

Министерство образования и науки 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

«_____» _____ 2021 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему: Проектирование релейной защиты и автоматики воздушной линии
электропередачи 220 кВ Свободненская ТЭС – подстанция Строительная

Исполнитель

студент группы 742-об4

(подпись, дата)

А.Р. Каргин

Руководитель

доцент, канд. техн. наук

(подпись, дата)

А.Н. Козлов

Консультант: по

безопасности и

экологичности

доцент, канд. техн. наук

(подпись, дата)

А.Б. Булгаков

Нормоконтроль

ассистент

(подпись, дата)

И.А. Лисогурский

Благовещенск 2021

Министерство образования и науки 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
«___» _____ 2021 г.

З А Д А Н И Е

К выпускной квалификационной работе студента Каргина Артёма Романовича

1. Тема выпускной квалификационной работы: Проектирование релейной защиты и автоматики воздушной линии электропередачи 220 кВ Свободненская ТЭС – подстанция Строительная

(утверждено приказом от 19.03.2021 № 575-уч)

2. Срок сдачи студентом законченной работы _____

3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе: Материалы производственной и преддипломной практики

4. Содержание выпускной квалификационной работы (перечень подлежащих разработке вопросов): 1. Характеристика района проектирования. 2. Основные технические решения 3. Выбор оборудования и варианта выполнения заходов на ПС 220 кВ Строительная. 3. Выбор оборудования. 4. Релейная защита и автоматика 5. Молниезащита и заземление. 7. Организационно-экономическая часть 8. Безопасность и экологичность

5. Перечень материалов приложения: (наличие чертежей, таблиц, графиков, схем, программных продуктов, иллюстративного материала и т.п.) 1. Схема района проектирования. 2. Схема принципиальная электрическая ПС 220 кВ Строительная. 3. План ПС 220 кВ Строительная. 4. Разрезы ПС 220 кВ Строительная. 5. Молниезащита и заземление ПС 220 кВ Строительная. 6. Схема распределения защит по ТТ и ТН. Схема электрическая принципиальная. 7. Структурные схемы защит ПС 220 кВ Строительная и схема организации цепей переменного напряжения ТН 220 кВ. 8. Схема основной и резервной защиты ВЛ 220 кВ Свободненская ТЭС – Строительная

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

7. Дата выдачи задания 10.02.2021

Руководитель выпускной квалификационной работы Козлов Александр Николаевич – доцент, канд. техн. Наук

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

Задание принял к исполнению (дата): _____

(подпись студента)

РЕФЕРАТ

Работа содержит 137 с., 11 рисунков, 24 таблицы, 35 источников, 1 приложение.

ЗАХОДЫ, ПОДСТАНЦИЯ, ВЫКЛЮЧАТЕЛЬ, ОГРАНИЧИТЕЛЬ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ, ТРАНСФОРМАТОР ТОКА, ТРАНСФОРМАТОР НАПРЯЖЕНИЯ, РАЗЪЕДИНИТЕЛЬ, КОМПЛЕКТНОЕ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО, ВОЗДУШНАЯ ЛИНИЯ, СИЛОВОЙ ТРАНСФОРМАТОР, ОШИНОВКА, РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА, МОЛНИЕЗАЩИТА, ЗАЗЕМЛЯЮЩИЕ УСТРОЙСТВО, КАПИТАЛОВЛОЖЕНИЯ, ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ИЗДЕРЖКИ, УРОВЕНЬ ШУМА, ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ, ОХРАНА ТРУДА.

В бакалаврской работе были рассмотрены варианты заходов линий электропередач на вновь проектируемую подстанцию. Определены электрические нагрузки объекта, произведен расчет токов короткого замыкания, выбрано необходимое оборудование, спроектирована однолинейная схема. Выполнен расчет молниезащиты и заземления ПС, произведен расчет цифровой защиты ЛЭП 220 кВ на базе терминалов «ЭКРА». Проведён расчёт капиталовложений и эксплуатационных издержек. Рассмотрен вопрос охраны труда на подстанции, рассчитан уровень шума, размеры маслоприемников силовых трансформаторов.

СОДЕРЖАНИЕ

Термины, определения, обозначения и сокращения	6
Введение	7
1 Характеристика района проектирования:	9
1.1 Географическая характеристика района размещения ВЛ	9
1.2 Климатическая характеристика района размещения ВЛ	9
1.3 Геологическая характеристика района размещения ВЛ	11
2 Основные технические решения	13
2.1 Варианты прохождения трассы, проектируемой ВЛ 220 кВ	14
2.2 Сведения о функциональном назначении ПС 220 кВ Строительная	19
3 Выбор оборудования и варианта выполнения заходов на ПС 220 кВ Строительная	21
3.1 Выбор варианта трассы и провода	21
3.2 Выбор схемы РУ 220 кВ ПС 220 кВ Строительная	23
3.3 Проверка силовых трансформаторов	25
3.4 Расчет токов короткого замыкания	27
3.5 Проверка высоковольтного оборудования:	32
3.6 Выбор и проверка высоковольтных выключателей:	34
3.7 Выбор и проверка разъединителей на ПС 220 кВ Строительная.	36
3.8 Выбор и проверка трансформаторов тока.	38
3.9 Выбор и проверка ограничителей перенапряжения.	42
3.10 Выбор и проверка проводников	43
3.11 Выбор трансформаторов собственных нужд	44
3.12 Решения по организации оперативного постоянного тока	45
3.13 Выбор измерительных трансформаторов напряжения 220 кВ и расчет вторичных цепей.	54
4 Релейная защита и автоматика	61
4.1 Анализ релейной защиты в прилегающей сети	61
4.2 Общие технические решения по релейной защите и автоматике	61

4.3	Решения по организации РЗА ПС 220 кВ Строительная	62
4.4	Расчет уставок устройств релейной защиты	64
4.5	УРОВ ПС 220 кВ Строительная	97
4.6	АУВ и ТАПВ 220 кВ	98
5	Молниезащита и заземление ПС 220 кВ Строительная	101
5.1	Мероприятия по заземлению	101
5.2	Расчет контура заземления ПС	103
5.3	Мероприятия по молниезащите	113
6	Организационно-экономическая часть	115
6.1	Выбор фирмы производителя и марки МПРЗ	115
6.2	Капиталовложения в реализацию проекта	115
6.3	Расчёт эксплуатационных издержек	117
7	Безопасность и экологичность	119
7.1	Охрана труда на ПС 220 кВ Строительная	119
7.2	Экологичность	119
7.3	Пожарная безопасность	121
7.4	Мероприятия по предупреждению чрезвычайных ситуаций техногенного и природного характера	129
	Заключение	132
	Библиографический список	134

ТЕРМИНЫ, ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

АВР – автоматический ввод резерва;

АПВ – автоматическое повторное включение;

АУВ – автоматика управления выключателем;

ВН – высокое напряжение;

ВЛ – воздушная линия;

ДЗ – дистанционная защита линии;

ДФЗ – дифференциальная защита линии;

ЗРУ – закрытое распределительное устройство;

ЗВУ – зарядно-выпрямительное устройство;

КЛ – кабельная линия;

КРУ – комплектное распределительное устройство

КЗ – короткое замыкание;

КСЗ – комплект ступенчатых защит;

МФТО – междуфазная токовая отсечка;

НН – низкое напряжение;

ОПН – ограничитель перенапряжения;

ПС – подстанция;

ПУЭ – правила устройства электроустановок;

РЗА – релейная защита и автоматика;

СН – среднее напряжение;

ТАПВ – трехфазное автоматическое повторное включение;

ТЗНП – токовая защита нулевой последовательности;

ТП – трансформаторная подстанция;

ТСН – трансформатор собственных нужд.

ВВЕДЕНИЕ

При строительстве захода ВЛ 220 кВ Свободненская ТЭС – Новокиевка в РУ 220 кВ ПС 220 кВ Строительная образуется ВЛ 220 кВ Свободненская ТЭС – Строительная общей протяженностью – 7686,26 м, протяженность проектируемого участка (заход на ПС 220 кВ Строительная) – 533,1 м.

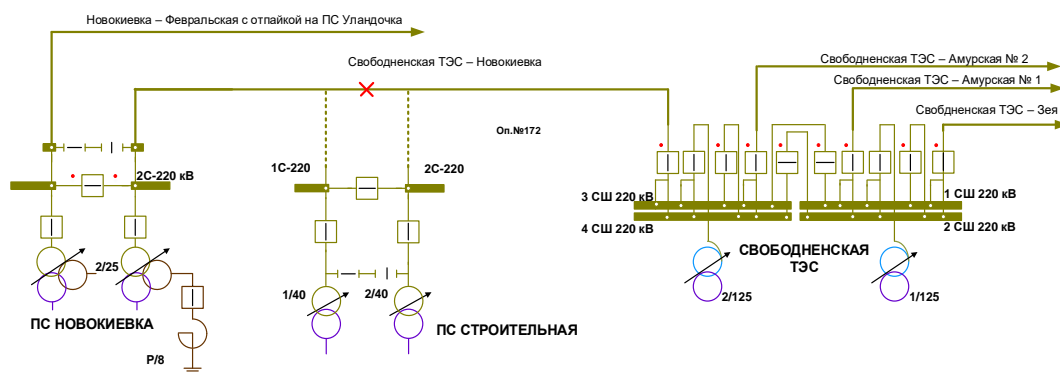


Рисунок 1 – Схема присоединения ПС к существующим сетям

В рамках реконструкции ВЛ 220 кВ Свободненская ТЭС – Новокиевка предусмотрено два этапа включения в сеть ПС 220 кВ Строительная:

1 этап. Подключение ПС 220 кВ Строительная отпайкой от ВЛ 220 кВ Свободненская ТЭС – Новокиевка;

2 этап. Включение ПС 220 кВ Строительная в разрез ВЛ 220 кВ Свободненская ТЭС – Новокиевка с образованием ВЛ 220 кВ Новокиевка – Строительная и ВЛ 220 кВ Свободненская ТЭС – Строительная.

Тема ВКР – «Проектирование релейной защиты и автоматики воздушной линии электропередачи 220 кВ Свободненская ТЭС – ПС Строительная».

Таким образом, целью работы является проектирование релейной защиты и автоматики ВЛ 220 кВ Свободненская ТЭС – Строительная.

