется по приведенному выражению с применением справочной информации по используемым в расчётах величинам:

$$P_p = P_{cp} \cdot K_p; \quad (3)$$

$$P_p = 229,5 \cdot 1 = 229,5 \text{ кВт};$$

$$Q_p = Q_{cp} \cdot K_p; \quad (4)$$

$$Q_p = 110,2 \cdot 1 = 110,2 \text{ квар};$$

где  $K_p$  - коэффициент расчётной нагрузки, [4].

Выполнение расчёта нагрузки освещения здания станции биологической очистки сточных вод осуществляется по приведенному выражению с применением справочной информации по используемым в расчётах величинам:

$$P_{P_{осв}} = S_{зд} \cdot P_{осв\ уд}; \quad (5)$$

$$P_{P_{осв}} = 1200 \cdot 0,011 = 13,2 \text{ кВт};$$

$$Q_{P_{осв}} = P_{P_{осв}} \cdot tg\varphi_{осв}; \quad (6)$$

$$Q_{P_{осв}} = 13,2 \cdot 0,24 = 3,17 \text{ квар};$$

где  $S_{зд}$  - площадь здания, 1200 м<sup>2</sup>;

$P_{осв\ уд}$  - удельная мощность осветительной установки, 0,011 кВт/м<sup>2</sup>, [17];

$tg\varphi_{осв}$  - коэффициент мощности светодиодных светильников, 0,24, [17].

Выполнение расчёта нагрузки освещения внутренней территории станции биологической очистки сточных вод осуществляется по приведенному выражению с применением справочной информации по используемым в расчётах величинам:

$$P_{P_{осв}} = S_{терр} \cdot P_{осв\ уд};$$

$$P_{P_{осв}} = 2000 \cdot 0,005 = 10 \text{ кВт};$$

$$Q_{P_{осв}} = P_{P_{осв}} \cdot tg\varphi_{осв};$$

$$Q_{P_{осв}} = 10 \cdot 0,24 = 2,4 \text{ квар};$$

где  $S_{терр}$  - площадь здания, 2000 м<sup>2</sup>;

$P_{осв.уд}$  - удельная мощность осветительной установки с светодиодными лампами 0,005 кВт/м<sup>2</sup>, [17];

$tg\varphi_{осв}$  - коэффициент мощности светодиодных светильников, принимается 0,24, [17].

Выполнение расчёта суммарной нагрузки станции биологической очистки сточных вод осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся информации по используемым в расчётах величинам:

$$P_p = \Sigma P_p \cdot K_o + P_{осв}; \quad (7)$$

$$P_p = (229,5+285+200) \cdot 0,9+13,2+10=666 \text{ кВт};$$

$$Q_p = \Sigma Q_p \cdot K_o + Q_{осв}; \quad (8)$$

$$Q_p = (110,2+57+96) \cdot 0,9+3,17+2,4=242 \text{ квар.}$$

где  $K_o$  – коэффициент одновременности для потребителей станции, 0,9 [11].

Схожим образом осуществляются расчёты нагрузки остальных потребителей станции биологической очистки сточных вод, результаты расчётов систематизируются и представляются в табличном виде с разделением по типам потребителей, таблица 2.

Таблица 2 – Расчётные силовые нагрузки потребителей насосной

Наименование	$P_{уст}$ , кВт	$K_{и}$	$P_p$ , кВт	$Q_p$ , квар
КНС дренажа	270	0,85	229,50	110,2
электроотопление	300	0,95	285,00	57,0
КНС ила	250	0,8	200,00	96,0
освещения внутренней территории	10	1	10	2,4
освещения здания станции	13,2	1	13,2	3,17
Всего с $K_o$			666	242

### 3 ВНУТРЕННЕЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ СТАНЦИИ

Основным видом вводного распределительного устройства для электро-снабжения потребителей станции очистки промывных вод принимается ВРУ-1-19-90-УХЛ4 с АВР, к которому подключаются силовые щиты ЩС-2, ЩС-3, шкаф управления насосами ШУН-17Н. Основным видом распределительного устройства принимается шкаф типа ШР73710-22У3. Специальное помещение под электрощитовую станции очистки промывных вод служит для размещения вводного распределительного устройства, на вводе которого организован учет электроэнергии. Принят счетчик электрический электронный типа ЦЭ6850М.

Панели ЩО-1 и ЩО-2 осуществляют электроснабжение щита управления (ЩУ) электроводонагревателем с АВР «Титан-150» и шкафа управления насосами ШУН-1Н.

Рабочее освещение станции очистки промывных вод в соответствии с требованиями ПУЭ отнесено к III категории по надёжности электроснабжения.

Аварийное освещение, вентиляционные и противопожарные системы, технологическое оборудование станции очистки промывных вод в соответствии с требованиями ПУЭ отнесено к I категории по надёжности электроснабжения.

Качественное электроснабжение потребителей станции очистки промывных вод осуществляется с учётом не превышения коэффициента загрузки силовых трансформаторов 10/0,4 кВ более 0,7.

Надёжное электроснабжение потребителей станции очистки промывных вод осуществляется с учётом режимов работы питающих линий распределительных устройств, а также с учётом размещения электрооборудования в помещениях с нормальной средой эксплуатации и возможности проведения его ревизии и ремонта.

Энергосбережение станции очистки промывных вод обеспечивается установкой электроосвещения светильниками с энергосберегающими лампами вместо ламп накаливания. Используются светодиодные светильники подвесного типа марки Оптолукс-лайн 150 номинальной мощностью 30 Вт, со степенью

защиты IP20 (защита от прикосновения к токоведущим частям и каплезащищённые). Устраивается система экономии управление освещением.

В качестве обоснования энергосберегающих мероприятий по использованию светодиодных светильников следует отметить, что требуемая плотность осветительной нагрузки со светодиодными светильниками станции очистки промывных вод изменяется в пределах 11 - 18 Вт/м<sup>2</sup> с учётом подвеса светильников на высоте от 0,5 до 2 м, при этом люминесцентные светильники применяются с плотностью 30-50 Вт/м<sup>2</sup>, поэтому использование светодиодных светильников является энергосберегающим мероприятием.

## 4 ВЫБОР И ПРОВЕРКА ТРАНСФОРМАТОРОВ 10/0,4 кВ

Наличие потребителей III категории по надежности электроснабжения требует установки одного трансформатора на ТП, наличие потребителей I и II категории по надежности электроснабжения требует установки двух трансформаторов на ТП.

### 4.1 Выбор мощности трансформаторов 10/0,4 кВ

Выполнение расчёта мощности силовых трансформаторов осуществляется по приведенному выражению с применением справочной и расчётной информации по используемым в расчётах величинам для ТП-1:

$$S_{PT} = \frac{\sqrt{P_{ТП}^2 + Q_{ТП}^2}}{n_T \cdot K_C}, \quad (9)$$

$$S_{PT} = \frac{\sqrt{666^2 + 242^2}}{2 \cdot 0,7} = 507 \text{ кВА},$$

где  $S_{ТП}$  - расчётная нагрузка на шинах 0,4 кВ ТП-1, определена ранее, кВА;

$n_T$  - число трансформаторов;

$K_C$  - коэффициент допустимой систематической нагрузки, принимаемый 0,7 для двух трансформаторов, 0,8 для одного трансформатора, [5].

Номинальная мощность трансформатора выбирается большей либо равной расчетной мощности трансформаторов из типового ряда производимых трансформаторов, выбирается трансформатор ТМ-630/10.

Выполнение расчёта загруженности в нормальном и послеаварийном режимах силовых трансформаторов осуществляется по приведенному выражению с применением справочной и расчётной информации по используемым в расчётах величинам для ТП-1:

$$K_{3\text{ норм}} = \frac{S_p}{S_{\text{НОМТР}} \cdot N_{\text{ТР}}}; \quad (10)$$

$$K_{3\text{ норм}} = \frac{\sqrt{666^2 + 242^2}}{630 \cdot 2} = 0,56 \geq 0,5 ;$$

$$K_{3\text{ на}} = \frac{S_p}{S_{\text{НОМТР}} \cdot (N_{\text{ТР}} - 1)}; \quad (11)$$

$$K_{3\text{ на}} = \frac{\sqrt{666^2 + 242^2}}{630 \cdot (2 - 1)} = 1,13 \leq 1,4 .$$

Схожим образом осуществляются расчёты мощности и загруженности остальных ТП района подключения станции биологической очистки сточных вод, результаты расчётов систематизируются и представляются в табличном виде с разделением по ТП, таблица 3.

Таблица 3 – Проверка трансформаторов ТП 10/0,4 кВ по нагрузке

№ ТП	S <sub>p</sub> , кВА	N <sub>тр</sub>	K <sub>загр</sub>	S <sub>расч</sub> , кВА	S <sub>ном</sub> , кВА	K <sub>загр факт</sub>	K <sub>загр авар</sub>
ТП 10	638,3	2	0,7	456	630	0,51	1,01
ТП 11	365,5	1	0,8	457	400	0,91	0,91
ТП 12	290,9	1	0,8	364	400	0,73	0,73
ТП 25	121,8	1	0,8	152	160	0,8	0,8
ТП 1	709,5	2	0,7	507	630	0,56	1,13

Все трансформаторы ТП 10/0,4 кВ выбраны и проверены без превышения коэффициентов загрузки.

#### 4.2 Расчёт мощности трансформаторов 10/0,4 кВ на стороне 10 кВ

Рассчитаем потери в трансформаторе на ТП-25, S<sub>НОМ</sub> = 160 кВА.

Выполнение расчёта потерь активной мощности в силовых трансформаторах осуществляется по приведенному выражению с применением справочной и расчётной информации по используемым в расчётах величинам для ТП-25:

$$\Delta P_T = \Delta P_X + K_3^2 \cdot \Delta P_K, \quad (12)$$

$$\Delta P_T = 0,56 + 0,8^2 \cdot 2,65 = 2,1 \text{ кВт};$$

где  $\Delta P_X$  - активные потери холостого хода выбранного трансформатора 10/0,4 кВ ТП, [7];

$\Delta P_K$  - активные потери короткого замыкания выбранного трансформатора 10/0,4 кВ ТП, [7].

Выполнение расчёта потерь реактивной мощности в силовых трансформаторах осуществляется по приведенному выражению с применением расчётной информации по используемым в расчётах величинам для ТП-25:

$$\Delta Q_T = \Delta Q_X + K_3^2 \cdot \Delta Q_K, \quad (13)$$

$$\Delta Q_T = 3,84 + 0,8^2 \cdot 7,2 = 8 \text{ квар.}$$

где  $\Delta Q_X$  - реактивные потери холостого хода выбранного трансформатора 10/0,4 кВ ТП;

$\Delta Q_K$  - реактивные потери короткого замыкания выбранного трансформатора 10/0,4 кВ ТП.

Выполнение расчёта реактивных потерь холостого хода в силовых трансформаторах осуществляется по приведенному выражению с применением расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам для ТП-25:

$$\Delta Q_X = S_{ном.т} \cdot \frac{I_x}{100}, \quad (14)$$

$$\Delta Q_X = 160 \cdot \frac{2,4}{100} = 3,84 \text{ квар};$$

где  $S_{ном.т}$  - номинальная мощность выбранного трансформатора 10/0,4 кВ ТП;

$I_x$  - ток холостого хода выбранного трансформатора 10/0,4 кВ ТП, [7];

Выполнение расчёта реактивных потерь короткого замыкания в силовых трансформаторах осуществляется по приведенному выражению с применением расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам для ТП-25:

$$\Delta Q_K = S_{ном.т} \cdot \frac{U_K}{100}, \quad (15)$$

$$\Delta Q_K = 160 \cdot \frac{4,5}{100} = 7,2 \text{ квар};$$

где  $U_K$  - напряжение короткого замыкания выбранного трансформатора 10/0,4 кВ ТП, [7].

Схожим образом осуществляются расчёты потерь мощности в остальных ТП района подключения станции биологической очистки сточных вод, результаты расчётов систематизируются и представляются в табличном виде с разделением по ТП, таблица 4.

Таблица 4 – Потери мощности в трансформаторах 10/0,4 кВ

№ ТП	$\Delta P_T$ , кВт	$\Delta Q_T$ , кВт
ТП 10	3,5	21,5
ТП 11	5,6	23,4
ТП 12	4,0	17,9
ТП 25	2,1	8,0
ТП 1	4,0	23,6

Выполнение расчёта мощности силовых трансформаторов 10/0,4 кВ на стороне 10 кВ осуществляется по приведенному выражению с применением расчётной информации по используемым в расчётах величинам для ТП-1, кВА:

$$S_{10кВ ТП} = \sqrt{(P_{ТП} + \Delta P_T)^2 + (Q_{ТП} + \Delta Q_{ТП})^2}; \quad (16)$$

$$S_{10кВ ТП} = \sqrt{(666+4)^2 + (242+23.6)^2} = 734.$$

Схожим образом осуществляются нагрузок на остальных ТП на стороне 10 кВ района подключения станции биологической очистки сточных вод, результаты расчётов систематизируются и представляются в табличном виде с разделением по ТП, таблица 5.

Таблица 5 - Нагрузка ТП на стороне 10 кВ

№ ТП	P <sub>пр</sub> , кВт	Q <sub>пр</sub> , кВАр	S <sub>пр</sub> , кВА
ТП 10	610	254	660
ТП 11	351	144	379
ТП 12	279	114	301
ТП 25	117	48	127
ТП 1	675	288	734

## 5 КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Оптимальное соотношение потребляемой активной и реактивной мощности на стороне 0,4 кВ ТП позволяет снизить потери мощности в распределительной сети, а также позволяет увеличить пропускную способность трансформаторов 10/0,4 кВ одновременно с улучшением показателей качества электроэнергии в распределительной сети 0,4 кВ.

Реактивная мощность на шинах 0,4 кВ ТП компенсируется батареями конденсаторов с меньшей величиной затрат на установку оборудования, чем по стороне 10 кВ.

Выполнение расчёта требуемой мощности компенсирующих устройств осуществляется по приведенному выражению с применением расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам для ТП-10:

$$Q_{KV}^{треб} = Q_p - P_p \cdot tg \varphi_{нд} \quad (17)$$

$$Q_{KV}^{треб} = 210,9 - 603 \cdot 0,35 = 0 \text{ КВАр}.$$

где  $tg \varphi_{нд}$  - предельно допустимый по [6] коэффициент для шин 0,4 кВ, 0,35, [6].

На ТП-10 батареи конденсаторов обоснованно не устанавливаются.

Выполнение расчёта некомпенсированной реактивной мощности на стороне 0,4 кВ ТП осуществляется по приведенному выражению с применением расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам для ТП-1:

$$Q_{неск} = Q_p - Q_{KV}^{факт} \quad (18)$$

$$Q_{неск} = 241 - 10 = 231 \text{ квар}.$$

где  $Q_{KV}^{факт}$  - фактическая мощность компенсирующих устройств, квар.

На ТП-1 обоснованно устанавливаются батареи конденсаторов АУКРМ-10-2,5-0,4 УХЛ1, [10].

Схожим образом осуществляются расчёты требуемой мощности компенсирующих устройств на остальных ТП района подключения станции биологической очистки сточных вод, результаты расчётов систематизируются и представляются в табличном виде с разделением по ТП, таблица 6.

Таблица 6 – Компенсация реактивной мощности на КТП

№ ТП	P <sub>p</sub> , кВт	Q <sub>p</sub> , квар	Q <sub>ку треб</sub> , квар	Q <sub>ку факт</sub> , квар	примечание
ТП 10	603	210,9	0,0	0,0	КРМ не требуется
ТП 11	345,0	120,8	0,0	0,0	КРМ не требуется
ТП 12	275	96,1	0,0	0,0	КРМ не требуется
ТП 25	115	40,3	0,0	0,0	КРМ не требуется
ТП 1	666	242	9,2	10,0	Применяется АУКРМ-10-2,5-0,4 УХЛ1

## 6 ВЫБОР ВАРИАНТА ВНЕШНЕГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

### 6.1 Выбор и проверка проводов ВЛ

Составляется 2 варианта подключения проектируемой ТП-1. В качестве источника питания рассматриваются шины 10 кВ ближайшей к территории насосной ПС «Силикатная» 110/35/10 кВ.

Схема подключения проектируемой ТП в обоих вариантах предполагает реконструкцию ф-8 ПС «Силикатная» и подключение к резервной ячейке КРУ 10 кВ питающей подстанции.

Вариант 1:

По конфигурации схема является петлевой. Голый провод в сети 10 кВ заменяется на СИП-3. Участок ВЛ до ТП-12 демонтируется. Разрыв петли предусмотрен на ТП-10

Вариант 2:

По конфигурации схема является петлевой и резервированной магистральной. Рассматриваем вариант выполнения резервированной ВЛ до ТП-12 и далее до проектируемой ТП-1. Участок ВЛ до ТП-12 демонтируется.

Выполнение расчёта суммарной нагрузки участка сети ПС-ТП-25-ТП-10-ТП-11 района подключения станции биологической очистки сточных вод осуществляется по приведенному выражению с применением расчётной информации по используемым в расчётах величинам:

$$P_p = \Sigma P_{pТП}; \quad (19)$$

$$P_p = 610 + 351 + 117 = 1077 \text{ кВт};$$

$$Q_p = \Sigma Q_{pТП}; \quad (20)$$

$$Q_p = 254 + 144 + 48 = 446 \text{ квар};$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}; \quad (21)$$

$$S_p = \sqrt{1077^2 + 446^2} = 1166 \text{ кВА.}$$

Выполнение расчёта расчётного тока участка сети ПС-ТП-25-ТП-10-ТП-11 района подключения станции биологической очистки сточных вод осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам:

$$I_{p1} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n}, \quad (22)$$

$$I_{p1} = \frac{1126}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 1} = 67 \text{ А.}$$

Выбор проводников в каждом из вариантов проводим по условию нагрева длительно допустимым током для участка сети ПС-ТП-25-ТП-10-ТП-11 по приведенному выражению с применением справочной информации по используемым в расчётах величинам:

$$I_{p \text{ МАК}} \leq I_{\text{ДОП}} \quad (23)$$

$$67 \leq 200 \text{ А;}$$

где  $I_{\text{ДОП}}$  - допустимый ток для провода СИП-3 (3х35) по [13], 200 А.

Условие выбора выполняется. Далее существует необходимость провести технико – экономическое сравнение. Разработаны 2 варианта с соответствующими нагрузками участков сети, показанные на рисунках 2-3, в каждом из вариантов использован провод ВЛ марки СИП-3.