Актуальность темы состоит в необходимости присоединения вновь вводимых объектов Амурского ГХК ООО «АГХК» к существующим сетям и активном развитии промышленности Дальнего Востока. Строительство ВЛ 220 кВ Свободненская ТЭС – Строительная вызвано необходимостью

обеспечить надежное электроснабжение проектируемой
ПС 220 кВ Строительная.

Для осуществления поставленной цели необходимо выполнить ряд задач:

- провести анализ состояния существующей системы релейной защиты прилегающей сети;
- выполнить расчет вторичных цепей трансформаторов тока и напряжения 220 кВ;
- разработать технических решений по реконструкции системы РЗА;
- определить принципы организации, функциональный и количественный состав и места расстановки устройств РЗА.
- рассчитать токи КЗ на проектируемой ВЛ и ПС;
- выполнить выбор устройств РЗА для защиты ВЛ, рассчитать параметры настройки устройств РЗА;
- выполнить расчет молниезащиты ПС и заземляющих устройств;
- произвести экономическую оценку принятых технических решений;
- оценить безопасность и экологичность проекта.

1 ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ПРОЕКТИРОВАНИЯ:

1.1 Географическая характеристика района размещения ВЛ

В административном отношении участок работ расположен в Амурской области в Свободненском районе, в 15 км от г. Свободный, на 12-м километре автодороги в направлении села Черниговка. Территория свободна от застройки. Ближайшая железнодорожная разгрузочная станция – «Свободный», находится в 25 км от района строительства заходов ВЛ 220 кВ на ПС 220 кВ Строительная. Район строительства заходов изучен довольно хорошо. В районе размещения проектируемого объекта ведётся строительство Амурского ГПЗ.

1.2 Климатическая характеристика района размещения ВЛ

По климатическому районированию для строительства объекты изысканий расположены в I В строительно-климатической зоне.

Основными факторами, определяющими климат района, являются: географическое положение, муссонный характер циркуляции атмосферы, циклоническая деятельность. Формируясь под воздействием как океанических, так и континентальных факторов, климат отличается резко выраженными чертами континентальности и в то же время носит муссонный характер.

Влияние материка проявляется, главным образом, зимой, когда сухой и сильно охлажденный воздух проникает на территорию области в виде зимнего муссона, представляющего северо-западный и северный потоки воздуха. Обычно зимой устанавливается безветренная, ясная, но очень холодная погода. Средняя температура воздуха в районе пос. Углегорск в январе месяце составляет минус 26,2°С. Наиболее холодными месяцами являются декабрь и январь, когда абсолютный минимум температуры воздуха достигает величины минус 52 °С.

В теплый период года район подвержен влиянию Тихого океана, преобладают ветры южного и юго-восточного направлений.

Средняя температура воздуха в июле – плюс 26,6 °С.

Ниже по тексту приведены основные климатические характеристики многолетних наблюдений ближайшей метеостанции, расположенной в г.Свободном Амурской области:

Среднегодовая температура воздуха – минус 2,2°С:

– абсолютный – минимум – минус 52°С;

– абсолютный максимум – плюс 42°С;

– средняя температура воздуха периода со среднесуточной температурой менее или равной 8 °С – минус 12,4 °С;

– продолжительность периода со среднесуточной температурой воздуха менее или равной 8 °С – 229 суток.

Количество осадков с поправками к показанию осадкомера за год – 571 мм:

Высота снежного покрова средняя за зиму – 23 мм;

– максимальная – 68 мм;

– минимальная - 6 мм.

Плотность снежного покрова за последний день декады – 0,18 г/см²;

– снеговой район по СП 20.13330.2011– I;

– вес снежного покрова – 0,8 кПа.

Среднегодовая скорость ветра – 2,6 м/сек;

– возможная один раз в год – 29 м/сек;

– один раз в 20 лет – 18 м/сек.

Преобладающее направление ветра – СЗ, 3;

– район по давлению ветра (ПУЭ 7-ое издание) – III;

– нормативное значение ветрового давления на высоте 10 метров – 650 Па.

Исследуемая территория по гололедным явлениям относится к малоизученным районам. По имеющимся материалам исследуемую территорию можно отнести к III району по гололеду со следующими характеристиками:

– нормативная толщина стенки гололеда – 20 мм;

– на высоте 200 м – 35 мм;

– температура гололедообразования – минус 10 °С;

– наибольшая продолжительность обледенения (по метеостанции гор. Свободного) – 30 часов;

- максимальный диаметр отложения льда на проводах – 18 мм.
- Число дней с обледенением (по визуальным наблюдениям):
- Изморозь – 2 дня в год;
- Обледенение всех видов – 2 дня в год.
- Среднее число дней в год с грозой – 20;
- наибольшее – 32;
- период грозовой деятельности – апрель-октябрь;
- месяцы наиболее частого проявления гроз – июнь-июль;
- Средняя продолжительность гроз в году – 38,74 часа.
- Среднее число дней с градом за год – 0,3;
- Наибольшее число дней с градом в году – 3;
- Среднее многолетнее число дней с туманом в году – 11;
- наибольшее число дней с туманом в июле и августе – по 3;
- средняя продолжительность туманов за год – 39 часов.
- Среднее многолетнее число дней с метелью за год – 2 дня;
- Средняя продолжительность метелей за год – 8 часов.
- Относительная влажность воздуха за год – 66%;
- средняя месячная относительная влажность воздуха наиболее тёплых месяцев года: в июле – 77%, в августе – 79%;
- средняя месячная относительная влажность воздуха наиболее холодного месяца года (декабрь) – 71%;
- глубина промерзания почвы в год – 212 см.

1.3 Геологическая характеристика района размещения ВЛ

- проектируемая трасса расположена южнее подъездной дороги к г. Свободный от трассы М58 Амур в районе ее 10-го км;
- в геоморфологическом отношении трасса располагается на поверхности водораздела рек Большая Пёра и р. Ракуша;
- рельеф в пределах полосы прокладки заходов ВЛ с плавными переходами от сопок к понижениям рельефа. Перепады высот в пределах трассы от 1,0 до 20,0 м, в абсолютных отметках 215,28-236,34 м;

– в геологическом строении грунта, до изученной глубины 15.0 м принимают участие плиоцен-нижнеплейстоценовые аллювиальные отложения белогорской свиты (а N2-Q1 b1), представленные преимущественно песками различной крупности;

– гидрогеологические условия грунта определяются отсутствием подземных вод постоянного водоносного горизонта;

– нормативная глубина сезонного промерзания грунтов при средневзвешенных значениях показателей физических и теплофизических свойств составляет 3,7 м;

– по степени морозного пучения грунты, залегающие в зоне сезонного промерзания при промерзании, будут обладать не пучинистыми свойствами;

– конструкции и коммуникации из низколегированной и углеродистой стали, закладываемые до глубины 3,0 м от поверхности, будут подвергаться низкой степени коррозии;

– сейсмическая активность составляет 7-8 баллов;

– по категориям сейсмических свойств грунты разреза относятся ко II категории;

– по совокупности природных факторов, территория изысканий характеризуется второй (средней) категорией сложности инженерно-геологических условий.

Сложившиеся инженерно-геологические и гидрогеологические условия на площадке позволяют вести строительство с применением любых типов фундаментов, в качестве естественного основания можно использовать все грунты разреза кроме почвенно-растительного слоя.

2.1 Варианты прохождения трассы, проектируемой ВЛ 220 кВ

1 вариант. Подключение выполняется врезкой в пролете опор №26-27 ВЛ 220 кВ «Свободненская ТЭС – Новокиевка» (опоры – промежуточные). В начале трассы имеется залесенный участок. Далее трасса следует в северном направлении по землям сельскохозяйственного назначения. Протяженность трассы – 0,54 км. Рельеф трассы характеризуется значительными перепадами высот к середине трассы (отм. 235 – 214 м) и далее, на подходе к ПС 220 кВ Строительная вновь возвышаясь (отм. 214 – 234 м).

Достоинствами данного варианта являются его наименьшая протяженность трассы, меньшая территория залесенного участка, отсутствие обрабатываемых территорий сельскохозяйственного назначения.

Недостатком данного варианта является необходимость подвески второго грозозащитного троса по существующей ВЛ 220 кВ в пролетах опор №18 – 31.

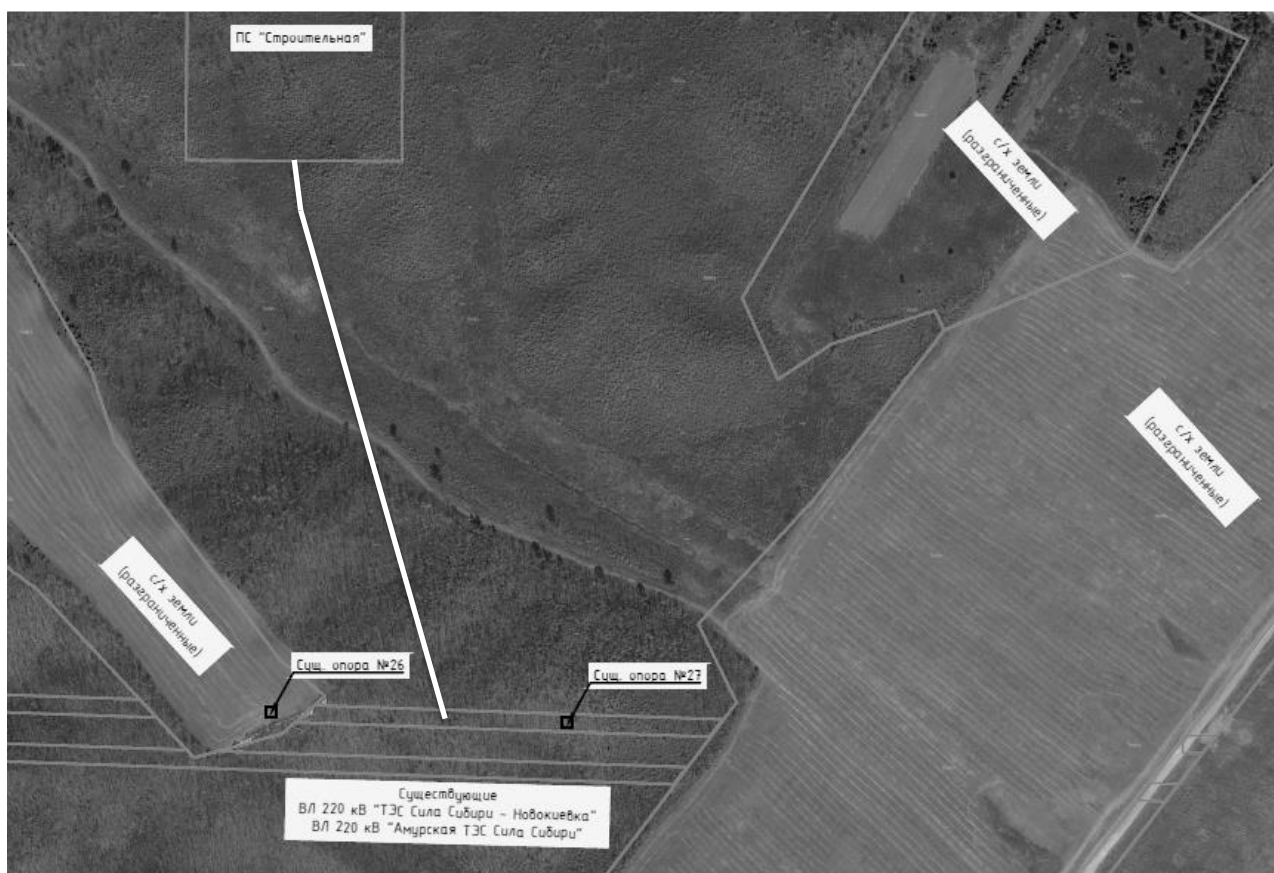


Рисунок 2.2 – Вариант прохождения трассы ВЛ №1

2 вариант. Подключение выполняется в районе опоры №18. Опора – анкерного типа. Трасса следует параллельно существующей ВЛ 220 кВ Свободненская ТЭС – Новокиевка с небольшим отклонением на северо-восток. Трасса характеризуется значительными перепадами высот, проходит по землям сельхоз назначения, находящихся в эксплуатации. Общая протяженность заходов 2,74 км (каждая цепь).

В связи с наличием земельных участков сельскохозяйственного назначения потребуются возмещение убытков, причиненных правообладателю земельного участка в результате деятельности, осуществляемой владельцем публичного сервитута на земельном участке.

Достоинствами данного варианта являются:

- отсутствие необходимости реконструкции существующих участков ВЛ 220 кВ Свободненская ТЭС – Новокиевка в части подвески второго грозозащитного троса;

- в месте врезки установка только одной анкерной опоры, используя для организации подключения существующую опору №18.

Недостатки:

- большая протяженность заходов ВЛ, что существенно увеличивает объем строительно-монтажных работ, количество и стоимость конструкций и материалов;

- большая протяженность залесенных участков;

- наличие на пути следования трасс ВЛ 220 кВ участков сельхоз деятельности, что приводит к необходимости компенсации затрат землепользователям, выполнению работ по рекультивации данных земельных участков.



Рисунок 2.3 – Вариант прохождения трассы ВЛ №2

3 вариант.

Подключение выполняется в районе опоры №31. Опора – анкерного типа. Трасса следует в северо-западном направлении параллельно проселочной дороге и, далее, в северном направлении к ПС 220 кВ Строительная. Трасса характеризуется относительно ровным рельефом (в распадке между холмов и лишь на участке подхода к ПС имеет ярко выраженный уклон в сторону подстанции. Залесенные участки присутствуют, однако растительность редкая, преимущественно кустарник. Начало трассы расположено на земельном сельскохозяйственном участке, находящимся в эксплуатации. Общая протяженность заходов 1,75 км (каждая цепь).

Достоинства данного варианта:

- уменьшение объемов рубки просеки;
- в месте врезки установка только одной анкерной опоры, используя для организации подключения существующую опору №31.

Недостатки:

- большая протяженность ВЛ в сравнении с вариантом №1;
- наличие на пути следования трасс ВЛ 220 кВ участков сельхоз деятельности.



Рисунок 2.4 – Вариант прохождения трассы ВЛ №3
18

2.2 Сведения о функциональном назначении ПС 220 кВ

Строительная

Проектируемая ПС 220 кВ Строительная предназначена для приема, трансформации и распределения электрической энергии для нужд потребителей Амурского ГХК ООО «АГХК».

Объект представляет собой открытую подстанцию, на территории которой расположено:

- открытое распределительное устройство 220 кВ (ОРУ 220 кВ), выполненное по схеме № 220-5АН «Мостик с выключателями в цепях трансформаторов и ремонтной перемычкой со стороны трансформатора»;
- два силовых трансформатора 220 кВ мощностью 40 МВА;
- комплектное распределительное устройство наружной установки 10 кВ, выполненное по схеме № 10-1 «Одна, секционированная выключателем, система шин»;
- блочно-модульное здание ОПУ.

Согласно заданию на проектирование ПС 220 кВ Строительная в рамках строительства предусматривается следующий объем работ:

- установка двух силовых трансформаторов ТДН-40000/220/10 УХЛ1;
- установка элегазовых баковых выключателей 220 кВ со встроенными трансформаторами тока;
- установка трехфазный разъединителей 220 кВ;
- установка трансформаторов тока 220 кВ;
- установка ёмкостных трансформаторов напряжения 220 кВ;
- установка ограничителей перенапряжений 220 кВ;
- установка конденсаторов связи 220 кВ;
- установка ВЧ заградителей 220 кВ;
- установка фильтров присоединения;
- установка однополюсных разъединителей 10 кВ;
- установка ТСЗ-320/10/0,4 У2;
- строительство ЗРУ 10 кВ с установкой КРУ 10 кВ;

– строительство блочно-модульного здания ОПУ с установкой сухих трансформаторов собственных нужд 10/0,4 кВ, шкафов собственных нужд 0,4 кВ, шкафов РЗА, АСУ ТП и АИИС КУЭ;

– установка металлоконструкций под силовое оборудование высокой заводской готовности;

– установка молниеотводов на базе высокомачтовых опор освещения с мобильной короной;

– организация собственных нужд 380/220 В на ПС;

– прокладка силовых и контрольных кабелей по территории ПС;

– организация заземления, молниезащиты и освещения территории ПС;

– устройство пожарных емкостей, маслосборника;

– устройство ограждения по периметру ПС.

Функционирование подстанции 220 кВ Строительная принято без постоянного дежурства персонала на подстанции. Проектом предусматривается возможность оперативного управления оборудованием ПС оперативным персоналом выездной бригады, приезжающим на ПС в необходимых случаях и выполняющим оперативные переключения элементов ПС. Техническое обслуживание и ремонт оборудования будет проводиться внешним привлеченным персоналом согласно графику или по результатам оценки технического состояния оборудования.

В соответствии с действующей структурой оперативно-диспетчерского управления оборудование 220 кВ проектируемой ПС 220 кВ Строительная будет находиться в диспетчерском ведении диспетчеров ЦУС Филиала ПАО «ФСК ЕЭС» Амурское ПМЭС, а также диспетчеров Филиала АО «СО ЕЭС» Амурское РДУ.

Объекты электрических сетей, к которым относится ПС 220 кВ Строительная, не имеют собственного производства продукции, их основные функции – оказание услуг по передаче и распределению электрической энергии и мощности.

3 ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ И ВАРИАНТА ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАХОДОВ НА ПС 220 КВ СТРОИТЕЛЬНАЯ

3.1 Выбор варианта трассы и провода

Принимаем к выбору вариант строительства ВЛ 220 кВ №1. Выбор обусловлен наименьшей протяженностью трассы, незначительной протяженностью зале сенных участков и отсутствием земель сельскохозяйственного назначения, находящихся в эксплуатации.

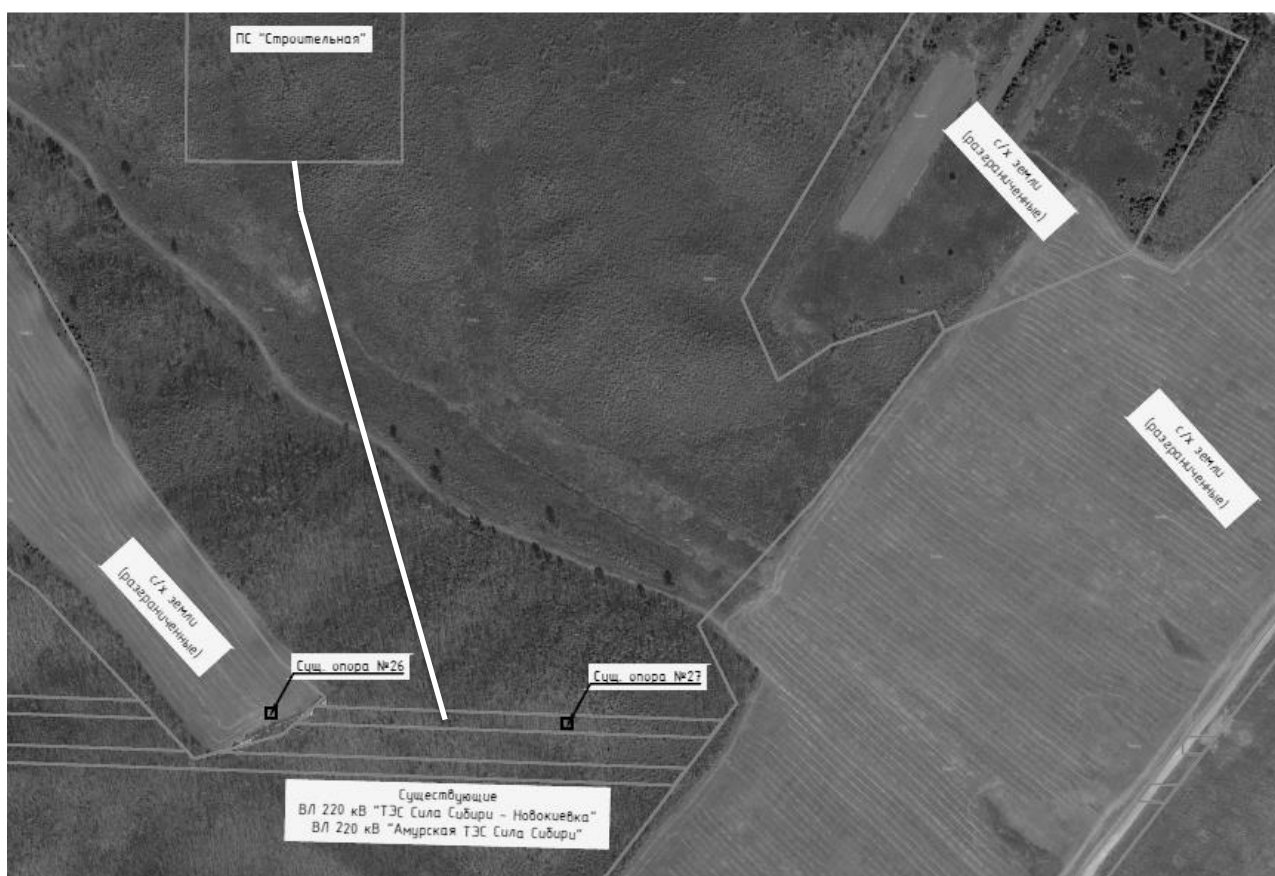


Рисунок 3.1 – Вариант №1

Схема присоединения к электрическим сетям обеспечивает электроснабжение энергопринимающих устройств в следующем объеме:

- 10 МВт – по первой категории электроснабжения;
- 10 МВт – по второй категории электроснабжения;
- 16 МВт – по третьей категории надежности электроснабжения.