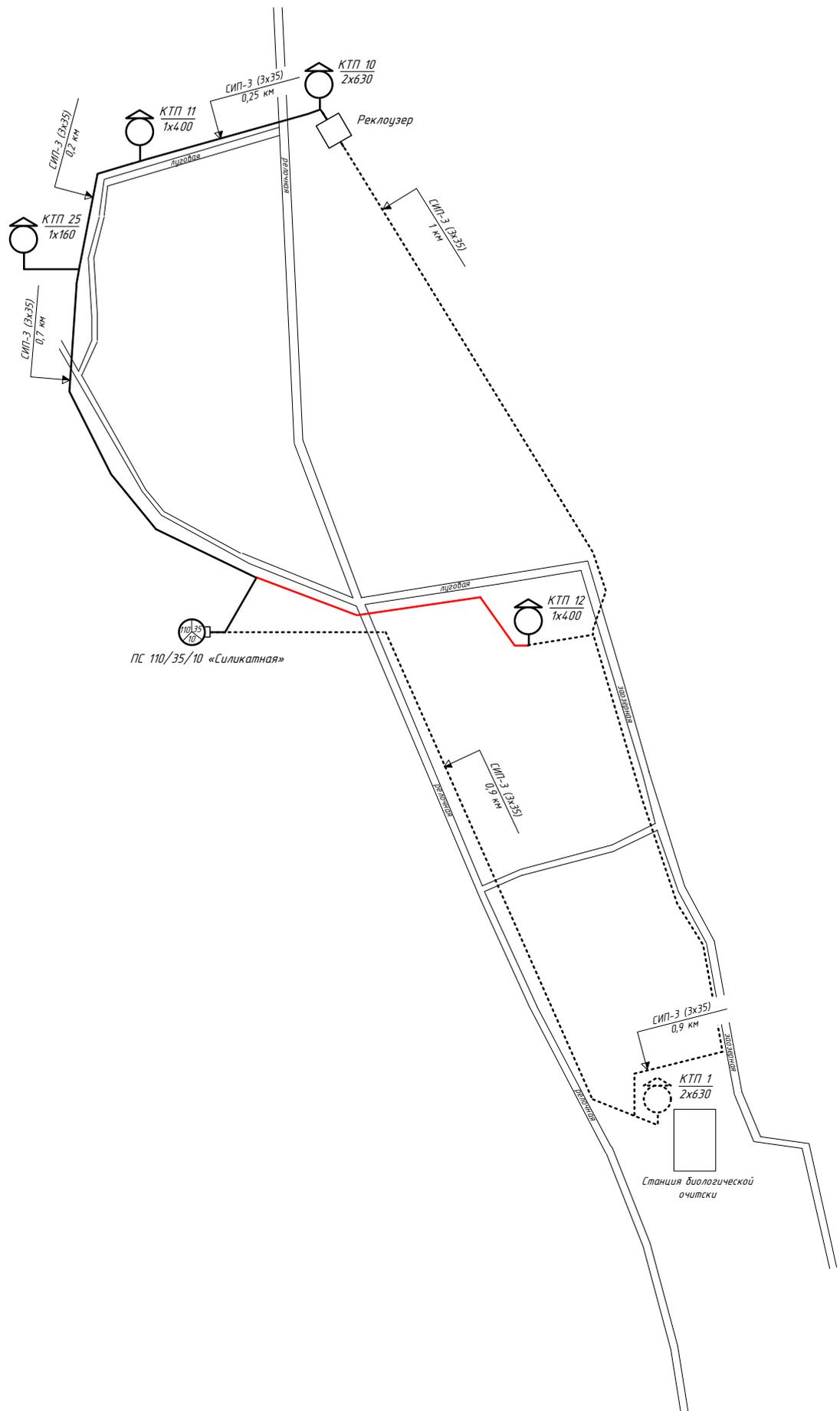


Рисунок 2 – Вариант схемы сети 10 кВ №1

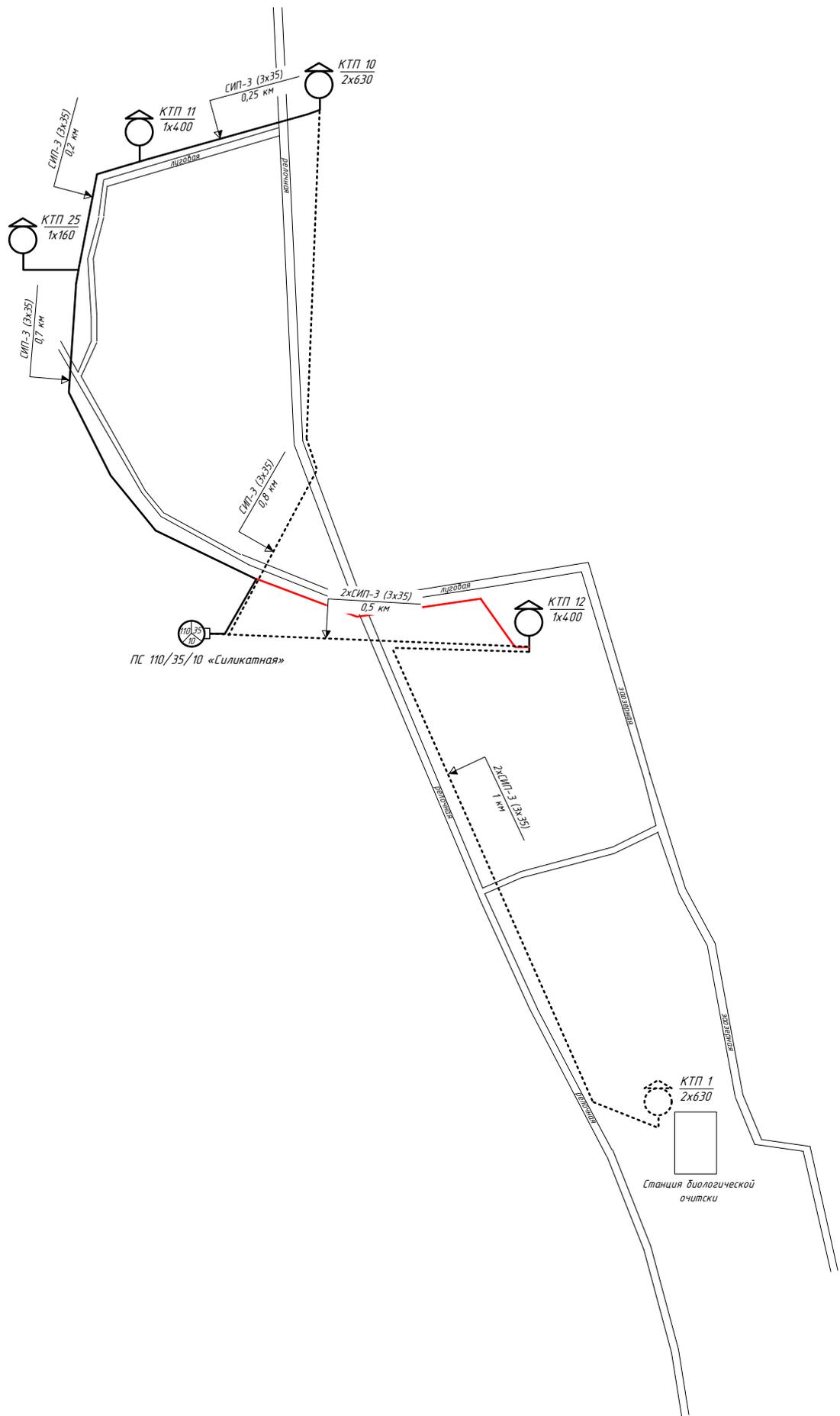


Рисунок 3 – Вариант схемы сети 10 кВ №2

Схожим образом осуществляются расчёты проводов сети 10 кВ района подключения станции биологической очистки сточных вод, результаты расчётов систематизируются и представляются в табличном виде с разделением по участкам сети, таблица 7.

Таблица 7 – Выбор проводов

Питаемые ТП	$P_p$ , кВт	$Q_p$ , кВАр	$I_{p\text{вл}}$ , А	$I_{\text{доп вл}}$ , А	L, км	$F_{\text{вл}}$ , мм <sup>2</sup>
ТП 25-11-10 (вариант 1)	1077	446	67	200	1,2	35
ТП 1-12 (вариант 1)	954	402	60	200	1,8	35
обрыв головного участка до ТП 25 (вариант 1)	2031	848	127	200	3,3	35
ТП 25-11-10 (вариант 2)	1077	446	67	200	1,3	35
ТП 12-1 (вариант 2)	954	402	60	200	1,5	35
ТП 12-1 (вариант 2) обрыв цепи	954	402	60	200	1,5	35

Выполнение расчёта активного и реактивного сопротивлений участка сети ПС-ТП-25-ТП-10-ТП-11 района подключения станции биологической очистки сточных вод осуществляется по приведенному выражению с применением с расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам:

$$R_l = r_{\text{уд}} \cdot l, \quad (24)$$

$$R_l = 0,986 \cdot 1,2 = 1,13,$$

$$X_l = x_{\text{уд}} \cdot l, \quad (25)$$

$$X_l = 0,1 \cdot 1,2 = 0,12,$$

где  $r_{\text{уд}}$  - удельное активное сопротивление воздушной линии, 0,986 Ом\*км, [13];

$x_{уд}$  - удельное реактивное сопротивление воздушной линии, 0,1 Ом\*км;

$l$  - длина линии, по плану 1,2 км;

Выполнение проверки по потере напряжения участка сети ПС-ТП-25-ТП-10-ТП-11 района подключения станции биологической очистки сточных вод осуществляется по приведенному выражению с применением расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам:

$$\Delta U = \frac{(P_p \cdot R_l + Q_p \cdot X_l) \cdot 100\%}{U_H^2 \cdot 10^{-3}}, \quad (26)$$

$$\Delta U = \frac{(1077 \cdot 1.13 + 446 \cdot 0.12) \cdot 100\%}{10^2 \cdot 10^{-3}} = 1.3\%$$

где  $R_l$  - активное сопротивление воздушной линии, Ом;

$X_l$  - реактивное сопротивление воздушной линии, Ом;

Выбранные провода воздушной линии проходят по условиям проверки.

Схожим образом осуществляются проверка проводов сети 10 кВ района подключения станции биологической очистки сточных вод, результаты расчётов систематизируются и представляются в табличном виде с разделением по участкам сети, таблица 8.

Таблица 8 – Проверка проводов внутреннего электроснабжения

Питаемые ТП	$P_p$ , кВт	$Q_p$ , кВАр	$L$ , км	$R_{ВЛ}$ , Ом/км	$X_{ВЛ}$ , Ом/км	$\Delta U_{ВЛ}$ , %
ТП 25-11-10 (вариант 1)	1077	446	1,2	0,986	0,10	1,3
ТП 1-12 (вариант 1)	954	402	1,8	0,986	0,10	1,8
обрыв головного участка до ТП 25 (вариант 1)	2031	848	3,3	0,986	0,10	6,8
ТП 25-11-10 (вариант 2)	1077	446	1,3	0,986	0,10	1,4
ТП 12-1 (вариант 2)	954	402	1,5	0,986	0,10	0,7
ТП 12-1 (вариант 2) обрыв цепи	954	402	1,5	0,986	0,10	1,5

Наибольшая потеря напряжения по первому варианту составляет 6,8%, что удовлетворяет требованиям ГОСТ 32144-2013 по медленному изменению напряжения, [8].

## 6.2 Технико-экономическое обоснование варианта сети 10 кВ

Выполнение сравнения вариантов сети 10 кВ по приведенным затратам осуществляется по приведенному выражению с применением расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам:

$$Z = E_H \cdot K + I = E_H \cdot (K_{ВЛ} + K_{ВЫКЛ}) + (A \cdot K_{ВЛ} + A \cdot K_{ВЫКЛ}) + C_0 \cdot (\Delta W_{ВЛ}) \cdot 10^{-3}, \quad (27)$$

где  $E_H = 0,1$  - норматив дисконтирования, зависит от ставки рефинансирования, которая устанавливается Центробанком, [9];

$K_{ВЛ}$  и  $K_{ВЫКЛ}$  - стоимость ВЛ и выключателей соответственно, [10];

$C_0 = 1.71$  руб/кВт\*ч – стоимость потерь электроэнергии для Амурской области на 2021 год, [11];

$A$  - ежегодные отчисления на амортизацию, ремонт и обслуживание  $a_{ам.выкл} = 5,9\%$ ,  $a_{ам.ЛЭП} = 0,4\%$ , [12];

$\Delta W_{ВЛ}$  - потери электроэнергии в ВЛ.

Выполнение расчёта потерь электроэнергии в каждом из вариантов сети 10 кВ осуществляется по приведенному выражению с применением расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам:

$$\Delta W_{ВЛ} = \sum \frac{(P_L)^2 + (Q_L)^2}{U_{ном}^2} \cdot (R + i \cdot X) \cdot T, \quad (28)$$

где  $P_L$  – потоки активной мощности по линии, МВт;

$Q_L$  – потоки реактивной мощности по линии, МВАр;

$R, X$  – активное и реактивное сопротивление линии, Ом;

$T$  – число часов.

По показанным формулам осуществляются расчёты затраты на сооружение сети 10 кВ района подключения станции биологической очистки сточных вод, результаты расчётов систематизируются и представляются в табличном виде с разделением по видам затрат, таблица 9.

Таблица 9 – Расчёт затрат для сети 10 кВ

№ Варианта	1	2
Количество выключателей 10 кВ, шт	2	4
Стоимость выключателя 10 кВ, тыс руб	450	450
Капиталовложения в выключатели, тыс руб	900	1800
Протяженность ВЛ 10 кВ сечением 35 мм <sup>2</sup> , км	3,95	4,95
Стоимость ВЛ сечением 35 мм <sup>2</sup> , тыс. руб.\км	162	162
Капиталовложения в линии 10 кВ, тыс руб	639,9	801,9
Издержки на эксплуатацию и ремонт линий 10 кВ, тыс руб	2,6	3,2
Издержки на эксплуатацию и ремонт выключателей 10 кВ, тыс руб	53,1	106,2
Издержки на амортизацию электрооборудования, тыс руб	77,0	130,1
Потери электроэнергии, кВт*ч	301648	216213
Стоимость потерь электроэнергии, руб/кВт*ч	1,71	1,71
Издержки потерь электроэнергии, тыс руб	516	370
Приведенные затраты, тыс руб	764	804

Стоимостью сооружения зданий КТП или их реконструкции на данном этапе пренебрегаем, так как используется простейший способ сравнения вариантов сети 10 кВ.

В результате сравнения по приведенным затратам выявлено, что вариант №1 дешевле на 5%, чем вариант №2. Для дальнейшей разработки принимаем вариант №1.

## 7 РАСЧЁТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК НА ПС «СИЛИКАТНАЯ»

Открытым центром питания сети 10 кВ района подключения станции биологической очистки сточных вод является ПС «Силикатная». Электрическая нагрузка станции биологической очистки сточных вод ложится на существующие фидера 10 кВ ПС «Силикатная» снижая тем самым пропускную способность силовых трансформаторов ПС «Силикатная». Требуется оценить снижение резерва мощности на ПС «Силикатная», для этого проводится оценка загрузки силовых трансформаторов на ПС «Силикатная» после подключения участка реконструируемой сети с учётом перспективного роста нагрузки.

Выполнение расчёта прогнозной активной нагрузки на стороне 10 кВ по фидеру №8 на 2026 год на период краткосрочной перспективы 5 лет осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам, кВт:

$$P_{\text{прогн}}^{10} = P_{\text{расч}}^{10} \cdot \left(1 + \frac{\Sigma}{100}\right)^5, \quad (29)$$

$$P_{\text{прогн}}^{10} = 2031 \cdot \left(1 + \frac{2}{100}\right)^5 = 2052,$$

где  $\Sigma$  - прирост нагрузки, принимается 2%, [6].

Нагрузка ПС на стороне 35 кВ принимается по максимальной нагрузке в день зимнего контрольного замера питаемых по стороне 35 кВ ПС «Петропавловка», «Березовка», «Новотроицкая»:  $P_{\text{макс}}^{35} = 6390$  кВт,  $Q_{\text{макс}}^{35} = 1700$  квар.

Выполнение расчёта прогнозной активной нагрузки на стороне 35 кВ ПС «Силикатная» на 2026 год на период краткосрочной перспективы 5 лет осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам, кВт:

$$P_{\text{прогн}}^{35} = P_{\text{макс}}^{35} \cdot \left(1 + \frac{\Sigma}{100}\right)^{10},$$

$$P_{\text{прогн}}^{35} = 6390 \cdot \left(1 + \frac{2}{100}\right)^5 = 6454.$$

Необходимо учесть существующую нагрузку по стороне 10 кВ по данным контрольного замера  $P_{\text{дкз}}^{10} = 4600$  кВт,  $Q_{\text{дкз}}^{10} = 1780$  квар,

Выполнение расчёта расчётной мощности на ПС «Силикатная» осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам:

$$P_{\Sigma} = P_{\text{прогн}}^{10} + P_{\text{дкз}}^{10} + P_{\text{макс}}^{35}, \quad (30)$$

$$P_{\Sigma} = 2052 + 6454 + 4600 = 13106 \text{ кВт},$$

$$Q_{\Sigma} = Q_{\text{прогн}}^{10} + Q_{\text{макс}}^{35} + Q_{\text{дкз}}^{10}, \quad (31)$$

$$Q_{\Sigma} = 848 + 1780 + 1700 = 4328 \text{ квар},$$

$$S_P = \sqrt{(P_{\Sigma})^2 + (Q_{\Sigma})^2}, \quad (32)$$

$$S_P = \sqrt{(13106)^2 + (4328)^2} = 13802 \text{ кВА},$$

где  $P_{\text{прогн}}^{10}$ ,  $Q_{\text{прогн}}^{10}$  - нагрузка на стороне 10 кВ, кВт, квар;

$P_{\text{макс}}^{35}$ ,  $Q_{\text{макс}}^{35}$  - нагрузка на стороне 35 кВ, кВт, квар;

$P_{\text{дкз}}^{10}$ ,  $Q_{\text{дкз}}^{10}$  - нагрузка дня контрольного замера по стороне 10 кВ.

Выполнение расчёта мощности батарей конденсаторов на стороне 10 кВ ПС «Силикатная» осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам:

$$Q_{\text{треб БК}} = (Q_{\text{прогн}}^{10} + Q_{\text{дкз}}^{10}) - (P_{\text{прогн}}^{10} + P_{\text{дкз}}^{10}) \cdot \text{tg}\varphi_{\text{пред}}, \quad (33)$$

$$Q_{\text{треб БК}} = (848 + 1700) - (2052 + 4600) \cdot 0,4 = -112 \text{ квар},$$

где  $\text{tg}\varphi_{\text{пред}}$  - предельное значение коэффициента реактивной мощности при подключении потребителя к шинам 10 кВ ПС, равно 0,4 по [6].

Компенсация реактивной мощности не проводится.

На ПС «Силикатная» установлены трансформаторы ТДТН-10000/110.

Выполнение расчёта коэффициента загрузки трансформаторов ПС «Силикатная» в нормальном режиме осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам:

$$K_3 = \frac{S_P}{2 \cdot S_{\text{ном}}}, \quad (34)$$

$$K_3 = \frac{13802}{2 \cdot 10000} = 0,69.$$

Трансформаторы ПС «Силикатная» загружены оптимально до 2026 года.

Выполнение расчёта коэффициента загрузки трансформаторов ПС «Силикатная» в послеаварийном режиме осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам:

$$K_3 = \frac{S_P}{S_{ном}}, \quad (35)$$

$$K_3 = \frac{13802}{10000} = 1,38.$$

Трансформаторы ПС «Силикатная» не перегружены в послеаварийном режиме.

## 8 КОНСТРУКТИВНОЕ ИСПОЛНЕНИЕ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ 10 кВ

Самонесущий изолированный провод СИП-3 конструктивно является одножильным проводом, в котором уплотненная жила из алюминиевого сплава АВЕ покрывается изоляцией из сшитого полиэтилена, [13].

Токопроводящая жила самонесущего изолированного провода СИП-3 скручена из круглых проволок из алюминиевого сплава, после уплотнения, сформирована в круглую форму.

Изоляция самонесущего изолированного провода СИП-3 впрессована из сшитого полиэтилена черного цвета после светостабилизации. Параметры толщины изоляции провода СИП-3 номинальным напряжением 10 кВ составляет 2,3 мм, при этом нижнее предельное отклонение от номинальной толщины изоляции 0,33 мм, но верхнее предельное отклонение не нормируется.

Применяемый провод сечением токопроводящей жилы 35 мм<sup>2</sup> для подключения нагрузки станции биологической очистки сточных вод имеет 7 проволок в жиле, электрическое сопротивление жилы постоянному току на длине 1 км 0,986 Ом, допустимый ток нагрузки 200 А, допустимый ток односекундного короткого замыкания 3 кА.

Защита ВЛ 10 кВ при подключении нагрузки станции биологической очистки сточных вод от атмосферных перенапряжений и предотвращения пережога проводов осуществляется использованием устройства защиты от перенапряжений, состоящим из специального ограничителя перенапряжений нелинейного и искрового промежутка между фазным проводом и ограничителем перенапряжения.

Крепление проводов ВЛ при подключении нагрузки станции биологической очистки сточных вод выполняется натяжными изолирующими подвесками на основе полимерных изоляторов ЛК-70 на анкерных, концевых, угловых и промежуточных опорах.

Защита проводов ВЛ от дуги при подключении нагрузки станции биоло-

гической очистки сточных вод выполняется устройством защиты от дуги, состоящим из зажима, кронштейна и алюминиевого шунта, находящегося в свернутом виде в цилиндрическую пружину, чтобы обеспечить удобство монтажа и транспортировки.

Опоры ВЛ для подключения нагрузки станции биологической очистки сточных вод состоят из двух стоек СНВ совместно с траверсом, оголовком и прочими закладными деталями для крепления проводов. Целостная конструкция состоит из пары стоек СНВ и стальных закладных.

Графически область применяемых опор ВЛ, используемых для распределительных сетей 10 кВ, к которым будет осуществляться подключение станции биологической очистки сточных вод в п. Белогорье Амурской области показана на рисунке 4.

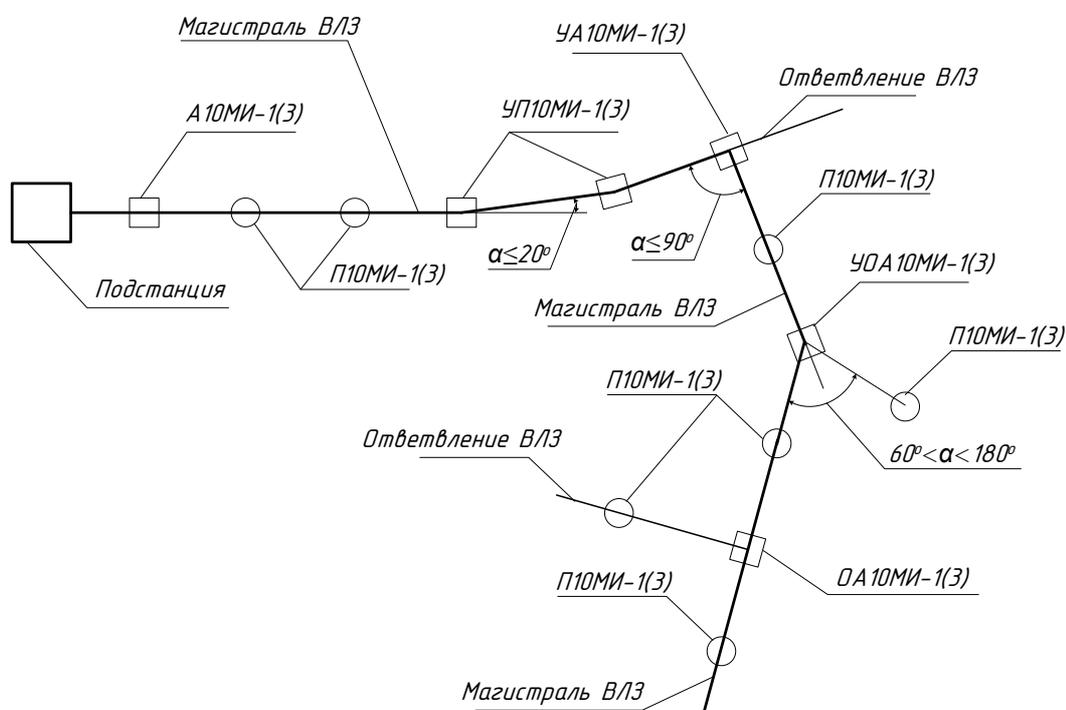


Рисунок 4 - Область применения опор ВЛ-10 кВ

Графически эскизы опор ВЛ, используемых для распределительных сетей 10 кВ, к которым будет осуществляться подключение станции биологической очистки сточных вод в п. Белогорье Амурской области показаны на рисунке 5.

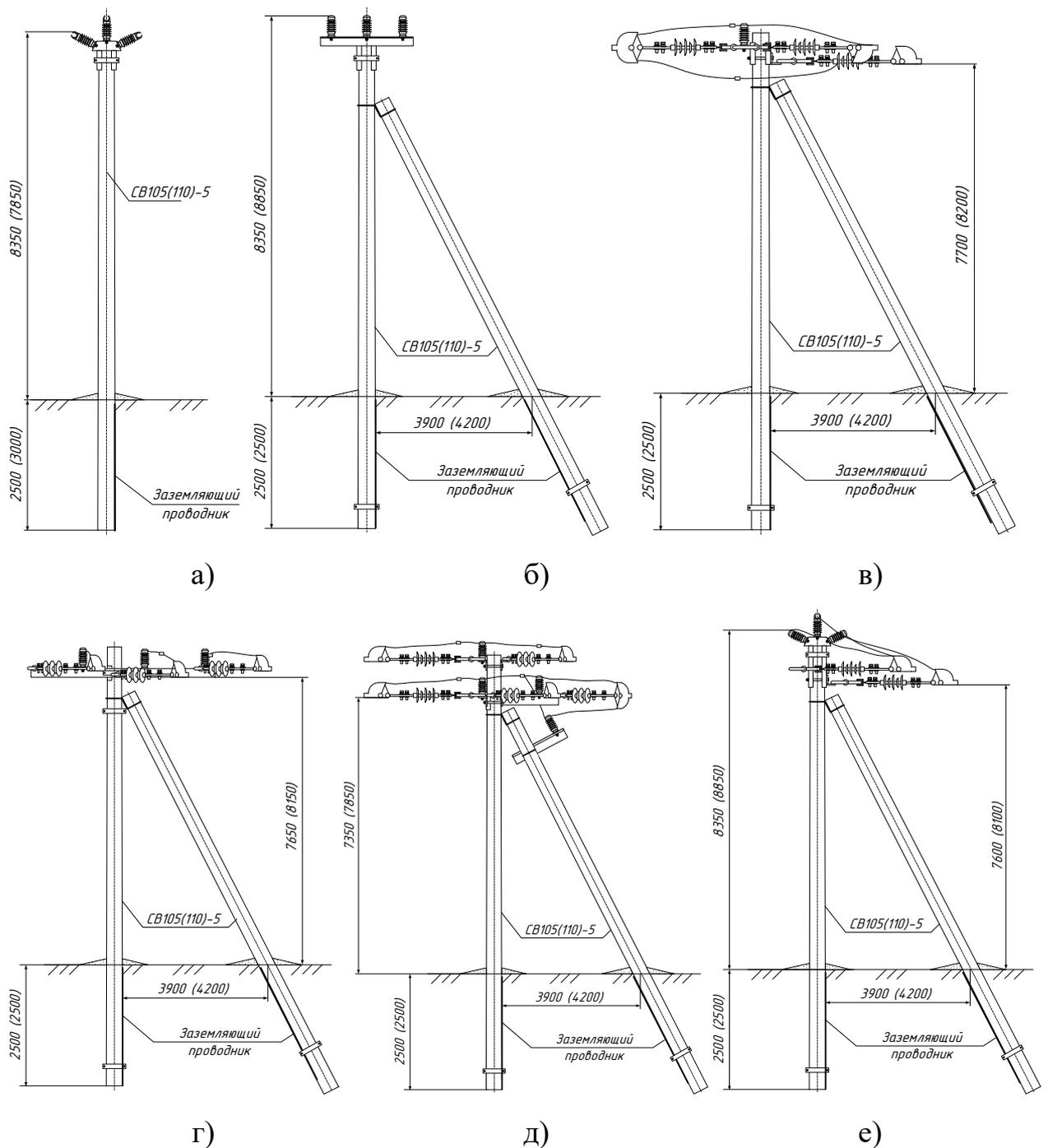


Рисунок 5 – а) Промежуточная опора П10МИ-1(3) б) Угловая промежуточная опора УП10МИ-1(3) в) Анкерная (концевая) опора А10МИ-1(3) г) Угловая анкерная опора УА10МИ-1(3) д) Угловая ответвительная анкерная опора УОА10МИ-1(3) е) Ответвительная анкерная опора ОА10МИ-1(3)

## 9 РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В СЕТИ 10 кВ

Предварительно для расчёта токов КЗ в распределительных сетях 10 кВ составляется схема замещения с намечаемыми расчётными точками короткого замыкания на первой и последней ТП на участке сети 10 кВ.

Графически схема замещения участка распределительных сетей 10 кВ, к которым будет осуществляться подключение станции биологической очистки сточных вод в п. Белогорье Амурской области показана на рисунке 6.

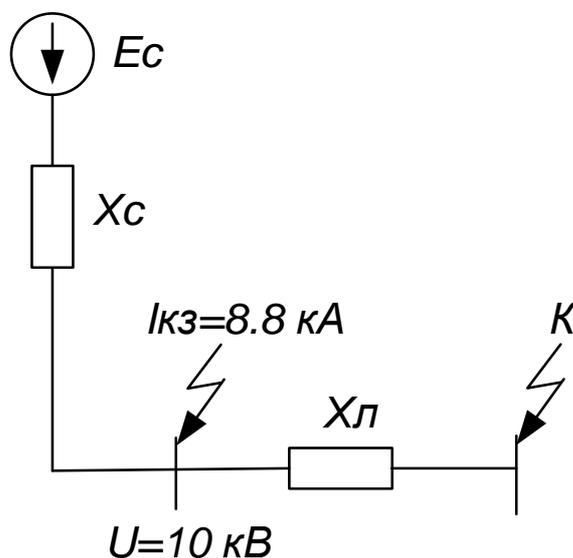


Рисунок 6 - Схема замещения распределительных сетей 10 кВ

Выполнение расчёта сопротивления системы осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам, Ом, [14]:

$$X_c = \frac{U_{cp}}{\sqrt{3} \cdot I_{сист}}; \quad (36)$$

$$X_c = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 8.8} = 0,69;$$

где  $I_{СИСТ}$  – ток КЗ системы, по результату замеров на шинах 10 кВ ПС «Силикатная», замерная величина равна 8,8 кА.

Выполнение расчёта активного сопротивления участка ВЛ ПС-ТП 25 осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам, Ом:

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

$$R_{ВЛ} = \frac{0,986}{1} \cdot 0,7 = 0,69,$$

Выполнение расчёта тока трёхфазного короткого замыкания для ТП 25 осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам, кА:

$$I_{no} = \frac{U_{СРНН}}{\sqrt{3} \cdot X_{\Sigma}} = \frac{U_{СРНН}}{\sqrt{3} \cdot (X_{ВЛ} + X_C)}, \quad (38)$$

$$I_{no} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot (0,69 + 0,69)} = 6,24.$$

Выполнение расчёта тока двухфазного короткого замыкания для ТП 25 осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам, кА:

$$I_{no}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{no}^{(3)}, \quad (39)$$

$$I_{no}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 6,24 = 5,43.$$

Выполнение расчёта постоянной затухания тока короткого замыкания для ТП 25 осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам, с:

$$T_a = \frac{X_\Sigma}{R_\Sigma \cdot 314}, \quad (40)$$

$$T_a = \frac{0,69}{0,69 \cdot 314} = 0,003.$$

Выполнение расчёта коэффициента затухания тока короткого замыкания для ТП 25 осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам:

$$K_{y\partial} = 1 + e^{-\frac{0,01}{T_a}} \quad (41)$$

$$K_{y\partial} = 1 + e^{-\frac{0,01}{0,003}} = 1,04 .$$

Выполнение расчёта ударного тока короткого замыкания для ТП 25 осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам, кА:

$$i_{y\partial} = K_{y\partial} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{no} \quad (42)$$

$$i_{y\partial} = 1,03 \cdot 1,41 \cdot 6,24 = 9,2.$$

По показанным формулам осуществляются расчёты токов КЗ в сети 10 кВ района подключения станции биологической очистки сточных вод, результаты расчётов систематизируются и представляются в табличном виде с разделением по участкам сети, таблица 10.

Таблица 10 – Результаты расчетов токов КЗ в сети 10 кВ

Линия	Длина, км	R <sub>экв</sub> , Ом	Z <sub>экв</sub> , Ом	I <sup>(3)</sup> <sub>по</sub> , кА	I <sup>(2)</sup> <sub>по</sub> , кА	T, с	Kуд	Iуд, кА
ПС-ТП 25	0,70	0,69	0,97	6,24	5,43	0,003	1,04	9,20
ПС-ТП 11	0,90	0,89	1,12	5,41	4,71	0,002	1,02	7,79
ПС-ТП 10	1,15	1,13	1,32	4,58	3,99	0,002	1,01	6,51
ПС-ТП 1	0,90	0,89	1,12	5,41	4,71	0,002	1,02	7,79
ПС-ТП 12	1,80	1,77	1,90	3,19	2,78	0,001	1,00	4,51

## 10 ПРОВЕРКА ВЫБРАННЫХ СЕЧЕНИЙ НА ВОЗДЕЙСТВИЕ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

Выполнение расчёта термически стойкого к токам КЗ сечение проводов ВЛ до ТП 25 осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам [14], мм<sup>2</sup>:

$$S_{T \text{ расч}} = \frac{\sqrt{I_{\text{ПО}}^{(3)2} \cdot t_{\text{возд}}}}{C}; \quad (43)$$

$$S_{\text{ТП25}} = \frac{\sqrt{6240 \cdot 6240 \cdot (0,555)}}{95} = 49;$$

$$t_{\text{П}} = t_{\text{рз}} + t_{\text{ов}} + t_{\text{сел}}; \quad (44)$$

$$t_{\text{П}} = 0,01 + 0,045 + 0,5 = 0,555 \text{ с};$$

где  $I_{\text{КЗ}}$  - расчётное значение тока трехфазного короткого замыкания на участке ПС-ТП 25, А;

$t_{\text{П}}$  - расчётное значение времени короткого замыкания, с;

$t_{\text{рз}}$  - справочное значение времени срабатывания релейной защиты, 0,01 с;

$t_{\text{ов}}$  - справочное значение времени отключения выключателя 10 кВ, 0,045 с;

$t_{\text{сел}}$  - справочное значение выдержки времени срабатывания релейной защиты, 0,5 с;

$C$  - температурный коэффициент для алюминиевых жил проводов СИП-3, равный 95, А<sup>2</sup>с/мм<sup>2</sup>.

Погрешность используемого выражения позволяет трактовать результаты расчёта в меньшую сторону, поэтому ближайшее значение сечения жил проводов ВЛ до ТП-25 выполнена проводом СИП-3 (3х35).

По показанным формулам осуществляются расчёты термически стойкого сечения проводов ВЛ в сети 10 кВ района подключения станции биологической очистки сточных вод, результаты расчётов систематизируются и представляются в табличном виде с разделением по участкам сети, таблица 11.

Таблица 11 – Проверка ВЛ-10 кВ

Линия	$I^{(3)}_{по}$ , кА	$t_{II}$ , с	$S_{терм. стойкое}$ , мм <sup>2</sup>	$S_{факт}$ , мм <sup>2</sup>
ПС-ТП 25	6,24	0,555	49	35
ПС-ТП 11	5,41	0,055	42	35
ПС-ТП 10	4,58	0,555	36	35
ПС-ТП 1	5,41	0,555	42	35
ПС-ТП 12	3,19	0,055	25	35

Для всех участков ВЛ в сети 10 кВ района подключения станции биологической очистки сточных вод условие по термической стойкости для провода СИП-3 (3х35) выполняется.

## 11 ВЫБОР ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ПС «СИЛИКАТНАЯ»

В данном разделе выпускной квалификационной работы необходимо привести условия и результаты выбора и проверки оборудования линейных ячеек 10 кВ ПС «Силикатная» №8 и №20. Ячейка ПС «Силикатная» №20 является резервной, с возможностью её использования для организации кольцевой схемы питания участка распределительных сетей 10 кВ района подключения станции биологической очистки сточных вод.

### 11.1 Выбор КРУ 10 кВ

Используются КРУ серии К-63 со встроенными выключателями марки ВВ/Тел-10, как наиболее массово выпускаемые и имеющие хорошие эксплуатационные показатели в части ремонтпригодности и оснащённости, [16].

В своей конструкции ячейки К-63 учитывают расположение шкафов КРУ в ряд, что позволяет сделать монтаж камер с боковых сторон и расположить их в ряд, чтобы обеспечить соединение главных цепей по сборным шинам. Внутри шкафовое оборудование с фасадной стороны защищено створками с механической и электромагнитной блокировкой для обеспечения электробезопасности персонала по обслуживанию ячеек КРУ.

Выполнение расчёта по напряжению установки для выбора КРУ 10 кВ осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам:

$$U_{уст} \leq U_{ном} ; \quad (45)$$

$$10 \text{ кВ} \leq 12,5 \text{ кВ}.$$

Выполнение расчёта по длительному расчётному току для выбора КРУ 10 кВ осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам:

$$I_{\text{рmax}} \leq I_{\text{ном}}; \quad (46)$$

$$127 \text{ A} \leq 630 \text{ A}.$$

Выполнение расчёта по термической устойчивости для проверки КРУ 10 кВ осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам:

$$B_K = I_{\text{н.о.К1}}^2 \cdot (t_{\text{отк}} + T_a), \quad (47)$$

$$B_K = 6,24^2 \cdot (0,055 + 1,0) = 41 \text{ кА}^2\text{с},$$

$$B_{\text{Кном}} = I_{\text{терм}}^2 \cdot t_{\text{терм}}, \quad (48)$$

$$B_{\text{Кном}} = 20^2 \cdot 4 = 1600 \text{ кА}^2\text{с};$$

где  $t_{\text{отк}}$  – собственное время отключения выключателя, 0,055с.

$I_{\text{терм}}$  - ток термической стойкости, 20 кА;

$t_{\text{терм}}$  - время протекания КЗ, 4 с.

Выполнение расчёта по динамической стойкости возможно для проверки КРУ 10 кВ осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам:

$$i_{\text{уд}} \leq i_{\text{скв}}; \quad (49)$$

$$9,2 \text{ кА} \leq 32 \text{ кА}.$$

По показанным формулам осуществляются расчёты для выбора и проверки КРУ 10 кВ в сети 10 кВ района подключения станции биологической очистки сточных вод, результаты расчётов систематизируются и представляются в табличном виде с разделением по условиям проверки, таблица 12.

Таблица 12 – Выбор и проверка КРУ 10 кВ

Справочные данные	Расчётные данные	Условия выбора
<b>Линейные ячейки</b>		
$U_{ном} = 12,5 \text{ кВ}$ $I_{ном} = 630 \text{ А}$ $i_{скв} = 32 \text{ кА}$ $В_{к.ном} = 1600 \text{ кА}^2\text{с}$	$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$ $I_{рmax} = 127 \text{ А}$ $i_{уд} = 9,2 \text{ кА}$ $В_{к.} = 41 \text{ кА}^2\text{с}$	$U_{ном} \geq U_{уст}$ $I_{ном} \geq I_{рmax}$ $i_{скв} \geq i_{уд}$ $В_{к.ном} \geq В_{к.}$
<b>Реклоузер ТП-10</b>		
$U_{ном} = 12,5 \text{ кВ}$ $I_{ном} = 630 \text{ А}$ $i_{скв} = 32 \text{ кА}$ $В_{к.ном} = 1600 \text{ кА}^2\text{с}$	$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$ $I_{рmax} = 127 \text{ А}$ $i_{уд} = 6,51 \text{ кА}$ $В_{к.} = 12 \text{ кА}^2\text{с}$	$U_{ном} \geq U_{уст}$ $I_{ном} \geq I_{рmax}$ $i_{скв} \geq i_{уд}$ $В_{к.ном} \geq В_{к.}$

На отходящих присоединениях устанавливаем КРУ марки К-63 в связи с тем, что все условия выбора и проверки выполняются в полном объёме.