Установленная мощность силовых трансформаторов ТДН-40000/220/10 УХЛ1 на ПС 220 кВ Строительная составляет 2x40 МВ·А.

В соответствии с данными о режимах, максимальная нагрузка ВЛ 220 кВ Свободненская ТЭС – Новокиевка составляет:

- в зимний период, при температуре -5°C – 367А;
- в летний период, при температуре $+25^{\circ}\text{C}$ – 354А.

Максимальная передаваемая мощность по ВЛ 220 кВ Свободненская ТЭС – Новокиевка - 367А. С учетом подключения ПС 220 кВ Строительная передаваемая мощность увеличится на 147 А.

Суммарная мощность по вновь организуемым заходам с учетом нагрузки ПС 220 кВ Строительная составит – 514 А.

В соответствии с табл. 2.5.6 ПУЭ минимальный диаметр проводов ВЛ 220 кВ по условиям короны и радиопомех с негоризонтальным расположением проводов – АС-300/39.

Данный провод также применен при строительстве ВЛ 220 кВ Свободненская ТЭС – Новокиевка.

Допустимый длительный ток рассматриваемого провода – 710 А, что является достаточным для обеспечения передачи мощности. Конструкция фазы – один провод.

Применение современных проводов, обладающих повышенной пропускной способностью, стойкостью к климатическим воздействиям, из-за их большей стоимости в сравнении со сталеалюминевыми проводами, а также не сложных климатических условий района строительства, не целесообразно и в данных решениях не рассматривается.

Технико-экономические показатели строительства вновь образуемых линий и проектируемых заходов ВЛ 220 кВ в ОРУ 220 кВ ПС 220 кВ Строительная представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Техничко-экономические показатели строительства вновью образуемой линии и проектируемых заходов ВЛ 220 кВ Свободненская ТЭС – Строительная в ОРУ 220 кВ ПС 220 кВ Строительная

ВЛ 220 кВ Свободненская ТЭС – Строительная	
Параметр	Количество
Протяженность трассы ВЛ220 кВ, м:	
– общая;	7686,26
– проектируемая.	533,1
Напряжение ВЛ	220
Параметр	Количество
Количество цепей	1
Количество проектируемых опор	5
Длина грозотроса:	
– на существующем участке, м.	2567
– на проектируемом участке, м.	551
Марка проектируемого провода	АС-300/39
Длина провода, км:	
– общая;	23,981
– на проектируемом участке.	1,672

3.2 Выбор схемы РУ 220 кВ ПС 220 кВ Строительная

3.2.1 Основные требования, предъявляемые к схемам

Схемы РУ ПС при конкретном проектировании разрабатываются на основании схем развития энергосистемы, схем электроснабжения района или объекта и других работ по развитию электрических сетей и должны [25]:

- Обеспечивать коммутацию заданного числа высоковольтных линий (ВЛ), трансформаторов и автотрансформаторов (Т) и компенсирующих устройств с учетом перспективы развития ПС;

- Обеспечивать требуемую надежность работы РУ исходя из условий электроснабжения потребителей в соответствии с категориями электроприемников и транзитных потоков мощности по межсистемным и магистральным связям в нормальном режиме без ограничения мощности и в послеаварийном режиме при отключенных нескольких присоединениях с учетом допустимой нагрузки оставшегося в работе оборудования [25];

- Учитывать требование секционирования сети и обеспечить работу РУ при расчетных значениях токов короткого замыкания;

- Обеспечивать возможность и безопасность проведения ремонтных и эксплуатационных работ на отдельных элементах схемы;
- Обеспечивать требования наглядности, удобства эксплуатации, компактности и экономичности;
- Схемы РУ должны позволять вывод отдельных выключателей и других аппаратов в ремонт. [25]

3.2.2 Указания по применению мостиковых схем, схем «заход-выход» и «треугольник»

Мостиковые схемы применяются на стороне ВН ПС 35, 110 и 220кВ при 4-х присоединениях (2ВЛ+2Т) и необходимости осуществления секционирования сети. [25]

На напряжении 110 и 220 кВ мостиковые схемы применяются как с ремонтной перемычкой, так и при соответствующем обосновании без ремонтной перемычки [25].

При необходимости секционирования сети на данной ПС в режиме ремонта выключателя предпочтительнее применять схему 5АН (мостик с выключателями в цепях трансформаторов и ремонтной перемычкой со стороны трансформаторов). Схема 5АН применяется при необходимости частого отключения трансформаторов [25].

Схемы 5Н, 5АН, могут быть применены при установке на первом этапе развития ПС одного трансформатора. Количество выключателей при этом определяется технической необходимостью. [25]

В схемах 5Н, 6, 6Н дополнительные трансформаторы тока у силовых трансформаторов устанавливаются при соответствующем обосновании [25].

Необходимость установки ремонтной перемычки в схемах 5Н и 5АН определяется возможностью отключения одной из ВЛ в схеме 5Н (одного из Т в схеме 5АН) на время ремонта выключателя: если такое отключение ВЛ по условиям электроснабжения потребителя возможно – перемычка не устанавливается [25].

3.2.3 Схема РУ 220 кВ ПС 220 кВ Строительная

На ПС 220 кВ Строительная для РУ 220 кВ целесообразно принять схему № 220-5АН «Мостик с выключателями в цепях трансформаторов и ремонтной перемычкой со стороны трансформатора».

Схема РУ 220 кВ была выбрана по следующим критериям:

- Экономическая целесообразность;
- Компактность;
- Возможность сохранения транзита при КЗ (повреждении) на трансформаторе;
- Бесперебойность в работе потребителя в ремонтных схемах.

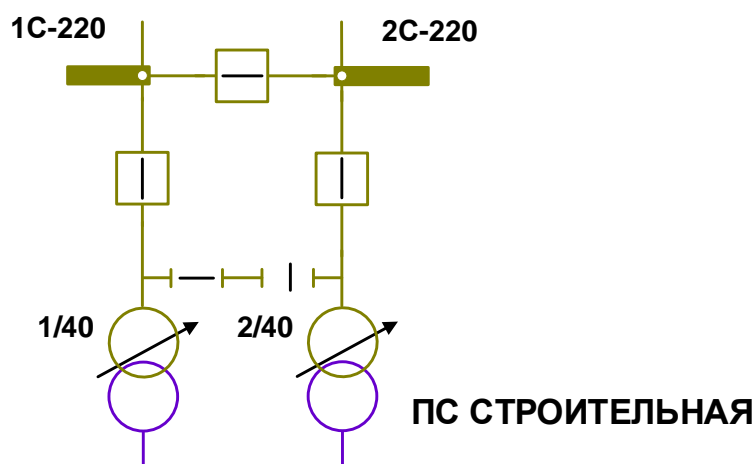


Рисунок 3.2 – Схема № 220-5АН «Мостик с выключателями в цепях трансформаторов и ремонтной перемычкой со стороны трансформатора» [25]

3.3 Проверка силовых трансформаторов

В соответствии с существующими нормативами, мощность трансформаторов на понижающих ПС рекомендуется выбирать из условия допустимой перегрузки в послеаварийных режимах до 70—80%, на время максимума общей суточной продолжительностью не более 6 часов в течение не более 5 суток. Если в составе нагрузки ПС имеются потребители 1-й категории, то число устанавливаемых трансформаторов должно быть не менее двух [1]. Мощность силовых трансформаторов определяется по формуле:

$$S_{\text{ТР}} = \frac{\sqrt{(P_{\text{НН}})^2 + (Q_{\text{НН}})^2}}{N \cdot K_3}, \quad (3.1)$$

где K_3 – коэффициент загрузки силового трансформатора, принимается равным $K_3=0,7$;

$P_{\text{НН}}$, $Q_{\text{НН}}$ – мощности низкой стороны ПС.