### 11.2 Выбор выключателей 10 кВ

На стороне 10 кВ для линейных ячеек ПС «Силикатная» выбираем КРУ К-63 с вакуумными выключателями типа ВВ/Тел-10–16-40/630УХЛ2. Аналогичным выключателем оборудуем реклоузер 10 кВ на ТП-10 участка распределительных сетей 10 кВ района подключения станции биологической очистки сточных вод.

Выполнение расчёта по напряжению установки для выбора выключателей 10 кВ осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам:

$$U_{уст} \leq U_{ном} ; \tag{50}$$

$$10 \text{ кВ} \leq 12,5 \text{ кВ.}$$

Выполнение расчёта по длительному расчётному току для выбора выключателей 10 кВ осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам:

$$I_{\text{рмах}} \leq I_{\text{ном}}; \quad (51)$$

$$127 \text{ A} \leq 630 \text{ A}.$$

Выполнение расчёта по отключающей способности для выбора выключателей 10 кВ осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам:

$$I_{\text{по}} \leq I_{\text{откл ном}}; \quad (52)$$

$$6,24 \text{ кА} \leq 12,5 \text{ кА}.$$

Выполнение расчёта по термической устойчивости для проверки выключателей 10 кВ осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам:

$$B_K = I_{\text{н.о.К1}}^2 \cdot (t_{\text{отк}} + T_a), \quad (53)$$

$$B_K = 6,24^2 \cdot (0,055 + 1,0) = 41 \text{ кА}^2\text{с},$$

$$B_{\text{Кном}} = I_{\text{терм}}^2 \cdot t_{\text{терм}}, \quad (54)$$

$$B_{\text{КНОМ}} = 20^2 \cdot 4 = 1600 \text{ кА}^2\text{с};$$

где  $t_{\text{отк}}$  – собственное время отключения выключателя, 0.055с.

$I_{\text{терм}}$  - ток термической стойкости, 20 кА;

$t_{\text{терм}}$  - время протекания КЗ, 4 с.

Выполнение расчёта по возможности отключения апериодической составляющей тока КЗ для проверки выключателей 10 кВ осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам:

$$i_{\text{а.НОМ}} \geq i_{\text{ат}}; \quad (55)$$

$$11,31 \text{ кА} \geq 5,1 \text{ кА};$$

$$i_{\text{а.НОМ}} = \sqrt{2} \cdot \beta_{\text{Н}} \cdot I_{\text{НОМ ОТКЛ}}, \quad (56)$$

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

где  $\beta_{\text{Н}}$  – номинальное значение для данного выключателя  $\beta_{\text{Н}} = 40\%$ ;

$I_{\text{НОМ ОТКЛ}}$  – номинальный ток отключения.

Выполнение расчёта по возможности отключения полного тока КЗ для проверки выключателей 10 кВ осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам:

$$\sqrt{2} \cdot I_{\text{но}}^{(3)} + i_{\text{ат}} \leq \sqrt{2} \cdot I_{\text{НОМОТК}} \cdot \left( 1 + \frac{\beta_{\text{Н}}}{100} \right); \quad (57)$$

$$\sqrt{2} \cdot 6,24 + 6,24 \cdot 0,54 \leq \sqrt{2} \cdot 20 \cdot \left(1 + \frac{0,40}{100}\right);$$

$$12,2 \leq 39,59 \text{ кА.}$$

Выполнение расчёта по динамической стойкости возможно для проверки выключателей 10 кВ осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам:

$$i_{y\partial} \leq i_{ckв}; \quad (58)$$

$$9,2 \text{ кА} \leq 32 \text{ кА.}$$

По показанным формулам осуществляются расчёты для выбора и проверки выключателей 10 кВ в сети 10 кВ района подключения станции биологической очистки сточных вод, результаты расчётов систематизируются и представляются в табличном виде с разделением по условиям проверки, таблица 13.

Таблица 13 – Выбор и проверка выключателей 10 кВ

Справочные данные	Расчётные данные	Условия выбора
<b>Линейные выключатели</b>		
$U_{\text{НОМ}} = 12,5 \text{ кВ}$ $I_{\text{НОМ}} = 630 \text{ А}$ $i_{ckв} = 32 \text{ кА}$ $V_{k.\text{НОМ}} = 1600 \text{ кА}^2\text{с}$ $I_{\text{ВКЛ}} = 12,5 \text{ кА}$ $I_{\text{ОТКЛ}} = 12,5 \text{ кА}$ $i_{a.\text{НОМ}} = 11,31 \text{ кА}$	$U_{\text{уст}} = 10 \text{ кВ}$ $I_{\text{рmax}} = 127 \text{ А}$ $i_{y\partial} = 9,2 \text{ кА}$ $V_k = 41 \text{ кА}^2\text{с}$ $I_{\text{по}} = 6,24 \text{ кА}$ $I_{\text{пт}} = 6,24 \text{ кА}$ $i_{at} = 5,1 \text{ кА}$	$U_{\text{НОМ}} \geq U_{\text{уст}}$ $I_{\text{НОМ}} \geq I_{\text{рmax}}$ $i_{ckв} \geq i_{y\partial}$ $V_{k.\text{НОМ}} \geq V_k$ $I_{\text{ВКЛ}} \geq I_{\text{по}}$ $I_{\text{откл}} \geq I_{\text{пт}}$ $i_{a.\text{НОМ}} \geq i_{at}$
<b>Реклоузер ТП-10</b>		
$U_{\text{НОМ}} = 12,5 \text{ кВ}$ $I_{\text{НОМ}} = 630 \text{ А}$ $i_{ckв} = 32 \text{ кА}$ $V_{k.\text{НОМ}} = 1600 \text{ кА}^2\text{с}$ $I_{\text{ВКЛ}} = 12,5 \text{ кА}$ $I_{\text{откл}} = 12,5 \text{ кА}$ $i_{a.\text{НОМ}} = 11,31 \text{ кА}$	$U_{\text{уст}} = 10 \text{ кВ}$ $I_{\text{рmax}} = 127 \text{ А}$ $i_{y\partial} = 6,51 \text{ кА}$ $V_k = 12 \text{ кА}^2\text{с}$ $I_{\text{по}} = 4,58 \text{ кА}$ $I_{\text{пт}} = 4,58 \text{ кА}$ $i_{at} = 3,1 \text{ кА}$	$U_{\text{НОМ}} \geq U_{\text{уст}}$ $I_{\text{НОМ}} \geq I_{\text{рmax}}$ $i_{ckв} \geq i_{y\partial}$ $V_{k.\text{НОМ}} \geq V_k$ $I_{\text{ВКЛ}} \geq I_{\text{по}}$ $I_{\text{откл}} \geq I_{\text{пт}}$ $i_{a.\text{НОМ}} \geq i_{at}$

На отходящих присоединениях устанавливаем выключатель марки ВВ/Тел-10–12,5-20/630 УХЛ2, в связи с тем, что все условия выбора и проверки выполняются в полном объёме [16].

### 11.3 Выбор разъединителей 10 кВ

Выбираем на стороне 10 кВ ПС Силикатная разъединители РВ-1-10\630.

Выполнение расчёта по напряжению установки для выбора разъединителей 10 кВ осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам:

$$U_{уст} \leq U_{ном}; \quad (59)$$

$$10 \text{ кВ} \leq 12,5 \text{ кВ}.$$

Выполнение расчёта по длительному расчётному току для выбора разъединителей 10 кВ осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам:

$$I_{рмах} \leq I_{ном}; \quad (60)$$

$$127 \text{ А} \leq 630 \text{ А}.$$

Выполнение расчёта по термической устойчивости для проверки разъединителей 10 кВ осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам:

$$B_k = I_{н.о.К1}^2 \cdot (t_{отк} + T_a), \quad (61)$$

$$B_k = 6,24^2 \cdot (0,055 + 1,0) = 41 \text{ кА}^2\text{с},$$

$$B_{HK} = I_T^2 \cdot t_T, \quad (62)$$

$$B_{HK} = 31,5^2 \cdot 1 = 992 \text{ кА}^2\text{с},$$

где  $t_{отк}$  – собственное время отключения выключателя, 0,055с.

$I_{терм}$  - ток термической стойкости, 31,5 кА;

$t_{терм}$  - время протекания КЗ, 1 с.

По показанным формулам осуществляются расчёты для выбора и проверки разъединителей 10 кВ в сети 10 кВ района подключения станции биологической очистки сточных вод, результаты расчётов систематизируются и представляются в табличном виде с разделением по условиям проверки, таблица 14.

Таблица 14 – Выбор и проверка разъединителей 10 кВ

Справочные данные	Расчётные данные	Условия выбора
Линейные		
$U_H = 10 \text{ кВ}$ $I_H = 630 \text{ А}$ $i_{скв} = 40 \text{ кА}$ $B_{к.ном} = 992 \text{ кА}^2\text{с}$	$U_P = 10 \text{ кВ}$ $I_{Pmax} = 127 \text{ А}$ $i_{уд} = 9,2 \text{ кА}$ $B_k = 41 \text{ кА}^2\text{с}$	$U_H \geq U_P$ $I_H \geq I_{Pmax}$ $i_{скв} \geq i_{уд}$ $B_{к.ном} \geq B_k$
реклоузер		
$U_H = 10 \text{ кВ}$ $I_H = 630 \text{ А}$ $i_{скв} = 40 \text{ кА}$ $B_{к.ном} = 992 \text{ кА}^2\text{с}$	$U_P = 10 \text{ кВ}$ $I_{Pmax} = 127 \text{ А}$ $i_{уд} = 6,51 \text{ кА}$ $B_k = 12 \text{ кА}^2\text{с}$	$U_H \geq U_P$ $I_H \geq I_{Pmax}$ $i_{скв} \geq i_{уд}$ $B_{к.ном} \geq B_k$

#### 11.4 Выбор трансформаторов тока 10 кВ

На стороне 10 кВ для линейных ячеек ПС «Силикатная» выбираем трансформаторы тока ТОЛ-10-1 [10]. Аналогичным трансформатором тока оборудуем реклоузер 10 кВ на ТП-10 участка распределительных сетей 10 кВ района подключения станции биологической очистки сточных вод.

Выполнение расчёта по напряжению установки для выбора трансформатора тока 10 кВ осуществляется по приведенному выражению с применением

имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам:

$$U_{уст} \leq U_{ном}; \quad (63)$$

$$10 \text{ кВ} \leq 12,5 \text{ кВ}.$$

Выполнение расчёта по длительному расчётному току для выбора трансформатора тока 10 кВ осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам:

$$I_{рмах} \leq I_{ном}; \quad (64)$$

$$127 \text{ А} \leq 200 \text{ А}.$$

Выполнение расчёта по динамической стойкости возможно для проверки трансформатора тока 10 кВ осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам:

$$i_{уд} \leq i_{скв}; \quad (65)$$

$$9,2 \text{ кА} \leq 81 \text{ кА}.$$

Выполнение расчёта по термической устойчивости для проверки трансформатора тока 10 кВ осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам:

$$B_K = I_{n.o.K1}^2 \cdot (t_{отк} + T_a), \quad (66)$$

$$B_K = 6,24^2 \cdot (0,055 + 1,0) = 41 \text{ кА}^2\text{с},$$

$$B_{HK} = I_T^2 \cdot t_T, \quad (67)$$

$$B_{HK} = 16^2 \cdot 3 = 768 \text{ кА}^2\text{с}.$$

Результаты расчётов вторичной нагрузки трансформаторов тока 10 кВ систематизируются и представляются в табличном виде с разделением типу приборов, таблица 15.

Таблица 15 – Вторичная нагрузка трансформаторов тока 10 кВ [20]

Прибор	Тип	Нагрузка, В*А, фазы		
		А	В	С
Амперметр	Э-335		0.5	
Счетчик электрической энергии	Альфа А1800	0.12		0.12
		0.12		0.12
Ватметр	Д-335	0.5		0.5
Варметр	Д-335	0.5		0.5
Итого		1.24	0.5	1.24

Выполнение расчёта номинального сопротивление вторичной обмотки для проверки трансформатора тока 10 кВ осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам:

$$Z_{2H} = \frac{S_{2H}}{I_2^2}, \quad (68)$$

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

где  $S_{2H}$  - мощность вторичной обмотки, 12.5 ВА.

Выполнение расчёта сопротивления приборов для проверки трансформатора тока 10 кВ осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам:

$$r_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{I_2^2}, \quad (69)$$

$$r_{\text{приб}} = \frac{1.24}{5^2} = 0.0496 \text{ Ом.}$$

где  $S_{\text{ПРИБ}}$  – мощность подключенной нагрузки приборов;

$I_2$  – вторичный ток цепей измерения, 5 А.

Выполнение расчёта сопротивления проводов для проверки трансформатора тока 10 кВ осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам:

$$r_{\text{пр}} = \frac{\rho \cdot l}{q}, \quad (70)$$

$$r_{\text{пр}} = \frac{0.0283 \cdot 5}{4} = 0.035 \text{ Ом,}$$

где  $q$  – площадь сечения проводов, 4 мм<sup>2</sup>;

$\rho$  - удельное сопротивление проводов, 0,0283 Ом\*м/мм<sup>2</sup>;

$l$  - длина проводов, 5 м.

Выполнение расчёта расчётной вторичной нагрузки для проверки трансформатора тока 10 кВ осуществляется по приведенному выражению с приме-

нением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам:

$$r_2 = r_{\text{конт}} + r_{\text{пров}} + r_{\text{приб}}, \quad (71)$$

$$r_2 = 0.1 + 0.035 + 0.0496 = 0.23 \text{ Ом.}$$

где  $r_{\text{конт}}$  - сопротивление контактов, 0.1 Ом.

Выполнение расчёта по допустимой вторичной нагрузке для проверки трансформатора тока 10 кВ осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам:

$$Z_2 \leq Z_{2\text{НОМ}}, \quad (72)$$

$$0,23 \text{ Ом} \leq 0,5 \text{ Ом},$$

где  $Z_2$  – вторичная нагрузка трансформатора тока по расчётам;

$Z_{2\text{НОМ}}$  – номинальная вторичная нагрузка трансформатора тока.

По показанным формулам осуществляются расчёты для выбора и проверки трансформаторов тока 10 кВ района подключения станции биологической очистки сточных вод, результаты расчётов систематизируются и представляются в табличном виде с разделением по условиям проверки, таблица 16.

Таблица 16 – Выбор и проверка трансформаторов тока 10 кВ

Каталожные данные	Расчетные данные	Условия выбора
1	2	3
линейные		
$U_H = 10 \text{ кВ}$	$U_H = 10 \text{ кВ}$	$U_H \geq U_p$
$I_H = 200 \text{ А}$	$I_p = 127 \text{ А}$	$I_H \geq I_{p\text{max}}$
$Z_{2H} = 0.4 \text{ Ом}$ (для класса точности 0.5)	$Z_{Hp} = 0.23 \text{ Ом}$	$Z_{2H} \geq Z_{Hp}$
$B_{KH} = 768 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_{Kp} = 41 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_{KH} \geq B_{Kp}$
$I_{дин} = 81 \text{ кА}$	$I_{уд} = 9,2 \text{ кА}$	$I_{дин} \geq I_{уд}$

1	2	3
реклоузер		
$U_H = 10 \text{ кВ}$	$U_H = 10 \text{ кВ}$	$U_H \geq U_P$
$I_H = 200 \text{ А}$	$I_P = 127 \text{ А}$	$I_H \geq I_{Pmax}$
$Z_{2H} = 0.4 \text{ Ом}$ (для класса точности 0.5)	$Z_{HP} = 0.23 \text{ Ом}$	$Z_{2H} \geq Z_{HP}$
$V_{KH} = 768 \text{ кА}^2\text{с}$	$V_{KP} = 12 \text{ кА}^2\text{с}$	$V_{KH} \geq V_{KP}$
$I_{дин} = 81 \text{ кА}$	$I_{уд} = 6,51 \text{ кА}$	$I_{дин} \geq I_{уд}$

### 11.5 Выбор трансформатора напряжения 10 кВ

На стороне 10 кВ для линейных ячеек ПС «Силикатная» выбираем трансформаторы напряжения НАМИ-10У3 [16].

Выполнение расчёта по напряжению установки для выбора трансформатора напряжения 10 кВ осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам:

$$U_{уст} \leq U_{ном}; \tag{73}$$

$$10 \text{ кВ} \leq 12,5 \text{ кВ}.$$

Результаты расчётов вторичной нагрузки трансформаторов напряжения 10 кВ систематизируются и представляются в табличном виде с разделением типу приборов, таблица 17.

Таблица 17 – Вторичная нагрузка трансформаторов напряжения 10 кВ [20]

Прибор	Тип	Потребляемая мощность одной катушки	В*А	Число катушек	Cos φ	Sin φ	Общая потребляемая мощность	
							Р, Вт	Q, В*А
Вольтметр	Э-335	2		1	1	0	2	-
Ватметр	Д-335	1,5		2	1	0	3	-
Счетчик	Альфа А1800	3.6 Вт		5	0.38	0.925	18	43.8
Счетчик	Альфа А1800	3.6 Вт		5	0.38	0.925	18	43.8
Итого	-	-		-	-	-	36	87.6

Выполнение расчёта расчётной вторичной нагрузки для проверки трансформатора напряжения 10 кВ осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной информации по используемым в расчётах величинам:

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{P_{\text{приб}}^2 + Q_{\text{приб}}^2}, \quad (74)$$

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{36^2 + 87,6^2} = 94,7 \text{ ВА.}$$

Выполнение расчёта по допустимой вторичной нагрузке для проверки трансформатора напряжения 10 кВ осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам:

$$S_{2\Sigma} \leq S_{\text{ном}}, \quad (75)$$

$$94,7 \text{ ВА} \leq 150 \text{ ВА,}$$

где  $S_{\text{ном}}$  – номинальная вторичная нагрузка трансформатора напряжения, ВА;

$S_{2\Sigma}$  - вторичная нагрузка трансформатора напряжения по расчётам, ВА.

По показанным формулам осуществляются расчёты для выбора и проверки трансформаторов напряжения 10 кВ района подключения станции биологической очистки сточных вод, результаты расчётов систематизируются и представляются в табличном виде с разделением по условиям проверки, таблица 18.

Таблица 18 – Выбор и проверка трансформатора напряжения 10 кВ

Расчетные данные	Каталожные данные	Условия выбора
$U_H = 10 \text{ кВ}$ $S_P = 94,7 \text{ ВА}$	$U_{HT} = 10 \text{ кВ}$ $S_H = 150 \text{ ВА}$ (для класса точности 0,5)	$U_{HT} \geq U_H$ $S_H \geq S_P$

## 11.6 Выбор ограничителей перенапряжений

На стороне 10 кВ для линейных ячеек ПС «Силикатная» выбираем ограничители перенапряжения ОПН – РВ/TEL У1 [16].

Выполнение расчёта энергии поглощения для выбора ОПН 10 кВ осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам:

$$\mathcal{E} = \frac{U - U_{ост}}{z} \cdot U_{ост} \cdot 2 \cdot T \cdot n, \quad (76)$$

$$\mathcal{E} = \frac{60 - 43}{0,485} \cdot 43 \cdot 2 \cdot 7,94 \cdot 10^{-9} \cdot 20 = 0,0011 \text{ кВт},$$

где  $U$  - величина неограниченного перенапряжения ограничителей перенапряжения 10 кВ, 60 кВ, [19];

$U_{ост}$  - остающееся напряжение ограничителей перенапряжения 10 кВ, 43 кВ;

$z$  - волновое сопротивление провода, 485 Ом;

$n$  - количество последовательных токовых импульсов;

$T$  - время распространения волны.

Выполнение расчёта времени распространения волны для выбора ОПН 10 кВ осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам:

$$T = \frac{l}{v}, \quad (77)$$

$$T = \frac{2500}{3,15 \cdot 10^8} \cdot 10^6 = 7,94 \text{ мкс};$$

где  $l$  - длина защищенного подхода, 2,5 км;

$v$  - скорость распространения волны.

Выполнение расчёта удельной энергоёмкости для выбора ОПН 10 кВ осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам:

$$\mathcal{E}^* = \frac{\mathcal{E}}{U_{\text{номОПН}}}, \quad (78)$$

$$\mathcal{E}^* = \frac{0,0011}{10} = 0,00011 \text{ кВт/кВ.}$$

где  $U_{\text{номОПН}}$  - номинальное напряжение ОПН, 10 кВ;

Допускается применение ограничителей перенапряжения с минимальной удельной энергоёмкостью.

### 11.7 Выбор предохранителей трансформаторов напряжения

На стороне 10 кВ для ячеек ТН ПС «Силикатная» выбираем предохранители 10 кВ ПКТ101-10-10-20У1 [16].

Выполнение расчёта по напряжению установки для выбора предохранителей 10 кВ осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам:

$$U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном}}; \quad (79)$$

$$10 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ.}$$

Выполнение расчёта по длительному расчётному току для выбора предохранителей 10 кВ осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам:

$$I_{\text{раб.мак}} = \frac{S_{\text{тн}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}}; \quad (80)$$

$$I_{\text{раб.мак}} = \frac{150}{\sqrt{3} \cdot 10} = 8,7 \text{ A};$$

$$I_{\text{рмах}} \leq I_{\text{ном}}; \quad (81)$$

$$8,7 \text{ A} \leq 10 \text{ A}.$$

Выполнение расчёта по отключающей способности для выбора предохранителей 10 кВ осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам:

$$I_{\text{по}} \leq I_{\text{откл ном}}; \quad (82)$$

$$6,24 \text{ кА} \leq 20 \text{ кА}.$$

По показанным формулам осуществляются расчёты для выбора и проверки предохранителей 10 кВ района подключения станции биологической очистки сточных вод, результаты расчётов систематизируются и представляются в табличном виде с разделением по условиям проверки, таблица 19.

Таблица 19 – Выбор и проверка предохранителей 10 кВ

Справочные данные	Расчётные данные	Условия выбора
$U_{\text{уст}} = 10 \text{ кВ}$ $I_{\text{ном}} = 10 \text{ A}$ $I_{\text{откл}} = 20 \text{ кА}$	$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$ $I_{\text{рмах}} = 8,7 \text{ A}$ $I_{\text{по}} = 6,24 \text{ кА}$	$U_{\text{уст}} \geq U_{\text{ном}}$ $I_{\text{ном}} \geq I_{\text{рмах}}$ $I_{\text{откл}} \geq I_{\text{по}}$

### 11.8 Выбор жестких шин на стороне 10 кВ

На стороне 10 кВ для ячеек КРУ ПС «Силикатная» выбираем однополюсные алюминиевые шины прямоугольного сечения  $60 \times 8 \text{ мм}^2$ , марки АДЗ1Т [16].

Выполнение расчёта по длительному расчётному току для выбора шин 10 кВ осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам:

$$I_{\text{рmax}} \leq I_{\text{ном}}; \quad (83)$$

$$127 \text{ A} \leq 1025 \text{ A}.$$

Выполнение расчёта минимального сечения по условию термической стойкости для проверки шин 10 кВ осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам:

$$q_{\text{min}} = \frac{\sqrt{B_k}}{C}; \quad (84)$$

$$q_{\text{min}} = \frac{\sqrt{41 \cdot 10^6}}{91} = 70,2 \text{ мм}^2.$$

Выполнение расчёта минимального пролёта по условию резонанса на частоте 200 Гц для проверки шин 10 кВ осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам:

$$l^2 \leq \frac{173,2}{200} \cdot \sqrt{\frac{J}{q}}, \quad (85)$$

$$l^2 \leq \frac{173,2}{200} \cdot \sqrt{\frac{14,4}{4,8}},$$

$$l \leq 1.34 \text{ м},$$

где  $J$  - момент инерции шины;

$q$ - поперечное сечение шины, равное  $4,8 \text{ см}^2$ .

В КРУ К-63 ПС Силикатная устраивается расположение шин плашмя, при этом пролёт по условию резонанса принимается  $1.2 \text{ м}$ .

Выполнение расчёта момента инерции для проверки шин  $10 \text{ кВ}$  осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам:

$$J = \frac{b \cdot h^3}{12}; \quad (86)$$

$$J = \frac{0.8 \cdot 6^3}{12} = 14.4 \text{ см}^4,$$

где  $b$  – толщина однополосной шины,  $0,8 \text{ см}$ ;

$h$ - высота однополосной шины,  $6 \text{ см}$ .

Выполнение расчёта момента сопротивления для проверки шин  $10 \text{ кВ}$  осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам:

$$W = \frac{b^2 \cdot h}{6}; \quad (87)$$

$$W = \frac{0.8^2 \cdot 6}{6} = 0.64 \text{ см}^3.$$

Выполнение расчёта механического напряжения для проверки шин  $10 \text{ кВ}$  осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам:

$$\sigma_{РАСЧ} = \sqrt{3} \cdot 10^{-8} \cdot \frac{i_{уд}^2 \cdot l^2}{W \cdot a}, \quad (88)$$

$$\sigma_{РАСЧ} = \sqrt{3} \cdot 10^{-8} \cdot \frac{9,2^2 \cdot 1,2^2}{0,64 \cdot 0,8} = 4,1 \text{ МПа},$$

где  $W$  - момент сопротивления шины,  $\text{см}^3$ ,

$a$  - расстояние между фазными полосами шин, 0,8 м;

$l$  - длина пролета между опорными изоляторами, 1,2 м.

Выполнение расчёта по механической прочности с учётом старения материала для проверки шин 10 кВ осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам:

$$\sigma_{расч} < \sigma_{доп}, \quad (89)$$

$$4,1 < 75 \text{ МПа}.$$

$$\sigma_{доп} \leq 0,7 \sigma_{разр}, \quad (90)$$

$$75 \leq 0,7 \cdot 130 = 91 \text{ МПа}.$$

По показанным формулам осуществляются расчёты для выбора и проверки жёстких шин 10 кВ района подключения станции биологической очистки сточных вод, результаты расчётов систематизируются и представляются в табличном виде с разделением по условиям проверки, таблица 20.

Таблица 20 – Выбор жёстких шин 10 кВ

Расчётные данные	Справочные данные	Условия выбора
$I_{\max} = 127 \text{ А}$ $\sigma_{расч} = 4,1 \text{ МПа}$ $q_{\min} = 2,2 \text{ мм}^2$	$I_{доп} = 1025 \text{ А}$ $\sigma_{доп} = 75 \text{ МПа}$ $q = 480 \text{ мм}^2$	$I_{доп} \geq I_{\max}$ $\sigma_{доп} \geq \sigma_{расч}$ $q \geq q_{\min}$

Все условия удовлетворяют ранее выбранному сплаву и сечению шин.

### 11.9 Выбор изоляторов

Выбираются опорные изоляторы марки ИОС -10-500 УХЛ [16].

Выполнение расчёта фактической механической нагрузки на изолятор 10 кВ осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам:

$$F_{расч} = \sqrt{3} \frac{i_{уд}^2 \cdot l}{a} \cdot 10^{-7}, \quad (91)$$

$$F_{расч} = \sqrt{3} \cdot \frac{9,2^2 \cdot 1,2}{0,8} \cdot 10^{-7} = 22 \text{ Н.}$$

Выполнение расчёта допустимой механической нагрузки на опорный изолятор 10 кВ осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам:

$$F_{дон} = 0,6 \cdot F_{разр}, \quad (92)$$

$$F_{дон} = 0,6 \cdot 3000 = 1800 \text{ Н.}$$

По показанным формулам осуществляются расчёты для выбора и проверки опорных изоляторов 10 кВ района подключения станции биологической очистки сточных вод, результаты расчётов систематизируются и представляются в табличном виде с разделением по условиям проверки, таблица 21.

Таблица 21 – Выбор опорных изоляторов 10 кВ

Расчётные данные	Справочные данные	Условия выбора
$U_p = 10 \text{ кВ}$	$U_H = 10 \text{ кВ}$	$U_H \geq U_p$

$F_{\text{РАСЧ}} = 22 \text{ Н}$	$F_{\text{ДОП}} = 2400 \text{ Н}$	$F_{\text{ДОП}} \geq F_{\text{РАСЧ}}$
----------------------------------	-----------------------------------	---------------------------------------

Выбираются проходные изоляторы марки ИП-10/1000-750 УХЛ1.

Выполнение расчёта допустимой механической нагрузки на проходной изолятор 10 кВ осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам:

$$F_{\text{доп}} = 0.6 \cdot F_{\text{расч}}, \quad (93)$$

$$F_{\text{доп}} = 0.6 \cdot 7500 = 4500 \text{ Н}$$

По показанным формулам осуществляются расчёты для выбора и проверки проходных изоляторов 10 кВ района подключения станции биологической очистки сточных вод, результаты расчётов систематизируются и представляются в табличном виде с разделением по условиям проверки, таблица 22.

Таблица 22 – Выбор проходных изоляторов 10 кВ

Расчётные данные	Справочные данные	Условия выбора
$U_p = 10 \text{ кВ}$	$U_n = 10 \text{ кВ}$	$U_n \geq U_p$
$F_{\text{РАСЧ}} = 22 \text{ Н}$	$F_{\text{ДОП}} = 4500 \text{ Н}$	$F_{\text{ДОП}} \geq F_{\text{РАСЧ}}$
$I_p = 127 \text{ А}$	$I_n = 1000 \text{ А}$	$I_n \geq I_p$

## 12 ВЫБОР ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПОДСТАНЦИЙ

### 12.1 Выбор предохранителей 10 кВ

На стороне 10 кВ ТП выбираем предохранители марки ПК1 – 10У1 [16].

Выполнение расчёта расчётного тока для выбора предохранителей 10 кВ на ТП-10 осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам:

$$I_{РАСЧ} = \frac{S_{ТП}}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ}}; \quad (94)$$

$$I_{РАСЧ} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 10} = 36 \text{ А}.$$

Выполнение расчёта для выбора предохранителей 10 кВ на ТП-10 осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам:

$$I_{расч} \leq I_{номВст} \leq I_{номПР}; \quad (95)$$

$$36 \text{ А} \leq 40 \text{ А} \leq 80 \text{ А},$$

где  $I_{номПР}$  - номинальный ток предохранителя, 80 А;

$I_{номВст}$  - номинальный ток вставки предохранителя, 40 А.

По показанным формулам осуществляются расчёты для выбора и проверки предохранителей 10 кВ района подключения станции биологической очист-

ки сточных вод, результаты расчётов систематизируются и представляются в табличном виде с разделением по ТП, таблица 23.

Таблица 23 – Выбор предохранителей 10 кВ ТП

№ ТП	S <sub>ном</sub> , кВА	I <sub>расч</sub> , А	I <sub>номпр</sub> , А	I <sub>вст</sub> , А	Тип предохранителя
ТП 10	630	36	80	40	ПКТ101 – 10У1
ТП 11	400	23	80	40	ПКТ101 – 10У1
ТП 12	400	23	80	40	ПКТ101 – 10У1
ТП 25	160	9	20	10	ПКТ101 – 10У1
ТП 1	630	36	80	40	ПКТ101 – 10У1

## 12.2 Выбор выключателей нагрузки

На стороне 10 кВ ТП выбираем выключатели нагрузки ВМП - 10/400 [16].

Выполнение расчёта по напряжению установки для выбора выключателей нагрузки 10 кВ осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам:

$$U_{уст} \leq U_{ном}; \quad (96)$$

$$10 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ}.$$

Выполнение расчёта по длительному расчётному току для выбора выключателей нагрузки 10 кВ ТП-10 осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам:

$$I_{рмах} \leq I_{ном}; \quad (97)$$

$$36 \text{ А} \leq 400 \text{ А}.$$

Выполнение расчёта по динамической стойкости возможно для проверки выключателей нагрузки 10 кВ ТП-10 осуществляется по приведенному выра-

жению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам:

$$i_{уд} \leq i_{скв}; \quad (98)$$

$$6,51 \text{ кА} \leq 30 \text{ кА}.$$

Выполнение расчёта по термической устойчивости для проверки выключателей нагрузки 10 кВ на ТП-10 осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам:

$$B_k = I_{но.ТП10}^{(3)2} \cdot (t_{отк} + T_a); \quad (99)$$

$$B_k = 4,58^2 \cdot (0,055 + 1,5) = 32,6 \text{ кА}^2\text{с};$$

$$B_{Кном} = I_{терм}^2 \cdot t_{терм}; \quad (100)$$

$$B_{Кном} = 10^2 \cdot 4 = 400 \text{ кА}^2\text{с};$$

где  $t_{отк}$  - собственное время отключения выключателя нагрузки, 0.055с.

По показанным формулам осуществляются расчёты для выбора и проверки выключателей нагрузки 10 кВ района подключения станции биологической очистки сточных вод, результаты расчётов систематизируются и представляются в табличном виде с разделением по ТП, таблица 24.

Таблица 24 - Выбор выключателей нагрузки ТП

Наименование	$I_p$ ТП, А	$I_n$ , А	$B_{кр}$ , кА <sup>2</sup> с	$B_{кн}$ , кА <sup>2</sup> с	$I_{уд}$ , кА	$I_{дин}$ , кА
ТП 10	36	400	32,6	400	6,51	30
ТП 11	23	400	30,9	400	7,79	30
ТП 12	23	400	10,7	400	4,51	30
ТП 25	9	400	21,6	400	9,20	30
ТП 1	36	400	16,3	400	7,79	30

### 13 КОМПЕНСАЦИЯ ЕМКОСТНЫХ ТОКОВ ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ

Выполнение расчёта ёмкостного тока осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам [21]:

$$I_c = \frac{U_H \cdot L_{ВЛ}}{350}; \quad (101)$$

$$I_c = \frac{10 \cdot 3,95}{350} = 0,11 \text{ А.}$$

где  $U_H$  – номинальное напряжение сети, кВ;

$L_{ВЛ}$  – суммарная длина воздушных линий, км.

Расчётная величина не превышает 20 А, мероприятия по компенсации величины тока 0,11 А не предусматриваются.

## 14 РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА

### 14.1 Токовая отсечка без выдержки времени

Используются микропроцессорные терминалы Сириус-Л, для которых рассчитываются уставки срабатывания, выдержки времени и коэффициенты чувствительности выбранных комплектов защит [25].

Выполнение расчёта коэффициента трансформации трансформатора тока для линии ТП 25-11-10 осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам:

$$n_T = \frac{I_{ВН}}{I_{НН}}; \quad (102)$$

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

где  $I_{ВН}$  - первичный ток трансформатора тока, 200 А;

$I_{НН}$  - вторичный ток трансформатора тока, 5 А.

Выполнение расчёта первичного тока срабатывания токовой отсечки для линии ТП 25-11-10 осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам:

$$I_{с.з.} = k_n \cdot I_{к.мах}^{(3)}, \quad (103)$$

$$I_{с.з.} = 1,1 \cdot 6,24 = 6,84 \text{ кА},$$

где  $k_n$  – коэффициент надежности, принимаемый для микропроцессорной защиты равным 1,1;

$I_{к.мах}^{(3)}$  – ток трехфазного КЗ в начале линии на ТП 25.

Выполнение расчёта чувствительности токовой отсечки для линии ТП 25-11-10 осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{КЗ}}^{(2)}}{I_{\text{С.З.}}}, \quad (104)$$

$$K_{\text{ч}} = \frac{3,99}{6,86} = 0,6 \leq 2,$$

где  $I_{\text{КЗ}}^{(2)}$  – ток двухфазного КЗ в конце линии на ТП 10.

Расчётная чувствительность ниже требуемой, используется выдержка времени срабатывания отсечки:

$$t_{\text{с.з.}} \approx 0,5 \text{ с.}$$

Выполнение расчёта вторичного тока срабатывания токовой отсечки для линии ТП 25-11-10 осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам:

$$I_{\text{С.Р.}} = k_{\text{СХ}} \frac{I_{\text{С.З.}}}{n_T}, \quad (105)$$

$$I_{\text{С.Р.}} = 1 \cdot \frac{6864}{40} = 172 \text{ А.}$$

По показанным формулам осуществляются расчёты токовой отсечки для сетей 10 кВ района подключения станции биологической очистки сточных вод, результаты расчётов систематизируются и представляются в табличном виде с разделением по участкам сети, таблица 25.

Таблица 25 – Расчёт ТО

Линия	$I_{(3)по}$ , кА	$I_{(2)по}$ , кА	Расчётный ток линии, А	$I_{НТТ}$ , А	Токовая отсечка			
					$I_{с.з.}$ кА	пТ	$I_{с.р.}$ А	$K_{ч}$ (больше 2)
ТП 25-11-10	6,24	3,99	127	200	6,864	40	172	0,58
ТП 1-12	5,41	2,78	127	200	5,955	40	149	0,47

#### 14.2 Максимальная токовая защита линий

Выполнение расчёта первичного тока срабатывания максимальной токовой защиты для линии ТП 25-11-10 осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам, кА:

$$I_{с.з.} = I_{раб.} \cdot k_H \cdot k_{с.з.} / k_{в} \quad (106)$$

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

где  $k_H$  – коэффициент надежности,  $k_H = 1,1$ ;

$k_{с.з.}$  – коэффициент запуска двигателей, принимаемый равным 1;

$k_{в}$  – коэффициент возврата,  $k_{в} = 0,95$ ;

$I_{раб.}$  – максимальный рабочий ток защищаемой линии, А.

Выполнение расчёта чувствительности максимальной токовой защиты для линии ТП 25-11-10 осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам:

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

$$K_{\text{ч}} = \frac{3,99}{0.232} = 17 \geq 1,5.$$

Выполнение расчёта вторичного тока срабатывания максимальной токовой защиты для линии ТП 25-11-10 осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам, А:

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

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

где  $k_{\text{сх}}$  – коэффициент схемы,  $k_{\text{сх}} = 1$ .

Выполнение расчёта времени срабатывания максимальной токовой защиты для линии ТП 25-11-10 осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам, с:

$$t_{\text{с.з.}} = t_{\text{р.з.}} + \Delta t, \quad (109)$$

$$t_{\text{с.з.}} = 0,025 + 0,5 = 0,525.$$

где  $\Delta t$  – ступень селективности, 0,5 с;

$t_{\text{р.з.}}$  – время срабатывания терминала защиты, 0,025 с.

По показанным формулам осуществляются расчёты для максимальной токовой защиты сетей 10 кВ района подключения станции биологической

очистки сточных вод, результаты расчётов систематизируются и представляются в табличном виде с разделением по участкам сети, таблица 26.