Максимальная мощность энергопринимающих устройств составляет 36 МВт

$$P = \frac{S}{\cos \phi} \quad (3.2)$$

$$Q_{\text{НН}} = P \cdot \text{tg}(\phi) \quad (3.3)$$

$$Q_{\text{НН}} = 36 \cdot 0,75 = 27 \text{ Мвар}$$

$$S_{\text{ТР}} = \frac{\sqrt{(36)^2 + (27)^2}}{2 \cdot 0,7} = 32,143 \text{ МВА}$$

Согласно заданию на проектирование, с учетом роста перспективных нагрузок энергорайона, в котором расположена ПС 220 кВ Строительная принимаем силовой трансформатор мощностью 40000 МВА с обмотками: ВН – 220 кВ, НН – 10 кВ типа ТДН-40000/220/10 УХЛ1. Основные технические характеристики трансформатора приведены в таблице 3.2 Проверка по коэффициенту загрузки:

$$K_3^{\text{норм}} = \frac{S_{\text{ТР}}}{2 \cdot S_{\text{НОМ.т}}}, \quad (3.4)$$

$$K_3^{норм} = \frac{36}{2 \cdot 40} = 0,45$$

$$K_3^{авар} = \frac{S_{ТР}}{S_{ном.т}}, \quad (3.5)$$

$$K_3^{авар} = \frac{36}{40} = 0,9$$

Таблица 3.2 – Технические характеристики силового трансформатора

Тип трансформатора	Ном. мощн., кВ А	Ном. напряжение обмоток, кВ		Схема и группа соединения обмоток
		ВН	НН	
ТДН-40000/220/10 УХЛ1	40000	230	11	YN/D- 0-11

3.4 Расчет токов короткого замыкания

3.4.1 Составление схемы замещения

Чтобы рассчитать токи короткого замыкания на высокой, средней и низкой сторонах подстанции ПС 220 кВ Строительная для реальной схемы построим схему замещения, в которую реальные элементы вводятся своими индуктивными сопротивлениями, а нагрузки, система – сопротивлениями и ЭДС. [10]

Схема замещения для расчета симметричного трехфазного короткого замыкания представлена на рисунке 3.3

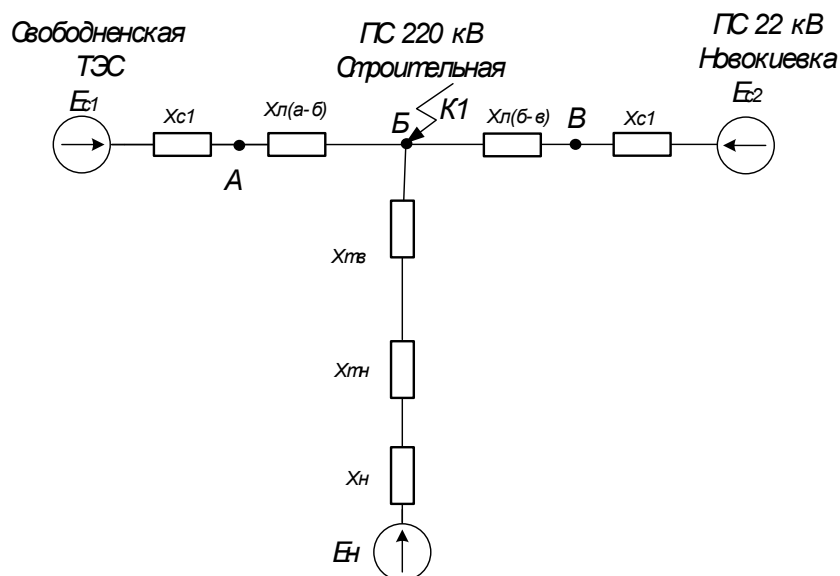


Рисунок 3.3 – Схема замещения для расчета трехфазного КЗ на ПС 220 кВ Строительная.

3.4.2 Определение параметров элементов схемы замещения

Так как для расчета используется метод приближенного приведения в относительных единицах, то принимаем базисные условия: [10]

$$S_{\text{баз}} = 100 \text{ МВА}; U_{\text{баз1}} = 230 \text{ кВ};$$

Рассчитаем значение базисного тока по формулам:

$$I_{\text{баз1}} = \frac{S_{\text{баз}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{баз}}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 230} = 0,251 \text{ кА}. \quad (3.6)$$

Определяем сопротивления элементов сети.

Сопротивление системы будем рассчитывать по формуле:

$$X_c = \frac{S_{\text{баз}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{баз}} \cdot I_k}, \quad (3.7)$$

где I_k - трехфазный ток короткого замыкания на шинах системы.

Для Свободненской ТЭС $I_k=7,891$ кА

Произведем расчет сопротивлений системы по формуле 3.7:

$$X_{c1} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 230 \cdot 7,891} = 0,032 \text{ о.е.}$$

$$X_{c2} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 230 \cdot 3,24} = 0,077 \text{ о.е.}$$

Рассчитаем сопротивление нагрузок по формуле 3.8:

$$X_H = 0,35 \cdot \frac{S_{\text{баз}}}{S_H} \text{ о.е.} \quad (3.8)$$

$$X_H = 0,35 \cdot \frac{100}{36} = 0,972 \text{ о.е.};$$

Сопротивления линий считаем по формуле 18, приведенной ниже:

$$X_L = x_0 \cdot L \cdot \frac{S_{\text{баз}}}{U_{\text{баз}}^2} \text{ о.е.}, \quad (3.9)$$

где x_0 – удельное реактивное сопротивление воздушной линии;

для ВЛ 220 кВ $x_0 = 0,42$ Ом/км.

L- длина линии.

Рассчитаем сопротивление линии на участке между Свободненской ТЭС и ПС 220 кВ Строительная.

$$X_{л} = 0,42 \cdot 8,2 \cdot \frac{100}{230^2} = 0,0065 \text{ о.е.}$$

Линиям соответствуют сопротивления, значения которых приведены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Значения сопротивлений линий

ХЛ.АБ, о.е.	ХЛ.БВ, о.е.
0,0065	0,069

Напряжение короткого замыкания для различных обмоток $U_{кВ} = 11; \%$:

Индуктивные сопротивления трансформатора прямой, обратной и нулевой последовательностей равны, о.е:

$$X_{Ti} = \frac{U_{ki}, \%}{100} \cdot \frac{S_6}{S_H}, \quad (3.10)$$

где i – сторона обмотки трансформатора.

Расчет индуктивных сопротивлений трансформатора ПС 220 кВ Строительная:

$$X_{ТВ} = \frac{u_{кТВ} \cdot S_{баз}}{100 \cdot S_T} = \frac{11 \cdot 100}{100 \cdot 40} = 0,275 \text{ о.е.} \quad (3.11)$$

3.4.3 Приведение схемы замещения к расчетному виду

При расчете коротких замыканий сложную схему сворачивают к простейшему виду, представляя в виде одной ветви, либо к семейству радиальных простейших ветвей, сходящихся в месте КЗ, при этом каждая из этих ветвей называется расчетной схемой замещения. [4]

Рассмотрим расчет трехфазного короткого замыкания на высокой стороне ПС ПС 220 кВ Строительная.

Исходную схему замещения сворачиваем до схемы, представленной на рисунке 3.4:

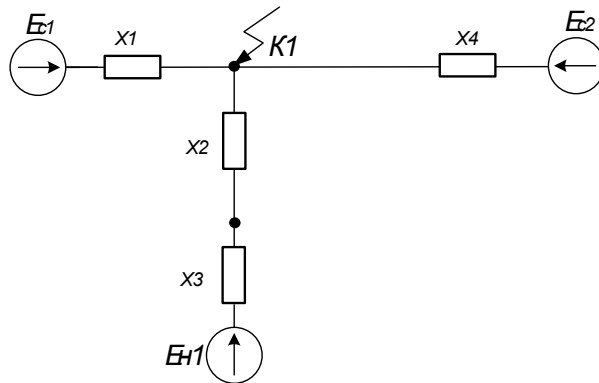


Рисунок 3.4 – Преобразование исходной схемы

$$X_1 = X_{C1} + X_{Л.АБ} = 0,038 \text{ о.е.} \quad (3.12)$$

$$X_2 = X_{Тв} = 0,275 \text{ о.е.} \quad (3.13)$$

$$X_3 = X_{Тн} + X_{Н1} = 1,247 \text{ о.е.} \quad (3.14)$$

$$X_4 = X_{C2} + X_{Л.Бв} = 0,152 \text{ о.е.} \quad (3.15)$$

Следующие преобразования заменим параллельные ветви, содержащих ЭДС, на одну эквивалентную:

$$X_5 = X_2 + X_3 = 1,522 \quad (3.16)$$

$$X_6 = \frac{X_1 \cdot X_4}{X_1 + X_4} = 0,713, \quad (3.17)$$

$$E_{Э1} = \frac{E_{Н1} \cdot X_1 + E_{Г2} \cdot X_4}{X_1 + X_4} = 0,85. \quad (3.18)$$

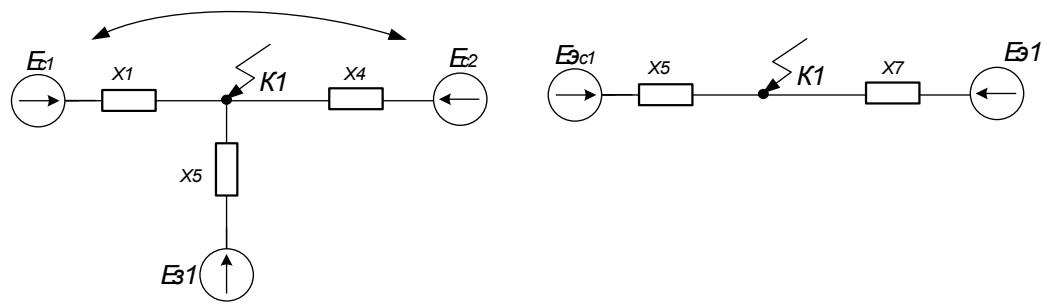


Рисунок 3.5 – Преобразование

Находим действующее значение периодической составляющей тока трехфазного КЗ в начальный момент времени по формуле 3.19:

$$I_{\text{П0}} = \frac{E_{\text{С}}}{X_{\Sigma}} \cdot I_{\text{баз}} \quad (3.19)$$

Со стороны системы 220 к получаем следующее значение периодической составляющей тока КЗ:

$$I_{\text{П0}} = \frac{1}{0,0395} \cdot 0,251 = 6,36 \text{ кА}$$

В таблице 3.4 представлены результаты расчета токов КЗ.

Таблица 3.4 – Суммарные токи короткого замыкания

Точка К.З.	$I^{(3)}$, кА	$I^{(1)}$, кА
Шины 220 кВ Свободненская ТЭС	8,041	7,489
Шины 220 кВ ПС 220 кВ Новокиевка	3,275	3,21
Шины 220 кВ ПС 220 кВ Строительная	6,366	7,229
Шины 10 кВ ПС 220 кВ Строительная	16,823	-

3.5 Проверка высоковольтного оборудования:

Проверка оборудования выполнена в соответствии с Руководящими указаниями по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования, РД 153–34.0–20.527–98 [3].

Технические характеристики должны удовлетворять условиям выбора:

По номинальному напряжению:

$$U_{ном.} \geq U_{ном.сети}$$

По номинальному току:

$$I_{ном.} \geq I_{ном.расч.}$$

$$I_{ном.расч.} = \frac{1.4 \cdot S_{тр}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.сети}} \quad (3.20)$$

где $I_{ном.расч.}$ – номинальный расчетный ток кА;

$S_{тр}$ – мощность трансформатора, кВА;

По отключающей способности:

$$I_{откл.} \geq I_{но.}$$

По току динамической стойкости:

$$i_{Дин.} \geq i_{уд.}$$

$$i_{уд.} = \sqrt{2} \cdot K_{уд} \cdot I_{но.} \quad (3.21)$$

где $i_{уд.}$ – ударный ток, кА;

$K_{уд} = 1,85$ – ударный коэффициент.