Таблица 26 – Расчёт МТЗ

Линия	I <sub>(3)по</sub> , кА	I <sub>(2)по</sub> , кА	Расчёт- ный ток линии, А	I <sub>н тт</sub> , А	МТЗ		
					I <sub>с.з.</sub> кА	I <sub>с.р.</sub> А	K <sub>ч</sub> (больше 1,5)
ТП 25-11-10	6,24	3,99	127	200	0,232	6	17
ТП 1-12	5,41	2,78	127	200	0,232	6	12

### 14.3 Защита от однофазных замыканий на землю

Выполнение расчёта тока замыкания на землю защиты от замыкания на землю для линии ТП 25-11-10 осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам, А:

$$I_{повр.л} = \frac{U_H \cdot L_{ВЛ}}{350}; \quad (110)$$

$$I_{повр.л} = \frac{10 \cdot 1,2}{350} = 0,03.$$

Выполнение расчёта тока через трансформатор тока нулевой последовательности защиты от замыкания на землю для линии ТП 25-11-10 осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам, А:

$$I_{ТНП.повр.л} = I_{ЗНЗ} - I_{повр.л}, \quad (111)$$

$$I_{ТНП.повр.л} = 0,11 - 0,03 = 0,08.$$

где  $I_{ЗНЗ}$  – суммарный емкостной ток сети, 0,11 А.

$I_{повр.л}$  – ток замыкания на землю линии ТП 25-11-10, А.

Выполнение расчёта первичного тока срабатывания защиты от замыкания на землю для линии ТП 25-11-10 осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам, А:

$$I_{с.з.} = I_{ТНП.повр.л} / k_{ч} \quad (112)$$

$$I_{с.з.} = 0,08 / 1,5 = 0,05.$$

где  $I_{ТНП.повр.л}$  – ток, протекающий через трансформатор тока нулевой последовательности, А:

$k_{ч}$  - коэффициент чувствительности, который для ВЛЭП равен 1,5 по выражению, А:

По показанным формулам осуществляются расчёты для защиты от замыкания на землю сетей 10 кВ района подключения станции биологической очистки сточных вод, результаты расчётов систематизируются и представляются в табличном виде с разделением по участкам сети, таблица 27.

Таблица 27 – Расчёт ЗНЗ

Линия	$I_{повр.л}$ , А	$I_{ТНП.повр.л}$ , А	$I_{с.з.}$ , А
ТП 25-11-10	0,03	0,08	0,05
ТП 1-12	0,05	0,06	0,04

#### 14.4 Устройства автоматического включения резерва

В случае пропадания напряжения на одной из секций шин ПС Силикатная и двухтрансформаторной ТП используются устройства автоматического включения резерва с пуском по напряжению.

Выполнение расчёта напряжения срабатывания АВР осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам, В:

$$U_{с.з.} = (0,25 \div 0,40) \cdot U_{ном} \quad (113)$$

$$U_{с.з.ПС} = 0,4 \cdot 10000 = 400 \text{ В};$$

$$U_{с.з.ТП} = 0,4 \cdot 400 = 160 \text{ В}.$$

Выполнение расчёта выдержки времени срабатывания АВР осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам, В:

$$t_{с.з.АВР} = t_{р.з.} + \Delta t, \quad (114)$$

$$t_{с.з.АВР} = 0,525 + 0,5 = 1,025 \text{ с}.$$

#### 14.5 Защита понижающих трансформаторов ТП

Производится выбор защиты для ТП-10 с трансформаторами мощностью 630 кВА.

Выполнение расчёта тока срабатывания токовой отсечки осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам:

$$I_{с.з.} = \frac{K_n \cdot K_{сам}}{K_B} \cdot I_{раб.макс}, \quad (115)$$

$$I_{с.з.} = \frac{1,25 \cdot 2}{0,8} \cdot 36,79 = 114,9 \text{ А},$$

где  $I_{\text{раб.макс}}$  - номинальный ток стороны ВН;

$K_n$  - коэффициент надежности, допускается изменять от 1.2 до 1.3;

$K_{\text{сам}}$  - коэффициент самозапуска, допускается изменять от 1.5 до 2;

$K_B$  - коэффициент возврата, допускается изменять от 0,8 до 0,85.

Выполнение расчёта тока срабатывания токовой отсечки по условию селективности осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам:

$$I_{\text{с.о}} \leq k_n \cdot I_{\text{к.макс}}^{(3)}, \quad (116)$$

$$I_{\text{с.о}} \leq 1,3 \cdot 5,41 = 7 \text{ кА},$$

где  $I_{\text{к.макс}}^{(3)}$  - ток трехфазного КЗ за трансформатором, приведенное к стороне высшего напряжения;

$k_n$  - коэффициент надежности, принимаемый равным 1,2 – 1,3.

Выполнение расчёта тока срабатывания реле токовой отсечки осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам:

$$I_{\text{ср.р}} = I_{\text{с.з}} \cdot \frac{k_{\text{сх}}}{n_m}, \quad (117)$$

$$I_{\text{ср.р}} = 7000 \cdot \frac{1}{10} = 700 \text{ А},$$

где  $k_{\text{сх}}$  - коэффициент схемы, 1;

$n_m$  - коэффициент трансформации трансформаторов тока, 10.

Выполнение расчёта чувствительности токовой отсечки осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам:

$$k_u \geq k'_u \cdot \frac{I_{к.мин}^{(2)}}{I_{с.з}}, \quad (118)$$

$$k_u \geq 1 \cdot \frac{5410 \cdot 0,87}{700} = 6,7,$$

где  $I_{к.мин}^{(2)}$  - ток двухфазного КЗ в минимальном режиме;

$k'_u$  - коэффициент, учитывающий расчетный вид и место КЗ, 1.

Чувствительность токовой отсечки достаточная, что позволяет комплекту защиты своевременно реагировать на короткие замыкания.

Время срабатывания токовой отсечки:

$$t_{с.з.ТО} = 0 с.$$

Выполнение расчёта тока срабатывания максимальной токовой защиты осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам:

$$I_{с.з.} = \frac{K_n \cdot K_{сам}}{K_B} \cdot I_{раб.макс}, \quad (119)$$

$$I_{с.з.} = \frac{1,25 \cdot 2}{0,8} \cdot 36,79 = 114,9 А,$$

где  $I_{раб.макс}$  - первичный номинальный ток;

$K_n$  - коэффициент надежности, допускается изменять от 1.2 до 1.3;

$K_{сам}$  - коэффициент самозапуска, допускается изменять от 1.5 до 2;

$K_B$  - коэффициент возврата, допускается изменять от 0,8 до 0,85.

Выполнение расчёта чувствительности максимальной токовой защиты осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам:

$$K_{\psi} = \frac{I_{K3}^{(3)} \cdot 0.87}{I_{c.з.} \cdot K_T} \geq 1.5, \quad (120)$$

$$K_{\psi} = \frac{5410 \cdot 0.87}{114,9 \cdot 25} = 1,64 \geq 1.5,$$

Чувствительность максимальной токовой защиты достаточная, что позволяет комплекту защиты своевременно реагировать на короткие замыкания.

Выполнение расчёта времени срабатывания максимальной токовой защиты осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам:

$$t_{c.з. MTЗ} = t_{np \max} + \Delta t, \quad (121)$$

$$t_{c.з. MTЗ} = 0 + 0.5 = 0,5 \text{ с.}$$

Выполнение расчёта тока срабатывания реле максимальной токовой защиты осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам:

$$I_{c.p.} = K_{cx} \cdot \frac{I_{c.з.}}{n_{TA}}, \quad (122)$$

$$I_{c.p.} = \frac{\sqrt{3} \cdot 114,9}{10} = 20 \text{ A}.$$

#### 14.6 Сигнализация

С целью повышения наблюдаемости распределительных сетей 10 кВ считается обоснованной установка комплектов сигнализации на трансформаторных подстанциях 10/0,4 кВ для передачи информации на диспетчерский пункт о положении и состоянии основного коммутационного оборудования.

Основные комплекты сигнализации, используемые в распределительной сети 10 кВ с центром питания ПС Силикатная способны передавать блоки информации с данными по:

- 1) Положению «включено» - «выключено» фидеров и выключателей ТП;
- 2) Срабатыванию защиты фидеров и ТП;
- 3) Срабатыванию защиты трансформаторов ТП;
- 4) Срабатыванию защиты о режиме работы трансформаторов ТП;
- 5) Срабатыванию защиты секции шин 10 кВ ТП;
- 6) Срабатыванию защиты вторичных цепей ТП.

На двухобмоточных трансформаторах ТП со стороны ВН устанавливается один амперметр в одну из фаз, ввиду симметричности нагрузки бытовых потребителей.

На двухобмоточных трансформаторах ТП со стороны НН устанавливается комплект амперметров в каждую из фаз, ввиду режима работы с заземленной нейтралью стороны НН.

## 15 НАДЁЖНОСТЬ СХЕМЫ 10 кВ

Для количественной оценки показателей надёжности распределительных сетей 10 кВ района подключения станции биологической очистки сточных вод, используется вероятностный метод, [23].

Графически исходная схема сети, используемая для распределительных сетей 10 кВ, к которым будет осуществляться подключение станции биологической очистки сточных вод в п. Белогорье Амурской области показана на рисунке 7.

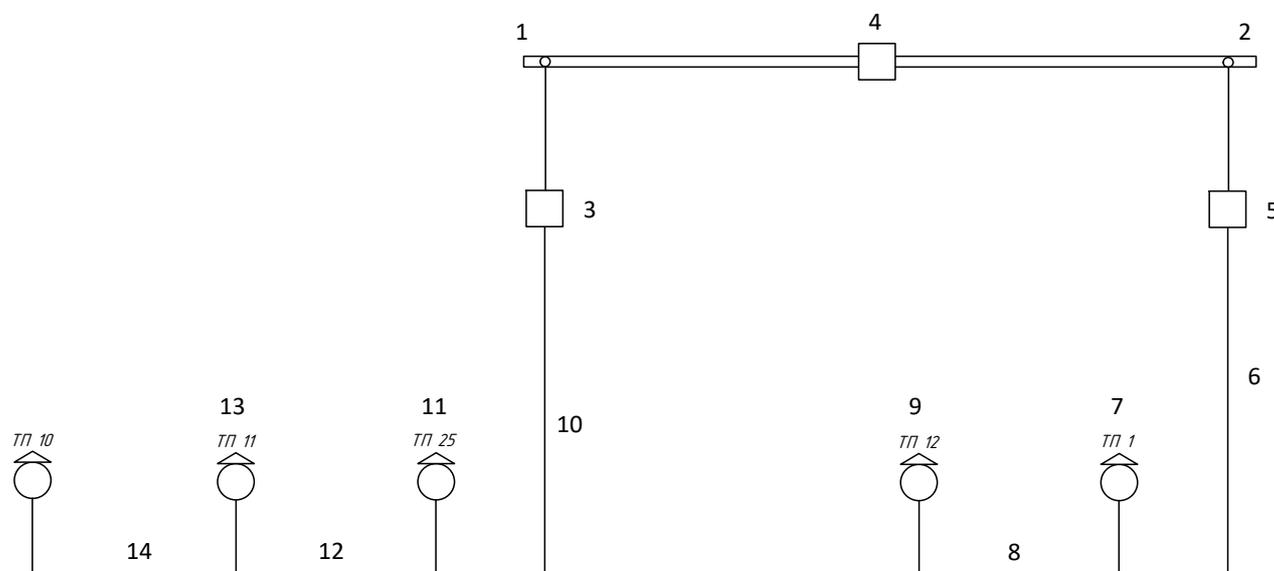


Рисунок 7 - Схема нормального режима сети 10 кВ

По показанным данным осуществляются расчёты показателей надёжности сети 10 кВ района подключения станции биологической очистки сточных вод, результаты расчётов систематизируются и представляются в табличном виде с разделением по элементам сети 10 кВ, таблица 28.

Таблица 28 - Показатели надёжности, [24]

Элемент	$\omega$ , 1/Г	$T_{в}$ , ч	$\mu$ , 1/Г	$T_{р}$ , ч	$a_{кз}$	$a_{о.п.}$
Линия 10 кВ	0,075	16	1	2	—	—

Выключатель на U=10 кВ	0,015	4,5	0,15	4	0,0027	0,0022
Шины 10 кВ	0,03	7	0,166	5	–	–
Трансформатор 10 кВ	0,05	6	0,4	6	–	–

Графически схема замещения сети, используемая для распределительных сетей 10 кВ, к которым будет осуществляться подключение станции биологической очистки сточных вод в п. Белогорье Амурской области показана на рисунке 8.

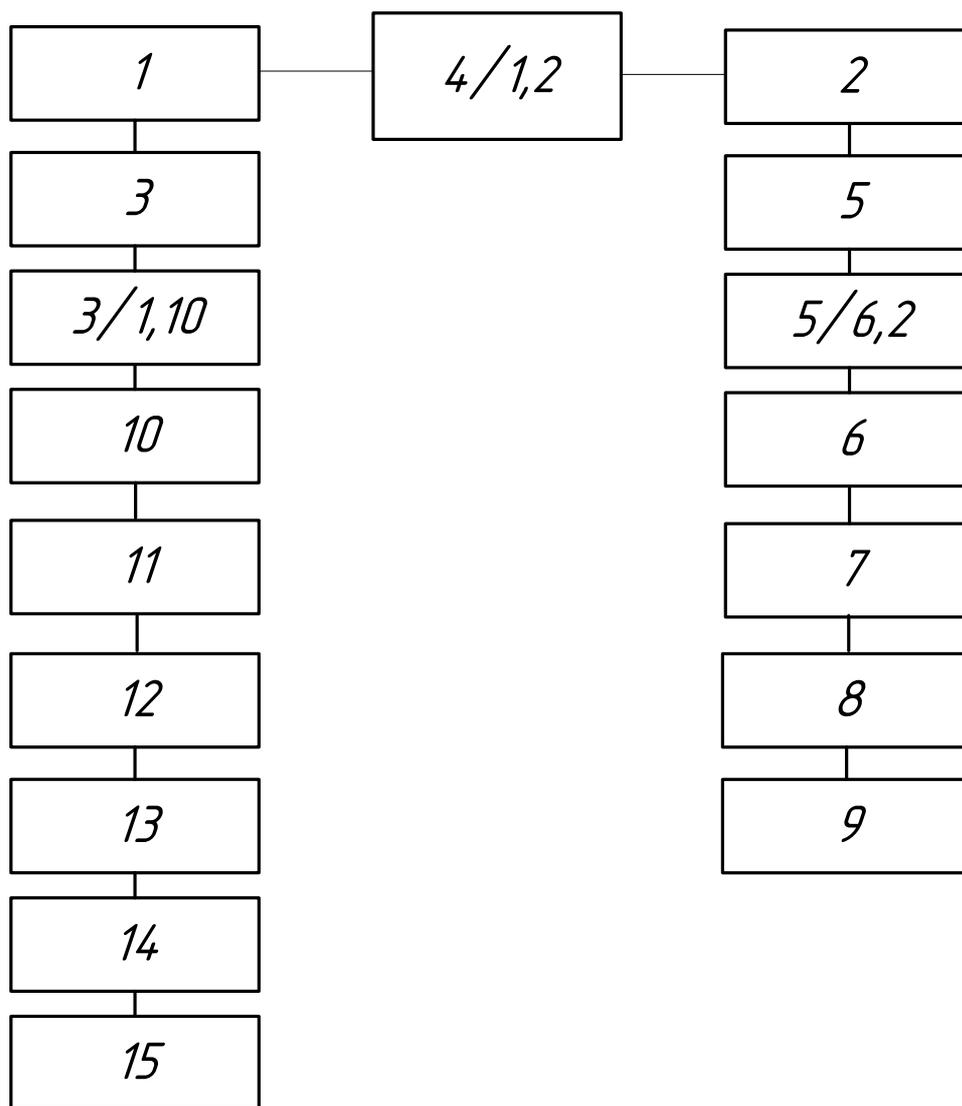


Рисунок 8 – Схема замещения сети 10 кВ

Выполнение расчёта вероятности отказа участка линии 10 кВ осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам:

$$q = \frac{\omega \cdot T_{\text{в}}}{T_{\text{г}}} ; \quad (123)$$

$$q_{\text{л10}} = \frac{0,075 \cdot 0,7 \cdot 16}{8760} = 9,589 \cdot 10^{-5} ;$$

где  $\omega$  - частота отказов, 1/г;

$T_{\text{в}}$  - время восстановления элемента, час;

$T_{\text{г}}$  - количество часов в году.

Выполнение расчёта вероятности отказа выключателей 10 кВ с учетом смежных элементов осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам:

$$q_B = q_{\text{см}} + a_{\text{кз}} \cdot (1 + a \cdot K_{\text{АПВ}}) \cdot (1 - \sum_{i=1}^n (1 - q_{\text{ипз}})) \cdot (1 - \sum_{i=1}^n (1 - q_{\text{јсм}})) + a_{\text{он}} \cdot N_{\text{он}} ; \quad (124)$$

$$q_{\text{см}} = q_{\text{в}} + n \cdot q_{\text{п}} ; \quad (125)$$

$$q_{B-3} = 7,705 \cdot 10^{-6} + 0,0027 \cdot (1 + 1 \cdot 0) \cdot (1 - (1 - 0,002)) \cdot (1 - (1 - 7,705 \cdot 10^{-6}) \cdot (1 - 9,589 \cdot 10^{-5})) + 0,0022 \cdot (0,15 + 1) = 7,995 \cdot 10^{-6} ;$$

где  $q_{\text{см}}$  - вероятность отказа выключателя в статическом состоянии;

$q_{\text{в}}$  - вероятность отказа выключателя;

$q_{\text{п}}$  - вероятность отказа смежного элемента (разъединитель);

$n$  - количество смежных элементов;

$a_{\text{кз}}$  - относительная частота отказа выключателя при отключении КЗ;

$a$  - коэффициент, учитывающий наличие или отсутствие АПВ ( $a = 1$ );

$K_{АПВ}$  - коэффициент успешного действия АПВ  $K_{АПВ} = 0$ ;

$q_{ipз}$  - вероятность отказа РЗ на рассматриваемом выключателе;

$q_{icм}$  - вероятность отказа смежных элементов;

$a_{on}$  - частота отказов при оперативном отключении;

$N_{on}$  - число оперативных отключений.

Выполнение расчёта числа оперативных отключений выключателей 10 кВ с учетом смежных элементов осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам:

$$N_{on} = \sum \mu_i; \quad (126)$$

где  $\mu_i$  - частота капитальных ремонтов.

По показанным формулам осуществляются расчёты вероятности отказов элементов сети 10 кВ района подключения станции биологической очистки сточных вод, результаты расчётов систематизируются и представляются в табличном виде с разделением по элементам сети, таблица 29.

Таблица 29 - Результаты расчёта вероятности отказов

Элемент	Номер элемента на схеме	$q$
Линия 10 кВ – 10	10	$9,589 \cdot 10^{-5}$
Линия 10 кВ – 12	12	$2,74 \cdot 10^{-5}$
Линия 10 кВ – 14	14	$3,425 \cdot 10^{-5}$
Линия 10 кВ – 6	6	$1,233 \cdot 10^{-4}$
Линия 10 кВ – 8	8	$1,233 \cdot 10^{-4}$
Выключатель на U=10 кВ - 3	3	$7,995 \cdot 10^{-6}$
Выключатель на U=10 кВ - 4	4	$7,781 \cdot 10^{-6}$
Выключатель на U=10 кВ - 5	5	$7,995 \cdot 10^{-6}$
Шины 10 кВ	1,2	$3,836 \cdot 10^{-4}$
Трансформатор	12,15	$3,425 \cdot 10^{-5}$

Выполнение расчёта потока отказов для последовательно соединенных элементов осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам:

$$\omega = \sum \omega_i + \omega_{np \text{ наиб}} ; \quad (127)$$

где  $\omega_{np \text{ наиб}}$  - наибольшая частота преднамеренных отключений, 1/год;

$\omega_i$  - параметр потока отказов каждого элемента цепочки, 1/год.