По току термической стойкости:

$$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} \geq B_K; \quad (3.22)$$

$$B_K = I_{но}^2 \cdot t_{откл.} \quad (3.23)$$

где B_K – тепловой импульс тока КЗ, кА²с;

$t_{откл}$ – время отключения тока КЗ, с.

3.6 Выбор и проверка высоковольтных выключателей:

3.6.1 Выбор и проверка высоковольтных выключателей 220 кВ со стороны ПС 220 кВ Строительная:

На ПС 220 кВ Строительная к предварительной установке принимаем высоковольтный выключатель типа ЗАР1 ДТ-245 УХЛ1 со встроенными трансформаторами тока ТВ-ТМ. Сравнительные технические характеристики и результаты проверки приведены в таблице 3.5.

По номинальному напряжению:

$$U_{ном.} = 220 \text{ кВ}; U_{ном.сети} = 220 \text{ кВ};$$

$$U_{ном.} = U_{ном.сети}.$$

По номинальному току по формуле 3.20:

$$I_{ном.расч.} = \frac{40000 \cdot 1,4}{\sqrt{3} \cdot 220} = 146,96;$$

$$I_{ном} = 1000 \text{ А}; I_{ном.} \geq I_{ном.расч.}$$

По отключающей способности:

$$I_{откл.} = 20 \text{ кА}; I_{по} = 7,2 \text{ кА};$$

$$I_{откл.} \geq I_{по}.$$

По току динамической стойкости по формуле 3.21:

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot 1,85 \cdot 7,2 = 18,37 \text{ кА};$$

$$i_{дин} = 51 \text{ кА}; i_{дин} \geq i_{уд}.$$

По току термической стойкости по формуле 3.22 и 3.23:

$$B_K = 7,2^2 \cdot 3 = 155,52 \text{ кА}^2\text{с};$$

$$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} = 31,5^2 \cdot 3 = 2977 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

$$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} \geq B_k.$$

Таблица 3.5 – Проверка силовых выключателей со стороны ПС 220 кВ
Строительная

Наименование	Расчётные данные					Каталожные данные				
	Ун.с, кВ	Инр, А	Ипо, кА	іуд, кА	Вк, кА ² ·с	Ун, кВ	Ином, А	Іоткл, кА	ідин, кА	І ² ×t, кА ² ·с
ВЛ 220 кВ Свободненская ТЭС – Строительная	220	146,96	7,2	18,37	155,52	220	1000	20	51	2977

Вывод: устанавливаемое оборудование соответствует расчетным токам КЗ.

3.6.2 Выбор и проверка высоковольтных выключателей 220 кВ со стороны Свободненской ТЭС:

На Свободненской ТЭС имеется существующий высоковольтный выключатель типа ВГТ-220Ш-1К-ОП-40/4000 УХЛ1. Сравнительные технические характеристики и результаты проверки приведены в таблице 3.6.

По номинальному напряжению:

$$U_{ном.} = 220 \text{ кВ}; U_{ном.сети} = 220 \text{ кВ};$$

$$U_{ном.} = U_{ном.сети}.$$

По номинальному току по формуле 3.20:

$$I_{ном.расч.} = \frac{40000 \cdot 1,4}{\sqrt{3} \cdot 220} = 146,96;$$

$$I_{ном} = 4000 \text{ А}; I_{ном.} \geq I_{ном.расч.}$$

По отключающей способности:

$$I_{откл.} = 40 \text{ кА}; I_{по} = 7,89 \text{ кА};$$

$$I_{откл.} \geq I_{по}.$$

По току динамической стойкости по формуле 3.21:

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot 1,85 \cdot 7,89 = 20,64 \text{ кА};$$

$$i_{дин} = 51 \text{ кА}; i_{дин} \geq i_{уд}.$$

По току термической стойкости по формуле 3.22 и 3.23:

$$B_k = 7,89^2 \cdot 3 = 186,76 \text{ кА}^2\text{с};$$

$$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} = 40^2 \cdot 3 = 4800 \text{ кА}^2\text{с};$$

$$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} \geq B_k.$$

Таблица 3.6 – Проверка силовых выключателей со стороны Свободненской ТЭС

Наименование	Расчётные данные					Каталожные данные				
	Ун.с, кВ	Ипр, А	Ипо, кА	іуд, кА	Вк, кА ² ·с	Ун, кВ	Ином, А	Іоткл, кА	ідин, кА	І ² ×t, кА ² ·с
ВЛ 220 кВ Свободненская ТЭС – Строительная	220	146,96	7,89	20,64	186,76	220	4000	40	51	4800

Вывод: установленное оборудование соответствует расчетным токам КЗ.

3.7 Выбор и проверка разъединителей на ПС 220 кВ Строительная.

Разъединители предназначены для включения и отключения обесточенных участков электрических цепей, находящихся под напряжением, а также заземления отключенных участков при помощи заземлителей.

Разъединители также используют для отключения токов холостого хода трансформаторов и зарядных токов воздушных и кабельных линий.

3.7.1 Выбор и проверка разъединителей 220кВ со стороны ПС 220 кВ Строительная.

На ПС 220 кВ Строительная предварительно принимаем к установки на ПС разъединитель 220 кВ РГН.2-220.П/1000-31,5 УХЛ1. Сравнительные технические характеристики и результаты проверки приведены в таблице 3.7.

По номинальному напряжению:

$$U_{ном.} = 220 \text{ кВ}; U_{ном.сети} = 220 \text{ кВ};$$

$$U_{ном.} = U_{ном.сети.}$$

По номинальному току по формуле 3.20:

$$I_{ном.расч.} = \frac{40000 \cdot 1,4}{\sqrt{3} \cdot 220} = 146,96;$$

$$I_{ном} = 1000 \text{ А}; I_{ном.} \geq I_{ном.расч.}$$

По отключающей способности:

$$I_{откл.} = 31,5 \text{ кА}; I_{по} = 7,4 \text{ кА};$$

$$I_{откл.} \geq I_{по.}$$

По току динамической стойкости по формуле 3.21:

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot 1,85 \cdot 7,2 = 18,74 \text{ кА};$$

$$i_{дин} = 80 \text{ кА}; i_{дин} \geq i_{уд.}$$

По току термической стойкости по формуле 3.22 и 3.23:

$$B_k = 7,2^2 \cdot 3 = 155,52 \text{ кА}^2\text{с};$$

$$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2\text{с};$$

$$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} \geq B_k.$$

Таблица 3.7 – Проверка разъединителей

Наименование	Расчётные данные					Каталожные данные				
	Ун.с, кВ	Инр, А	Ипо, кА	іуд, кА	Вк, кА ² ·с	Ун, кВ	Ином, А	Іоткл, кА	ідин, кА	І ² ·t, кА ² ·с
РУ 220 кВ	220	146,96	7,2	18,74	152,52	220	1000	31,5	51	1200

Вывод: устанавливаемое оборудование соответствует расчетным токам КЗ.

3.8 Выбор и проверка трансформаторов тока.

3.8.1 Выбор и проверка трансформаторов тока 220 кВ.

В данном разделе осуществляется выбор сечений кабелей токовых цепей до устройств релейной защиты и автоматики и расчетная проверка трансформаторов тока. Ранее был к установке был принят высоковольтный выключатель типа ЗАР1 ДТ-245 УХЛ1 со встроенными трансформаторами тока ТВ-ТМ. Так же предварительно к установке принимаем элегазовый трансформатор тока ТОГФ-220.ІІІ УХЛ.1

Расчет вторичных цепей трансформаторов тока 220 кВ с коэффициентом трансформации 800/1.

Выполним расчет допустимой нагрузки для ТТ 220 кВ.

Таблица 3.8 – Технические данные ТТ 220 кВ

№	Наименование параметра	Обозначение параметра	Тип (величина)
1	Используемый коэффициент трансформации	-	800/1
2	Количество обмоток	-	6
3	Классы точности обмоток	-	0,2S/5P/5P/5P/5P/0,2
4	Кол-во фаз	-	3

В соответствии со схемой распределения по ТТ и ТН устройств ИТС ПС 220 кВ Строительная, наиболее нагруженной обмоткой является ТА5 5P. К ней подключены следующие элементы:

Таблица 3.9 – Элементы и характеристика

№	Элементы	Характеристика
Обмотка ТА5а 5Р		
1	Кабель от ОРУ 220 кВ до ОПУ	КВВГЭнг-LS, 5×2,5 мм ² , 123 м
2	Устройства РЗА	3 ВА
Обмотка ТА5b 5Р		
1	Кабель от ОРУ 220 кВ до ОПУ	КВВГЭнг-LS, 5×2,5 мм ² , 123 м
2	Устройства РЗА	3 ВА
Обмотка ТА5с 5Р		
1	Кабель от ОРУ 220 кВ до ОПУ	КВВГЭнг-LS, 5×2,5 мм ² , 123 м
2	Устройства РЗА	3 ВА

Сопротивление кабелей, подключенных к обмотке трансформатора тока ТА5а:

$$5P: R_{\text{каб}} = p_{\text{Си}} \cdot \frac{l_{\text{каб}}}{S_{\text{каб}}}; \quad (3.24)$$

$$5P: R_{\text{каб}} = 0,01172 \cdot \frac{123}{2,5} = 0,846 \text{ Ом.}$$

Сопротивление приборов, подключенных к обмотке трансформатора тока ТА5а 5Р:

$$R_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{НОМ}}}{I_{\text{НОМ}}^2}; \quad (3.25)$$

$$R_{\text{приб}} = \frac{3}{1^2} = 3 \text{ Ом.}$$

Суммарное сопротивление контактов, подключенных к обмотке трансформатора тока ТА5а 5Р:

$$R_{\text{конт}} = n \cdot R_{\text{к}} ; \quad (3.26)$$

$$R_{\text{конт}} = 10 \cdot 0,0001 = 0,001 \text{ Ом.}$$

Величина общего сопротивления, подключенного к обмотке трансформатора тока ТА5а 5Р:

$$R_{\text{общ}} = R_{\text{каб}} + R_{\text{приб}} + R_{\text{конт}} ; \quad (3.27)$$

$$R_{\text{общ}} = 0,846 + 3 + 0,001 = 3,847 \text{ Ом.}$$

Найдем мощность нагрузки вторичных обмоток:

$$S_{\text{общ}} = R_{\text{общ}} \cdot I_{\text{ном}}^2 \quad (3.28)$$

$$S_{\text{общ}} = 3,847 \cdot 1 = 3,847 \text{ В} \cdot \text{А.}$$

Рассчитаем предельную кратность ТТ. Предельная кратность равна отношению максимального тока КЗ к току номинальному.