Выполнение расчёта потока отказов для параллельно соединенных элементов осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам:

$$\omega_{II,III} = \omega_{II} \cdot q_{III} + \omega_{III} \cdot q_{II} + \omega_{II}^* \cdot q_{npIII} + \omega_{III}^* \cdot q_{npII} , \quad (128)$$

где  $q_{np}$  - вероятность преднамеренного отключения цепочки, при условии работы всех остальных элементов;

$\omega^*$  - параметр потока отказов без учёта преднамеренных отключений элементов сети 10 кВ.

Выполнение расчёта вероятности преднамеренного отключения цепочки осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам:

$$q_{np} = \frac{\omega \cdot t_B}{T_2} . \quad (129)$$

Выполнение расчёта параметра потока отказов без учёта преднамеренных отключений элементов сети 10 кВ осуществляется по приведенному выраже-

нию с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам:

$$\omega^* = \omega_c - \omega_{np.нб} . \quad (130)$$

Выполнение расчёта вероятности отказа системы осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам:

$$q_c = q_1 \cdot q_2 + K_{np1} \cdot L_{np1} \cdot q_2 + K_{np2} \cdot L_{np2} \cdot q_1 \quad (131)$$

где  $K_{npi}$  – коэффициент преднамеренного отключения.

Выполнение расчёта коэффициента преднамеренного отключения осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам:

$$K_{npi} = 1 - e^{\frac{-t_{npi}}{t_{Bэкв}}} \quad (132)$$

Подробно расчёт по описанному выше алгоритму представлен в приложении А, итоговый параметр потока отказов и вероятность отказа системы:

$$\omega_c = 0,0161,$$

$$q_c = 0,00822.$$

Выполнение расчёта среднего времени безотказной работы системы осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам, г:

$$T_c = \frac{1}{\omega_c}, \quad (133)$$

$$T_c = \frac{1}{0,0161} = 62,1.$$

Выполнение расчёта расчётного времени безотказной работы системы осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам, г:

$$T_p = 0,105 \cdot \frac{1}{\omega_c}, \quad (134)$$

$$T_p = 0,105 \cdot \frac{1}{0,0161} = 6,5.$$

Выполнение расчёта среднего времени восстановления системы осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам, с:

$$t_{BC} = \frac{q_c}{\omega_c}, \quad (135)$$

$$t_{BC} = \frac{0,0161}{0,00822} = 0,5.$$

Выполнение расчёта недоотпуска электроэнергии осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам, кВт·ч:

$$W_{нед} = P_{деф} \cdot q_c \cdot 8760 , \quad (136)$$

$$W_{нед} = 2031 \cdot 0,00822 \cdot 8760 = 146222,2.$$

Выполнение расчёта недоотпуска мощности осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам, кВт:

$$P_{нед} = P_P \cdot q_c , \quad (137)$$

$$P_{нед} = 2031 \cdot 0,00822 = 16,7.$$

Выполнение расчёта ущерба от недоотпуска электроэнергии осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам, руб:

$$Y = Y_{уд} \cdot W_{нед}, \quad (138)$$

$$Y = 2,38 \cdot 146222,2 = 348008,9,$$

где  $Y_{уд}$  – удельный недоотпуск, принимается 2,38 р/кВт·ч.

Расчёты производятся в программе Mathcad по описанному выше алгоритму и показываются в приложении А.

## 16 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ

### 16.1 Безопасность

Так как в данной выпускной квалификационной работе предусматривается подключение новой ТП 10/0,4 кВ и замена проводов ВЛ фидера №8 ПС «Силикатная», то необходимо обеспечить безопасность персонала при производстве работ по реконструкции сети 10 кВ района подключения станции биологической очистки сточных вод.

Рассмотрим меры безопасности при оперативном обслуживании существующих и проектируемой ТП района подключения станции биологической очистки сточных вод [26].

К оперативному обслуживанию электроустановок ТП района подключения станции биологической очистки сточных вод допускаются работники из числа персонала оперативных и оперативно-ремонтных служб, работники из числа персонала административно-технических служб при наличии у них соответствующих прав оперативного или оперативно-ремонтного персонала, с V группой по электробезопасности при эксплуатации электроустановок выше 1 кВ либо с IV группой по электробезопасности при эксплуатации электроустановок до 1 кВ.

Допуск персонала административно-технических служб к оперативному обслуживанию электроустановок ТП района подключения станции биологической очистки сточных вод выполняется на основании распорядительного документа организации или её подразделения.

К единоличному оперативному обслуживанию электроустановок ТП выше 1 кВ района подключения станции биологической очистки сточных вод допускаются работники из числа персонала оперативных и оперативно-ремонтных служб с группой по электробезопасности при эксплуатации элект-

роустановок не ниже III и с группой по электробезопасности при эксплуатации электроустановок не ниже IV для старших по смене [29].

К единоличному оперативному обслуживанию электроустановок ТП до 1 кВ района подключения станции биологической очистки сточных вод допускаются работники из числа персонала оперативных и оперативно-ремонтных служб с группой по электробезопасности при эксплуатации электроустановок не ниже III.

К единоличному осмотру электроустановок ТП района подключения станции биологической очистки сточных вод допускаются работники, находящиеся на дежурстве, из числа персонала оперативных и оперативно-ремонтных служб с группой по электробезопасности при эксплуатации электроустановок не ниже III, а также работники из числа персонала административно-технических служб с группой по электробезопасности при эксплуатации электроустановок выше 1 кВ не ниже V или с группой по электробезопасности при эксплуатации электроустановок до 1 кВ не ниже IV, в обязанности которого входит техническое и оперативное обслуживание, ремонт, монтаж и наладка электроустановок ТП до 1 кВ района подключения станции биологической очистки сточных вод.

К осмотру электроустановок ТП района подключения станции биологической очистки сточных вод допускаются работники, не обслуживающие электроустановки под контролем оперативного персонала, имеющего право единоличного осмотра и осуществляющего обслуживание данной электроустановки с группой по электробезопасности при эксплуатации электроустановок выше 1 кВ не ниже IV или с группой по электробезопасности при эксплуатации электроустановок до 1 кВ не ниже III

Контролирующий работник должен следить за безопасным нахождением в электроустановке допущенных работников и предупреждать их о запрете на приближение к токоведущим частям на недопустимое расстояние.

Осмотр электроустановок ТП района подключения станции биологической очистки сточных вод разрешается выполнять при открытых дверях щитов,

сборок, пультов управления и других устройств.

Осмотр электроустановок ТП района подключения станции биологической очистки сточных вод выше 1 кВ не разрешается выполнять, если установлены ограждения, барьеры, усложняющие проведение работ на токоведущих частях.

Оперативному персоналу, осуществляющему осмотр электроустановок ТП района подключения станции биологической очистки сточных вод выше 1 кВ запрещено проникать за ограждения и барьеры электроустановок, а также выполнять прочие работы во время осмотра.

Персоналу, осуществляющему оперативные переключения с целью ликвидации замыкания на землю и освобождения людей, попавших под напряжение в электроустановках 10 кВ ТП района подключения станции биологической очистки сточных вод, разрешается приближаться к месту замыкания на расстояние менее 4 м в ЗРУ-10 кВ ТП и на ВЛ с применением электрозащитных средств.

Разрешение оперативного персонала на отключение напряжения не требуется, если произошел несчастный случай, в результате которого работник оказался под действием электрического тока в электроустановках 10 кВ ТП района подключения станции биологической очистки сточных вод.

Персоналу, осуществляющему коммутации оборудования с ручным приводом в электроустановках 10 кВ ТП района подключения станции биологической очистки сточных вод, разрешено проведение работ по изменению электрической цепи и снятию напряжения с части электроустановки только с использованием средств защиты от поражения электрическим током - диэлектрических перчаток и экранов.

Персоналу, осуществляющему снятие и установку предохранителей в электроустановках 10 кВ ТП района подключения станции биологической очистки сточных вод, допускается проводить такие операции при снятом напряжении, без нагрузки.

Персоналу, осуществляющему снятие и установку предохранителей в

электроустановках 10 кВ ТП района подключения станции биологической очистки сточных вод, допускается проводить такие операции под напряжением, с включенной нагрузкой только при замене предохранителей в цепях управления, автоматики, блокировки, измерения, релейной защиты, контроля и сигнализации, в силовых цепях защиты трансформаторов напряжения.

Персоналу, осуществляющему снятие и установку предохранителей в электроустановках 0,4-10 кВ ТП района подключения станции биологической очистки сточных вод, следует применять изолирующие клещи и диэлектрические перчатки, в качестве средств защиты лица, глаз от механических воздействий и термических рисков электрической дуги следует применять экраны.

Работы в действующих электроустановках ТП района подключения станции биологической очистки сточных вод проводятся по заданию на производство работ, в котором без исправлений указано время начала и окончания предполагаемых работ, меры безопасности для проведения работ, перечислен состав бригады и работников, несущих ответственность за безопасное выполнение работ.

Работы в действующих электроустановках ТП района подключения станции биологической очистки сточных вод проводятся также по распоряжению и на основании перечня работ, выполняемых в порядке текущей эксплуатации.

Не согласованные и самовольные работы в действующих электроустановках ТП района подключения станции биологической очистки сточных вод проводятся, а также работы на заранее не отмеченных участках электроустановок по наряду-допуску или перечню работ, не допускаются.

Работы в действующих электроустановках выше 1 кВ ТП района подключения станции биологической очистки сточных вод по ремонту без снятия напряжения, проводятся по технологическим картам или проекту производства работ, утвержденным определенным порядком по специальной форме.

Работы на линиях под наведенным напряжением, находящиеся в районе подключения станции биологической очистки сточных вод, проводятся по технологическим картам или проекту производства работ, утвержденным опреде-

ленным порядком по специальной форме.

Работы в действующих электроустановках ниже 1 кВ ТП района подключения станции биологической очистки сточных вод по ремонту под напряжением, проводятся только при ограждении близко расположенных токоведущих частях, находящихся под напряжением, к которым возможно случайное прикосновение или их отключении.

Работы в действующих электроустановках ниже 1 кВ ТП района подключения станции биологической очистки сточных вод по ремонту под напряжением, проводятся в диэлектрических галошах, либо с использованием изолирующей подставки, диэлектрического ковра.

Работы в действующих электроустановках ниже 1 кВ ТП района подключения станции биологической очистки сточных вод по ремонту под напряжением, проводятся в диэлектрических перчатках с использованием инструмента с изолирующими рукоятями.

Работы на действующих ВЛ ниже 1 кВ района подключения станции биологической очистки сточных вод по ремонту под напряжением, проводятся в диэлектрических или хлопчатобумажных сухих перчатках.

Работы в действующих электроустановках ниже 1 кВ ТП района подключения станции биологической очистки сточных вод по ремонту под напряжением, проводятся в одежде с короткими или засученными рукавами без использования металлических инструментов и приспособлений, использование которых для выполнения работ под напряжением не предусмотрено.

## **16.2 Экологичность**

Так как в данной выпускной квалификационной работе предусматривается подключение новой ТП 10/0,4 кВ и замена проводов ВЛ фидера №8 ПС «Силикатная», то необходимо соблюсти требования экологичности, выраженные в расчёте площади отводимых земель под объекты электроэнергетики.

Отвод земель под объекты электроэнергетики, ТП 10/0,4 кВ и воздушные линии 10 кВ, сооружение которых осуществляется для подключения насосной

биологической очистки сточных вод к сети 10 кВ производится в постоянное и временное пользование.

Выполнение расчёта площади земель, отводимой в постоянное пользование под ТП 10/0,4 кВ и опоры ВЛ 10 кВ осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам [27]:

$$S_{III} = S_{III} + S_{ПО}, \quad (139)$$

$$S_{III} = 310 + 524 = 834 \text{ м}^2,$$

где  $S_{III}$  - площадь земли в постоянное пользование под ТП 10/0,4 кВ,  $\text{м}^2$ ;

$S_{ПО}$  - площадь земли в постоянное пользование под опоры линии 10 кВ,  $\text{м}^2$ .

Выполнение расчёта площади земель, отводимой в постоянное пользование под ТП 10/0,4 кВ осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам:

$$S_{III} = S_{ТП1} \cdot n_{ТП1} + S_{ТП2} \cdot n_{ТП2} \quad (140)$$

$$S_{III} = 3 \cdot 50 + 2 \cdot 80 = 310 \text{ м}^2,$$

где  $S_{ТП1}$ ,  $S_{ТП2}$  - площадь земли в постоянное пользование под ТП 10/0,4 кВ, на которых установлен один или два трансформатора 10/0,4 кВ, согласно [28], 50 или 80  $\text{м}^2$ ;

$n_{ТП1}$ ,  $n_{ТП2}$  - число ТП 10/0,4 кВ, на которых установлен один или два трансформатора соответственно, шт.

Выполнение расчёта площади земель, отводимой в постоянное пользование под опоры ВЛ 10 кВ осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам:

$$S_{ПО} = (A_{он}^2 + \pi \cdot \Delta^2 + 4 \cdot A_{он} \cdot \Delta) \cdot n_{ОП}, \quad (141)$$

$$S_{ПО} = (0,35^2 + 3,14 \cdot 1,5^2 + 4 \cdot 0,35 \cdot 1,5) \cdot 56 = 524 \text{ м}^2,$$

где  $A_{он}$  - ширина стороны опоры (рисунок 9), 0,35 м;

$\Delta$  - ширина полосы земли вокруг внешнего контура опоры, принимается 1,5 м, так как трасса прохождения ВЛ 10 кВ устроена по землям сельскохозяйственного назначения (рисунок 9) [28];

$n_{ОП}$ , - число опор под ВЛ 10 кВ, шт.

Графически поперечное сечение используемых опор, используемых для распределительных сетей 10 кВ, к которым будет осуществляться подключение станции биологической очистки сточных вод в п. Белогорье Амурской области показано на рисунке 9.

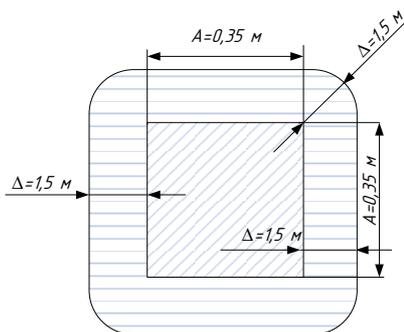


Рисунок 9 - Поперечное сечение опоры ВЛ 10 кВ без ригелей в случае прохождения трассы ВЛ по землям сельхоз угодий

На время строительства заходов ВЛ к новой ТП 10/0,4 кВ и замены про-

водов ВЛ фидера №8 ПС «Силикатная» также требуется определить площадь отвода земель во временное пользование.

Выполнение расчёта площади земель, отводимой во временное пользование под монтаж линий и опор ВЛ 10 кВ осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам:

$$S_{ВП} = S_{ВМП} + S_{ВЛ} , \quad (142)$$

$$S_{ВП} = 8464 + 21646 = 30110 \text{ м}^2,$$

где  $S_{ВМП}$  - площадь участков земли, подлежащих отводу во временное пользование на период монтажа опор ВЛ 10 кВ, рисунок 10,  $\text{м}^2$ ;

$S_{ВЛ}$  - площадь земельных участков, предоставляемых на период строительства ВЛЭП,  $\text{м}^2$ .

Графически междуфазное расстояние для применяемых в распределительных сетях 10 кВ опор, для подключение станции биологической очистки сточных вод в п. Белогорье Амурской области показано на рисунке 10.

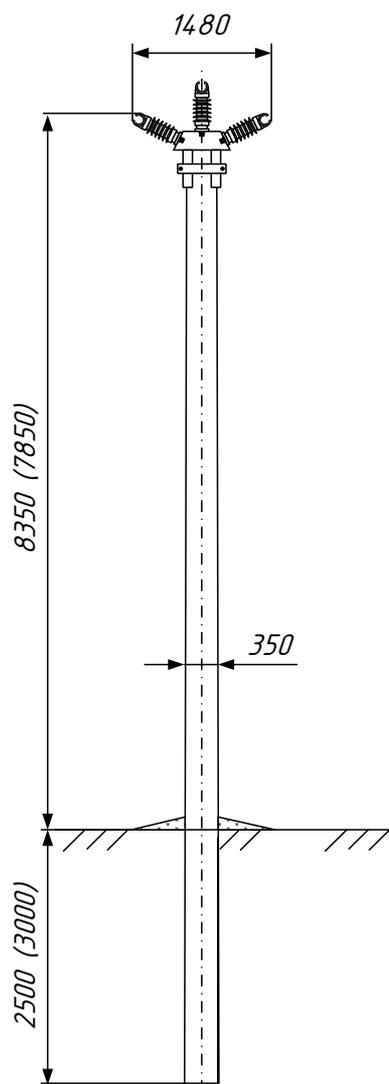


Рисунок 10 - Междофазное расстояние ВЛ - 10 кВ [30]

Выполнение расчёта площади земель, отводимой во временное пользование под монтаж опор ВЛ 10 кВ осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам:

$$S_{ВМП} = n_{ОП} \cdot S_{ОП10кВ} , \quad (143)$$

$$S_{ВМП} = 56 \cdot 150 = 8464 \text{ м}^2 ,$$

где  $S_{ОП10кВ}$  - площадь участков земли, под монтаж опор ВЛ 10 кВ, согласно [28]  $150 \text{ м}^2$ .

Выполнение расчёта площади земель, отводимой во временное пользование под монтаж проводов ВЛ 10 кВ осуществляется по приведенному выражению с применением имеющейся расчётной и справочной информации по используемым в расчётах величинам:

$$S_{ВЛ} = L_{ВЛ10кВ} \cdot L_{полосы} , \quad (144)$$

$$S_{ВЛ} = 3950 \cdot 5,48 = 21646 м^2,$$

$$L_{полосы} = L_{\phi-\phi} + 2 \cdot \Delta_{врем} ; \quad (145)$$

$$L_{полосы} = 1,48 + 2 \cdot 2 = 5,48 м;$$

где  $L_{ВЛ10кВ}$  - длина линий 10 кВ, 3950 м ;

$\Delta_{врем}$  - расстояния от проекции крайних фаз на землю исходя из расположения проводов на опоре в виде треугольника, [27], 2 м;

$L_{\phi-\phi}$  - междуфазное расстояние для крайних фаз, рисунок 10, 1,48 м.

В результате расчётов отвод земель в постоянное пользование для подключения насосной биологической очистки сточных вод к сети 10 кВ составляет 834 м<sup>2</sup>, отвод земель во временное пользование для подключения насосной биологической очистки сточных вод к сети 10 кВ составляет 30110 м<sup>2</sup>.

### 16.3 Чрезвычайные ситуации

Так как в данной выпускной квалификационной работе предусматриваются работы по наладке и подключению новой ТП 10/0,4 кВ станции биологической очистки сточных вод, то необходимо обеспечить меры пожарной безопасности при производстве работ в ЗРУ ТП и на трансформаторах [31].

Помещения ЗРУ ТП 10/0,4 кВ станции биологической очистки сточных вод не реже одного раза в год должны убираться и содержаться в чистоте.

Электротехническое оборудование в помещениях ЗРУ ТП 10/0,4 кВ станции биологической очистки сточных вод подлежит чистке с обязательным выполнением организационных и технических мероприятий по технике безопасности в соответствии с утвержденным графиком.

В помещениях ЗРУ ТП 10/0,4 кВ станции биологической очистки сточных вод расположение кладовых или других подсобных помещений, не имеющих отношения к ЗРУ ТП 10/0,4 кВ, хранение электротехнического оборудования, различных вспомогательных материалов, запасов ремонтного фонда, горючих жидкостей, газов, емкостей и тары их содержащих запрещено.