Расчетный коэффициент кратности:

$$K_{\text{расч}} = \frac{I_{\text{скв}}}{I_{\text{ном}}} ; \quad (3.29)$$

$$K_{\text{расч}} = \frac{5330}{800} = 6,66.$$

Таким образом $K_{\text{ном}}$ трансформатора тока должен быть больше $K_{\text{расч}}$, и номинальная мощность обмоток так же должна быть больше мощности

вторичной нагрузки. При таком режиме с максимальным током короткого замыкания ТТ будет работать в области характеристики, далекой от точки насыщения, что соответствует работе ТТ в классе точности. [3]

По номинальному напряжению:

$$U_{ном.} = 220 \text{ кВ}; U_{ном.сети} = 220 \text{ кВ};$$

$$U_{ном.} = U_{ном.сети.}$$

По номинальному току по формуле 3.20:

$$I_{ном.расч.} = \frac{40000 \cdot 1,4}{\sqrt{3} \cdot 220} = 146,96 \text{ А};$$

$$I_{ном} = 2500 \text{ А}; I_{ном.} \geq I_{ном.расч.}$$

По отключающей способности:

$$I_{откл.} = 40 \text{ кА}; I_{по} = 7,2 \text{ кА};$$

$$I_{откл.} \geq I_{по.}$$

По току динамической стойкости по формуле 3.21:

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot 1,85 \cdot 7,2 = 18,83 \text{ кА};$$

$$i_{дин} = 51 \text{ кА}; i_{дин} \geq i_{уд.}$$

По току термической стойкости по формуле 3.22 и 3.23:

$$B_k = 7,2^2 \cdot 3 = 155,52 \text{ кА}^2\text{с};$$

$$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2\text{с};$$

$$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} \geq B_k.$$

Сравнительные технические характеристики и результаты проверки трансформаторов тока по условиям проверки приведены в таблице 3.10

Таблица 3.10 – Проверка трансформаторов тока

Наименование	Расчётные данные					Каталожные данные				
	Un,с, кВ	Inр, А	Iпо, кА	iуд, кА	Вк, кА ² ·с	Un, кВ	Inом, А	Iоткл, кА	iдин, кА	I ² xt, кА ² ·с
Перемычка с выключателем со стороны ВЛ	220	146,96	7,2	18,83	155,52	220	2000	40	51	1200

Вывод: устанавливаемое оборудование соответствует расчетным токам КЗ.

3.9 Выбор и проверка ограничителей перенапряжения.

Выбор ограничителей перенапряжения и места установки выполнены в соответствии с ПУЭ раздел 4 и «Методическими указаниями по применению ограничителей перенапряжений нелинейных в электрических сетях 6-35 кВ» РАО «ЕЭС России», «Методическими указаниями по применению ограничителей в электрических сетях 110-750 кВ» РАО «ЕЭС России». [1]

Ограничители перенапряжений выбираем на примере ОПН-220 кВ по следующим условиям:

а) По наибольшему длительно допустимому рабочему напряжению;

$$U_d \geq U_{nr}, \text{ кВ},$$

б) По номинальному разрядному току. $I_n=10$ кА;

в) По значению остающегося напряжения на ограничителе, которое должно быть не больше значения выдерживаемых напряжений электрооборудованием при коммутационных перенапряжениях, определяемых уровнем испытательных напряжений по ГОСТ1516.3-96;

$$U_{ост} \leq U_{выд}.$$

г) величине тока срабатывания противозрывного устройства.

д) По удельной энергоемкости. Принимаем $W_{опн} = 3,5$ кДж/кВ;

Принимаем к установке Ограничители перенапряжений 220 кВ с полимерной изоляцией типа ОПН-П1-220/168/10/2/III УХЛ1.

Характеристики ограничителей перенапряжений приведены в таблице 3.11.

Таблица 3.11 – Характеристики ограничителей перенапряжений

Параметр ограничителя	ОПН-П1-220/168/10/2/III УХЛ1
Номинальное напряжение, кВ	220,0
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	176
Остающееся напряжение при импульсном токе 1,2/2,5 мс с амплитудой 500 А, не более, кВ	390,0
Остающееся напряжение при импульсном токе 8/20 мкс с амплитудой 10000 А, не более, кВ	492,0
Остающееся напряжение при импульсном токе 8/20 мкс с амплитудой 5000 А, не более, кВ	222,0
Пропускная способность: 20 воздействий импульсов тока:	
8/20 мкс с амплитудой, А	10 000
1,2/2,5 мс с амплитудой, А	850
Длина пути утечки внешней изоляции, см	470

3.10 Выбор и проверка проводников

На подстанции применены гибкая ошиновка ОРУ 220. Гибкая ошиновка сети 220 кВ выполнена одним проводом АС 400/22 в фазе (длительно допустимый ток 830 А). [1]

Расчет для ошиновки 220 кВ.

Проверка по длительно допустимому току%

Номинальный расчётный ток по формуле 3.20:

$$I_{ном.расч.} = \frac{40000 \cdot 1,4}{\sqrt{3} \cdot 220} = 146,96 \text{ А};$$

$$I_{доп.} = 830 \text{ А}; I_{доп.} > I_{ном.расч.}$$

Результаты проверки проводов и ошиновки сведены в таблицу 3.12.

Таблица 3.12 – Проверка проводов и ошиновки

Наименование	Расчётные данные			Каталожные данные		
	Un.c, кВ	Inp, А	Iпо, кА	Un, кВ	Inom, А	Ikз.доп, А
АС-400/22	220	146,96	7,2	-	830	

3.11 Выбор трансформаторов собственных нужд

Расчетная максимальная мощность собственных нужд определяется суммированием установленной мощности отдельных приемников, умноженной на коэффициенты участия в максимуме.

Активные и реактивные мощности собственных нужд определяются отдельно для зимнего и летнего максимумов. Полная расчетная мощность для лета и зимы $S_{Л}$, $S_{З}$, кВА, определяется по формулам:

$$S_{Л} = \sqrt{(\sum P_{Л})^2 + (\sum Q_{Л})^2}; \quad (3.30)$$

$$S_{З} = \sqrt{(\sum P_{З})^2 + (\sum Q_{З})^2} \quad (3.31)$$

За расчетную мощность S_p , кВА, для выбора трансформаторов собственных нужд (ТСН) принимается большая из них.

Мощности приемников, коэффициенты участия в максимуме, активные и реактивные мощности летнего и зимнего максимума для расчета ТСН приведены в таблице 3.13.

Полная мощность летнего максимума по формуле 3.30:

$$S_{Л} = \sqrt{53,22^2 + 41,21^2} = 67,3 \text{ кВА.}$$

Полная мощность зимнего максимума по формуле 3.31:

$$S_{З} = \sqrt{208,71^2 + 92,31^2} = 228,2 \text{ кВА.}$$

За расчетную мощность ТСН принимается полная мощность зимнего максимума:

$$S_p = 228,2 \text{ кВА.}$$

320 кВА > 228,2 кВА.

Мощности трансформаторов ТСН-1, ТСН-2 ТСЗ-320/10/0,4 достаточно для питания потребителей собственных нужд в нормальном и аварийном режимах.

Таблица 3.13 – Нагрузка трансформатора собственных нужд

Наименование нагрузки	Нагрузка на трансформатор	
	Рз, кВт	Qз, кВАр
Обогрев приводов выключателей	58,10	19,10
Отопление аккумуляторно, диспетчерской	12,00	3,94
Освещение ОПУ, ЗРУ	12,00	5,11
Аварийное освещение ОПУ	0,70	0,14
Отопление ОПУ	35,00	11,5
Отопление ЗРУ	20,00	6,57
Питание СКУ	1,00	0,48
Питание ОПС	0,30	0,15
Освещение ОПУ, аккумуляторной диспетчерской	14,20	6,17
Распред. Пункт 0,4 кВ (диспетчерская, аккумуляторная)	20,00	6,57
Питание зарядно-подзарядных устройств	7,26	10,73
Питание ОБР	0,50	0,24
Видеонаблюдение	2,00	0,00
Связь, телемеханика	2,00	0,00
Наружное освещение	1,96	0,40
Сварочная сеть ОРУ	3,47	9,28
Охлаждение силового трансформатора Т-1	2,75	3,39
Охлаждение силового трансформатора Т-2	2,75	3,39
Питание привода РПН Т-1	1,03	0,77
Питание привода РПН Т-2	1,03	0,77
Разделительный трансформатор	0,29	0,18
Суммарная мощность потребителей	208,71	92,31

3.12 Решения по организации оперативного постоянного тока

3.12.1 Общая характеристика системы оперативного постоянного тока

Потребители постоянного оперативного тока =220В разнообразны по мощности и режиму потребления. Всех потребителей постоянного оперативного тока =220В можно разделить на три группы:

– постоянно включенная нагрузка – аппараты устройств управления, блокировки, сигнализации и релейной защиты, постоянно обтекаемые током (питание от шин: $\pm EN, \pm EC$). Постоянная нагрузка, как правило, невелика и составляет порядка 5-10А;

– временная нагрузка – появляется при исчезновении переменного тока во время аварийного режима: аварийное освещение. Длительность этой нагрузки определяется длительностью аварии (расчетная длительность 2 часа).

– кратковременная (толчковая) нагрузка (длительностью не более 1с) – создается токами включения и отключения приводов выключателей 10, 220 кВ, пусковыми токами электродвигателей и токами нагрузки аппаратов управления, блокировки, сигнализации и релейной защиты, кратковременно обтекаемых током (питание от шин: $\pm EY, \pm EC1$).

Для определения наибольшей толчковой нагрузки при конкретном проектировании рассматриваются различные аварийные режимы. Большую часть постоянной нагрузки на подстанции составляют микропроцессорные устройства РЗА.