В помещениях ЗРУ ТП 10/0,4 кВ станции биологической очистки сточных вод допускается использование пожаробезопасных моющих препаратов для очистки электротехнического оборудования ЗРУ ТП 10/0,4 кВ от грязи и отложений. Для стойких загрязнений, удаление которых пожаробезопасными моющими препаратами невозможно, допускается использование горючих жидкостей (растворителей, бензина и др.) с условием использования тары из небьющегося материала объемом не более 1 л за раз [31].

Сварочные и другие огнеопасные работы в помещениях ЗРУ ТП 10/0,4 кВ станции биологической очистки сточных вод допускается проводить при отсутствии возможности извлечения оборудования из помещения ЗРУ при соблюдении противопожарных мер.

В помещениях ЗРУ ТП 10/0,4 кВ станции биологической очистки сточных вод устройство кабельных каналов должно осуществляться с закрытием их плитами из негорючего материала. Для мест подвода кабельных каналов к шкафам ЗРУ и другим помещениям должны использоваться уплотнения из негорючего материала с огнестойкостью не менее 0,75 ч.

В помещениях ЗРУ ТП 10/0,4 кВ станции биологической очистки сточных вод располагаются первичные средства пожаротушения и защитные средства для пожарных подразделений в случае развития возгорания в специальных местах, при этом нецелевое использование средств пожаротушения и защитных средств запрещено.

Силовые трансформаторы 10/0,4 кВ ТП-1 станции биологической очистки сточных вод в целях пожарной безопасности эксплуатируются в номинальных и допустимых режимах работы в соответствии [30].

Силовые трансформаторы 10/0,4 кВ ТП-1 станции биологической очистки сточных вод в целях пожарной безопасности регулярно обслуживаются в рамках текущей эксплуатации и проверяются на предмет сохранности изоляционных свойств трансформаторного масла, исправности системы охлаждения и циркуляции масла.

Места транспортировки силовых трансформаторов 10/0,4 кВ ТП-1 станции биологической очистки сточных вод в целях пожарной безопасности оборудованы бортовым ограждением, препятствующим растеканию масла. Материал бортовых ограждений при ремонтах может быть убран без ущерба его целостности.

В качестве бортовых ограждений, препятствующих растеканию масла силовых трансформаторов 10/0,4 кВ ТП-1 станции биологической очистки сточных вод использование стенок кабельных каналов запрещено.

В помещениях ЗРУ ТП 10/0,4 кВ станции биологической очистки сточных вод кабельные вводы в шкафы управления, кабельные вводы в шкафы защиты и автоматики, кабельные вводы трансформаторов тщательно заполняются несгораемым материалом с водостойкими свойствами.

В помещениях ЗРУ ТП 10/0,4 кВ станции биологической очистки сточных вод патрубки сброса газов трансформатора 10/0,4 кВ запрещено направлять на близко стоящее оборудование и на проходы для обслуживающего персонала. В случае невозможности такого монтажа патрубки сброса направляются на отбойные щиты.

В помещениях ЗРУ ТП 10/0,4 кВ станции биологической очистки сточных вод мембраны сброса газов трансформатора 10/0,4 кВ запрещено заменять на поврежденные элементы или не предназначенные для этого материалы.

В помещениях ЗРУ ТП 10/0,4 кВ станции биологической очистки сточных вод течи масла трансформатора 10/0,4 кВ своевременно выявляются, определя-

ется причина течи трансформаторного масла, проводится ликвидация течи масла и его удаление с загрязненных поверхностей. В случае невозможности отключения трансформатора 10/0,4 кВ, соблюдаются меры безопасности на работающем маслonaполненном оборудовании при ликвидации течи масла.

При пожаре в помещении ЗРУ ТП 10/0,4 кВ станции биологической очистки сточных вод на трансформаторе 10/0,4 кВ в случае отказа средств релейной защиты и автоматики проводится его отключение со стороны всех уровней напряжения с дальнейшим заземлением. Обслуживающий персонал при обнаружении возгорания сообщает об этом диспетчеру и пожарную охрану, проводит контроль срабатывания стационарной установки пожаротушения если она смонтирована. Дальнейшие действия идут в соответствии с оперативным планом пожаротушения.

При пожаре в помещении ЗРУ ТП 10/0,4 кВ станции биологической очистки сточных вод на трансформаторе 10/0,4 кВ слив масла из бака трансформатора и его корпуса для предотвращения распространения огня и площади возгорания запрещён.

В помещении ЗРУ ТП 10/0,4 кВ станции биологической очистки сточных вод места для подключения к контуру заземления обозначены знаком заземления для обеспечения заземления передвижных установок пожаротушения с учётом согласованных ранее планов пожаротушения.

Трансформаторы 10/0,4 кВ ТП станции биологической очистки сточных вод к эксплуатации не допускаются, если не подтверждена полная готовность систем сигнализации о пожаре и не корректно работают системы стационарного пожаротушения, предусмотренные проектом.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения выпускной квалификационной работы были проведены расчёты нагрузок, определены токи КЗ в сетях 10 кВ, выбраны вакуумные выключатели на стороне 10 кВ ПС, оборудование стороны 10 кВ. Всё оборудование проверено по условиям необходимой работы, отвечает всем видам проверки по стойкости к токам КЗ. Оценена надёжность сетей 10 кВ аналитическим методом. Выполнены расчёты РЗиА внутренних сетей 10 кВ. Рассмотрены меры безопасности при работе по реконструкции сетей 10 кВ в районе фидера №8 ПС «Силикатная» при подключении новой ТП насосной сточных вод.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Публичная кадастровая карта [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://egrp365.org/map/> – 27.05.2022 г.
- 2 Паспорт Амурской области [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://blagoveschensk.invest.amurobl.ru/> – 27.05.2022 г.
- 3 Электротехнический справочник: В 4 т. Т. 3. Производство, передача и распределение электрической энергии. Под общ. ред. профессоров МЭИ В.Г. Герасимова и др. (гл. ред. А.И. Попов). - 9-е изд., испр. и доп. — М.: Издательство МЭИ, 2008. — 961 с.
- 4 Киреева Э. А., Орлов В. В., Старкова Л. Е. Электроснабжение цехов промышленных предприятий. — М.: НТФ «Энергопрогресс», 2008. — 120 с; ил. Библиотечка электротехника, приложение к журналу «Энергетик», Вып. 12(60).
- 5 Файбисович Д.Л. Справочник по проектированию электрических сетей, 2012: НЦ ЭНАС ISBN: 978-5-4248-0049-8
- 6 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.
- 7 Ананичева С.С., Мызин А.Л., Шелюг С.Н. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования (часть 1). Электроэнергетические системы и сети Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ–УПИ, 2005. — 53 с.
- 8 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.
- 9 Официальный сайт Банка России- Аналитика [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cbr.ru/analytics/> – 27.05.2022 г.

10 Официальный сайт Завод электротехнического оборудования Константин [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.konstalin.ru/> – 27.05.2022 г.

11 Официальный сайт АО «ДРСК» - Тарифы на компенсацию потерь электроэнергии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://drsk.ru/tarify\\_na\\_kompensaciju\\_poter\\_22.html](http://drsk.ru/tarify_na_kompensaciju_poter_22.html) – 27.05.2022 г.

12 Барановский А.И., Кожевников Н.Н., Пирадова Н.В. Экономика промышленности. Том. 2 Часть 1, 2008 г.

13 Кабельный справочник [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://k-ps.ru/spravochnik/provoda-izolirovannyye/dlya-vozdushnyix-linij-peredach/sip-3/> – 27.05.2022 г.

14 Руководящие указания по расчёту токов короткого замыкания и выбору электрооборудования РД 153-34.0-20.527-98. Утв. Департаментом стратегии развития и научно-технической политики 23.03.1998 г.

15 Руководящие материалы по проектированию распределительных электрических сетей 2009 №4. Москва, ОАО ФСК ЕЭС, 2009. - 92 стр.

16 Официальный сайт ООО Таврида Электрик МСК [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://tavrida.ru/ter/> – 27.05.2022 г.

17 Официальный сайт «Гидролюкс» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://gidrolux.ru/about/> – 27.05.2022 г.

18 Г.М. Иманов, Ф.Х. Халилов, А.И. Таджибаев. Методика выбора нелинейных ограничителей, необходимых для защиты изоляции сетей низкого, среднего, высокого и сверхвысокого напряжения трёхфазного переменного тока. ПЭИПК, г. Санкт-Петербург, 2004г.

19 Руководство по защите электрических сетей 6-1150 кВ от грозовых и внутренних перенапряжений. С.-П.: Издательство ПЭИПК, 1999.

20 Официальный сайт ООО «Электронприбор» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.electronpribor.ru/catalog/ampmetry-schitovye/> – 27.05.2022 г.

21 Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей: Монография. М.А. Шабад. - СПб.: ПЭИПК, 2006. - 4-е изд., перераб. и доп. - 350 стр.. ил.

22 Беляков Ю.П. Козлов А.Н. Мясоедов Ю.В. Релейная защита и автоматка электрических систем: Учебное пособие. – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2004.– 132 с.

23 Савина Н.В. Теория надежности в электроэнергетике: Учебное пособие. - Амурский гос. ун-т. 2007

24 Трубицын В.И. Надежность электростанций: Учебник для вузов. Энергоатомиздат, 2007. — 240 с: ил.

25 Официальный сайт Радиус-автоматика [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.rza.ru/catalog/zashita-i-avtomatika-silovih-transformatorov-i-atotransfomatorov/sirius-t.php> – 27.05.2022 г.

26 Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок утв. Приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 15 декабря 2020 года N 903н [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/499037306>

27 Булгаков А.Б. Охрана окружающей среды в электроэнергетике [Электронный ресурс]: учеб. пособие / А. Б. Булгаков; АмГУ, ИФФ. - Благовещенск: Издательство Амур. гос. ун-та, 2020. – 90 с.

28 Норма отвода земель для электрических сетей напряжением 0,38 – 750 кВ № 14278 ТМ – Т1.

29 Правила устройства электроустановок/Министерство энергетики Российской Федерации. – 7-е изд. – М.: НЦ ЭНАС, 2012. – 648 с.

30 Официальный сайт Энергосклад – Опоры ВЛИ 0,4-10 кВ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://energosklad.ru/?p=1669>– 27.05.2022 г.

31 Правила пожарной безопасности для энергетических предприятий : Руководящий документ РД-153.-34.0-03.301-00. - М. : ЗАО Энергетические технологии, 2000. - 116 с.

## Приложение А

### Расчёт надёжности сети 10 кВ

#### выключатели 10 кВ:

- средний параметр потока отказов $w$ , 1/год	$\omega_{B10} := 0.015$
- среднее время восстановления $T_v$ , ч	$T_{v.B10} := 4.5$
- частота текущих ремонтов $m$ , 1/год	$\mu_{B10} := 0.15$
- продолжительность текущего ремонта $T_r$ , ч	$T_{r.B10} := 4$
- параметр отказа выключателей при отключении КЗ $a_{K3}$	$a_{K310} := 0.0027$
- относительная частота отказов выключателей $a_{o.п}$	$a_{o.п10} := 0.0022$

#### линии 10 кВ:

- средний параметр потока отказов на 1 км $w$ , 1/год	$\omega_{л10} := 0.075$
- среднее время восстановления $T_v$ , ч	$T_{v.л10} := 16$
- частота текущих ремонтов $m$ , 1/год	$\mu_{л10} := 1$
- продолжительность текущего ремонта $T_r$ , ч	$T_{r.л10} := 2$

#### Трансформатор 6-10 кВ:

- средний параметр потока отказов $w$ , 1/год	$\omega_{тp10} := 0.05$
- среднее время восстановления $T_v$ , ч	$T_{v.тp10} := 6$
- частота текущих ремонтов $m$ , 1/год	$\mu_{тp10} := 0.4$
- продолжительность текущего ремонта $T_r$ , ч	$T_{r.тp10} := 6$

#### Система шин 10 кВ:

- средний параметр потока отказов $w$ , 1/год	$\omega_{cш} := 0.03 \cdot 4$
- среднее время восстановления $T_v$ , ч	$T_{v.cш} := 7 \cdot 4$
- частота текущих ремонтов $m$ , 1/год	$\mu_{cш} := 0.166 \cdot 4$
- продолжительность текущего ремонта $T_r$ , ч	$T_{r.cш} := 5 \cdot 4$

#### Вероятности отказа элементов схемы

$$q_{л10} := \frac{\omega_{л10} \cdot 0.7 \cdot T_{v.л10}}{8760} \quad q_{л12} := \frac{\omega_{л10} \cdot 0.2 \cdot T_{v.л10}}{8760} \quad q_{л14} := \frac{\omega_{л10} \cdot 0.25 \cdot T_{v.л10}}{8760}$$

$$q_{л10} = 9.589 \times 10^{-5} \quad q_{л12} = 2.74 \times 10^{-5} \quad q_{л14} = 3.425 \times 10^{-5}$$

$$q_{л6} := \frac{\omega_{л10} \cdot 0.9 \cdot T_{v.л10}}{8760} \quad q_{л8} := \frac{\omega_{л10} \cdot 0.9 \cdot T_{v.л10}}{8760} \quad q_{л6} = 1.233 \times 10^{-4}$$

$$q_{л8} = 1.233 \times 10^{-4}$$

продолжение ПРИЛОЖЕНИЕ А

Расчёты надёжности сети 10 кВ

$$q_{\text{тр}10} := \frac{\omega_{\text{тр}10} \cdot T_{\text{в.тр}10}}{8760} \quad q_{\text{тр}10} = 3.425 \times 10^{-5}$$

$$q_{\text{сш}} := \frac{\omega_{\text{сш}} \cdot T_{\text{в.сш}}}{8760} \quad q_{\text{сш}} = 3.836 \times 10^{-4}$$

$$q_{\text{рзшин}} := 0.002 \quad q_{\text{рзтр}} := 0.0012$$

$$q_{\text{рзлин}} := 0.0012 \quad \omega_{\text{рзв}} := 0.0012$$

$$q_{\text{вст}10} := \frac{\omega_{\text{в}10} \cdot T_{\text{в.в}10}}{8760} \quad q_{\text{вст}10} = 7.705 \times 10^{-6}$$

$$q_{\text{в}4} := q_{\text{вст}10} \dots$$

$$+ a_{\text{кз}10} \cdot (1 + 0) \cdot [1 - (1 - q_{\text{рзшин}})] \cdot [1 - (1 - q_{\text{вст}10}) \cdot (1 - q_{\text{вст}10})] \dots$$

$$+ a_{\text{о.л}10} \cdot \frac{\mu_{\text{в}10} \cdot 2}{8760}$$

$$q_{\text{в}4} = 7.781 \times 10^{-6}$$

$$q_{\text{в}3} := q_{\text{вст}10} \dots$$

$$+ a_{\text{кз}10} \cdot (1 + 0) \cdot [1 - (1 - q_{\text{рзшин}})] \cdot [1 - (1 - q_{\text{вст}10}) \cdot (1 - q_{\text{л}10})] \dots$$

$$+ a_{\text{о.л}10} \cdot \frac{\mu_{\text{в}10} + \mu_{\text{л}10}}{8760}$$

$$q_{\text{в}3} = 7.995 \times 10^{-6}$$

$$q_{\text{в}5} := q_{\text{вст}10} \dots$$

$$+ a_{\text{кз}10} \cdot (1 + 0) \cdot [1 - (1 - q_{\text{рзшин}})] \cdot [1 - (1 - q_{\text{вст}10}) \cdot (1 - q_{\text{л}6})] \dots$$

$$+ a_{\text{о.л}10} \cdot \frac{\mu_{\text{в}10} + \mu_{\text{л}10}}{8760}$$

$$q_{\text{в}5} = 7.995 \times 10^{-6}$$

Вероятности отказа цепочки

$$q_1 := q_{\text{в}3} + q_{\text{л}10} + q_{\text{л}12} + q_{\text{л}14} + q_{\text{тр}10} \cdot 4 + q_{\text{сш}}$$

$$q_1 = 0.000686$$

$$q_2 := q_{\text{в}5} + q_{\text{л}6} + q_{\text{л}8} + q_{\text{тр}10} \cdot 3 + q_{\text{сш}}$$

$$q_2 = 0.000741$$

продолжение ПРИЛОЖЕНИЕ А

Расчёты надёжности сети 10 кВ

Параметр потока отказов для цепочек:

$$\omega_{B3} := \omega_{B10} + \omega_{p3B} \cdot \omega_{cш}^2 + a_{o.л10} \cdot (\mu_{cш}^2) \quad \omega_{B3} = 0.0182096$$

$$\omega_{B3} := \omega_{B10} + \omega_{p3B} \cdot \omega_{л10}^{0.7} + a_{o.л10} \cdot (\mu_{B10} + \mu_{л10}) \quad \omega_{B3} = 0.017593$$

$$\omega_{B5} := \omega_{B10} + \omega_{p3B} \cdot \omega_{л10}^{0.9} + a_{o.л10} \cdot (\mu_{B10} + \mu_{л10}) \quad \omega_{B5} = 0.017611$$

$$\omega_1 := \omega_{B3} + \omega_{л10} \cdot (1.15 \cdot 100) + 4\omega_{тр10} + \omega_{сш} \quad \omega_1 = 8.963$$

$$\omega_2 := \omega_{B5} + \omega_{л10} \cdot (1.8 \cdot 100) + 3\omega_{тр10} + \omega_{сш} \quad \omega_2 = 13.788$$

Параметр потока отказов для системы:

$$\omega_{сист} := \omega_1 \cdot q_2 + \omega_2 \cdot q_1$$

$$\omega_{сист} = 0.0161$$

Коэффициент

$$K_{пр1} := 1 - e^{-\frac{T_{p.сш}}{T_{в.сш}}} \quad K_{пр1} = 0.51$$

$$K_{пр2} := 1 - e^{-\frac{T_{p.сш}}{T_{в.сш}}} \quad K_{пр2} = 0.51$$

Вероятность отказа системы:

$$q_c := q_1 \cdot q_2 + K_{пр1} \cdot \omega_1 \cdot q_2 + K_{пр2} \cdot \omega_2 \cdot q_1 \quad q_c = 0.00822$$

Коэффициент вынужденного простоя системы

$$K_{ПС} := q_c$$

$$K_{ПС} = 0.00821863$$

Коэффициент готовности

$$K_{ГС} := 1 - K_{ПС}$$

$$K_{ГС} = 0.99178$$

Время восстановления

$$t_{\text{BC}} := \frac{K_{\text{ПС}}}{\omega_{\text{сист}}} \quad t_{\text{BC}} = 0.5 \quad \text{сек}$$

Расчётное время безотказной работы

$$T_{\text{P}} := \frac{0.105}{\omega_{\text{сист}}} \quad T_{\text{P}} = 6.5 \quad \text{лет}$$

Среднее время безотказной работы

$$T_{\text{C}} := \frac{1}{\omega_{\text{сист}}} \quad T_{\text{C}} = 62.1 \quad \text{лет}$$

Недоотпуск ЭЭ, при передаваемой активной мощности 2031 КВт за год

$$W_{\text{нед}} := 2031 \cdot 8760 K_{\text{ПС}} \quad W_{\text{нед}} = 146222.2 \quad \text{КВт*ч}$$

Ограничения мощности

$$P_{\text{огр}} := 2031 K_{\text{ПС}} \quad P_{\text{огр}} = 16.7 \quad \text{КВт}$$

Ущерб от недоотпуска

$$Y_{\text{уд}} := 2.38 \quad \text{у.е./КВт*ч}$$

$$Y := Y_{\text{уд}} \cdot W_{\text{нед}} \quad Y = 348008.944 \quad \text{у.е.}$$