Для интеграции СОПТ в систему АСУТП предусматривается RS-485. [1]

3.12.2 Определение длительных нагрузок

Потребление микропроцессорными терминалами в ОПУ:

40 Вт – 17 терминалов РЗА;

200 Вт – 1 шкаф (шкаф регистрации аварийных событий);

250 Вт – 2 шкафа (шкаф ПА);

150 Вт – 4 УПАСК;

200 Вт – 1 шкаф резервной сигнализации;

1800 Вт – оборудование АСУТП: шкаф серверный – 650 Вт, шкаф контроллеров 220 кВ – 200 Вт, шкаф ЛВС 220 кВ – 200 Вт, шкаф ЛВС 10 – 200 Вт, шкаф ГЭП – 150 Вт, измерительные преобразователи 10 кВ (21 шт.) – 400 Вт.

Суммарная мощность потребления на постоянном токе в ОПУ:

$$P_{P\Sigma} = 4030 \text{ Вт.}$$

Потребление микропроцессорными терминалами в ЗРУ 10 кВ:

20 Вт – 23 терминалов;

60 Вт – 2 комплекта (комплект дуговой защиты);

Суммарная мощность потребления на постоянном токе в ЗРУ 10 кВ:

$$P_{P\Sigma} = 580 \text{ В.}$$

Максимальная нагрузка составит 4560 Вт (20,72А).

3.12.3 Определение толчковых нагрузок

На объекте предполагается установка выключателей со следующими ориентировочными параметрами:

На стороне 220 кВ:

$$I_{\Sigma В} = I_{\Sigma 01} = I_{\Sigma 02} = 1,5 \text{ А};$$

На стороне 10 кВ:

$$I_{\Sigma В} = I_{\Sigma 01} = 1,2 \text{ А.}$$

Рассмотрим возможные аварийные режимы на подстанции (при потере питания СН):

1. Срабатывание дифференциальной защиты трансформатора при работе через ремонтную перемычку. При этом происходит отключение двух выключателей 220 кВ (причем действие происходит на оба электромагнита отключения) и одного выключателя 10 кВ с последующей работой АВР 10 кВ;

2. Срабатывание защит ВЛ 220 кВ: одновременно отключаются два выключателя 220 кВ (действие на два электромагнита отключения) с последующей работой УРОВ СВ 220 кВ на отключение второй ВЛ 220 кВ;

3. Срабатывание устройства АЧР: может одновременно отключиться до 8-ми выключателей 10 кВ;

4. Срабатывание устройства ЧАПВ: может одновременно включиться до 8-ми выключателей 10 кВ.

С учётом выбранного оборудования значения толчковой нагрузки для различных режимов будут выглядеть следующим образом (см. таблицу 3.14):

Таблица 3.14. – Возможные режимы срабатывания защит в аварийном режиме.

№	Описание режимов	Толчковая нагрузка, А
1	Срабатывание дифференциальной защиты трансформатора при работе через ремонтную перемычку	$I_{\Sigma} = 2 \cdot (1,5 + 1,5) + 1,2 = 7,2$
	Работа АВР 10 кВ	$I_{\Sigma} = 1,2$
2	Срабатывание защит ВЛ 220 кВ	$I_{\Sigma} = 2 \cdot (1,5 + 1,5) = 6$
	Работа УРОВ СВ 220 кВ	$I_{\Sigma} = 1,5 + 1,5 = 3$
3	Срабатывание устройства АЧР	$I_{\Sigma} = 8 \cdot 1,2 = 9,6$
4	Срабатывание устройства ЧАПВ	$I_{\Sigma} = 8 \cdot 1,2 = 9,6$

Для уменьшения максимальной величины толковой нагрузки необходимо, чтобы автоматикой был предусмотрен разброс по времени процесс включения и отключения выключателей.

В соответствии с расчётами аварийная нагрузка составляет 20,72А, максимальная толчковая в конце аварийного режима - $I_{НГ\Sigma} = 20,72 + 9,6 = 30,32$ А.

После определения нагрузок можно переходить к выбору источников постоянного оперативного тока =220В.

3.12.4 Выбор емкости аккумуляторной батареи

Комплектно со шкафами оперативного тока поставляются аккумуляторные батареи. В данной ВКР к использованию рекомендуются стационарные герметизированные свинцово-кислотные аккумуляторные батареи с рекомбинацией газа, которые имеют лучшие эксплуатационные характеристики. Для рассматриваемого шкафа оперативного тока рекомендуются к использованию элементы АБ, имеющие срок службы более 14 лет. Аккумуляторы не требуют дополнительной доливки дистиллированной воды в электролит и предназначаются для работы в исходном состоянии на протяжении всего срока службы. [1]

При создании батарей использована доказавшая свою эффективность газо-рекомбинационная технология, управляющая процессами изменений в

соотношении водорода и кислорода во время заряда, что исключает необходимость в постоянном добавлении воды.

Каждый из отсеков оснащён собственным предохранительным клапаном, что делает возможным управляемый выпуск газа при образовании избыточного давления внутри отсека. Применение газо-рекомбинационной технологии для свинцово-кислотных батарей полностью изменил концепцию резервных источников питания. Эта технология обеспечивает пользователю удобство эксплуатации свинцово-кислотных батарей в самых различных областях.

Расчетным для выбора АБ является аварийный режим, когда батарея принимает на себя всю аварийную нагрузку. Продолжительность работы АБ в таком режиме – время аварийного разряда - для всех потребителей постоянного тока ПС, кроме средств связи и телемеханики составляет 2 часа. [1]

Характерной величиной для аккумулятора является его емкость, или количество электричества, которое аккумулятор способен отдать при определенных условиях разряда, а именно токе, температуре электролита и предельном напряжении.

Емкость аккумулятора зависит от типа пластин, их размеров и числа, а также от плотности и объема электролита, технического состояния аккумулятора и условий его работы, предшествующих разряду.

Зависимость емкости аккумулятора от температуры объясняется изменением вязкости электролита и скорости диффузии. С повышением температуры уменьшается вязкость, увеличивается скорость диффузии. При понижении, наоборот, скорость диффузии уменьшается, поляризация увеличивается и напряжение аккумулятора снижается быстрее. Для удовлетворительной работы АБ существенно важно, чтобы температура в помещении была в пределах от +10 до +25. [1]

Емкость аккумулятора – это не строго определенная величина, она изменяется в течение срока службы и при правильной эксплуатации удерживается близкой к максимальной в течение большей части срока службы.

Еще одной характерной величиной для АБ является ее внутреннее сопротивление, которое представляет собой сумму сопротивлений выводных

зажимов, межэлементных соединений, электродов, электролита, сепараторов и сопротивления, возникающего в местах соприкосновения электродов с электролитом.

Чем больше емкость АБ, тем меньше ее внутреннее сопротивление. С понижением температуры и по мере разряда АБ ее внутреннее сопротивление растет. При выборе емкости АБ решающим условием является не количество электричества, которое аккумулятор способен отдать в течение расчетного времени, а напряжение на зажимах аккумулятора, определяющее работоспособность приемников энергии.

При выборе емкости АБ решающим условием является не количество электричества, которое аккумулятор способен отдать в течение расчетного времени, а напряжение на зажимах аккумулятора, определяющее работоспособность приемников энергии.

Заводы – изготовители выключателей 6(10) и 35 кВ в соответствии с ГОСТ изготавливают электромагнитные приводы с отклонением напряжения, для электромагнитов включения, в пределах от 85% до 110% $U_{ном}$. Таким образом, минимальное напряжение на приводе выключателя для его нормальной работы должно быть не менее 187В.

Эквивалентная емкость рассчитывается по формуле (3.32):

$$C_{эkv} = (I_{max} \cdot t_{толч} + I_{уст} \cdot t_{уст}) \cdot K_{ёмк} / T_k, \quad (3.32)$$

где:

I_{max} – максимальная толчковая нагрузка, А;

$t_{толч}$ – время толковой нагрузки, час;

$I_{уст}$ – установившаяся нагрузка аварийного режима, А;

$t_{уст}$ – длительность аварийного режима, час; (2 часа)

$K_{ёмк}$ – коэффициент емкости батареи в конце срока службы (коэффициент старения) равный 1,25 (80% емкости);

T_K – температурный коэффициент емкости =0,9.

Исходя из формулы (3.32):

$$C_{\text{экв1}} = ((7,2 + 20,72) \cdot \frac{1}{3600} + (1,2 + 20,72) \cdot \frac{1}{3600} + 20,72 \cdot 2) \cdot \frac{1,25}{0,9} = 57,875 \text{ Ач};$$

Расчетное эквивалентное время аварийного режима:

$$T_{\text{расч}} = \frac{C_{\text{экв}}}{I_{\text{мах}}}, \quad (3.33)$$

По формуле (3.33):

$$T_{\text{расч1}} = \frac{57,575}{27,92} \cdot 60 \approx 123,73 \text{ мин.}$$

$$C_{\text{экв2}} = ((6 + 20,72) \cdot \frac{1}{3600} + (3 + 20,72) \cdot \frac{1}{3600} + 20,72 \cdot 2) \cdot \frac{1,25}{0,9} = 57,575 \text{ Ач};$$

Расчетное эквивалентное время аварийного режима по формуле (3.32):

$$C_{\text{экв3}} = (30,32 \cdot \frac{1}{3600} + 20,72 \cdot 2) \cdot \frac{1,25}{0,9} = 57,567 \text{ Ач};$$

Расчетное эквивалентное время аварийного режима по формуле (3.33):

$$T_{\text{расч3}} = \frac{57,567}{30,32} \cdot 60 \approx 113,923 \text{ мин.}$$

Согласно разрядным таблицам для всех трех режимов:

- ток 27,92 А за время разряда 123,73 минут;
- ток 26,72 А за время разряда 129,28 минут;
- ток 30,32 А за время разряда 113,92 минут;

При напряжении на элемент $U_{\text{э}} = 1,85 \text{ В/эл}$ с учетом запаса обеспечит аккумулятор напряжением 12В и емкостью 92Ач.

Таблица 3.15. – Основные характеристики АБ

Тип элемента	Номинальное напряжение, В	Емкость С10 1,8 В/эл при 20°C	Емкость С8 1,75 В/эл при 25°C	Длина, мм	Ширина, мм	Высота, мм	Вес, кг	Ток КЗ, А	Внутреннее сопротивление, мОм
12В 92Ач	12	92	92	395	105	264	28,0	2500	5,05

Рекомендуемое производителем напряжение постоянного подзаряда одного элемента выбранной аккумуляторной батареи составляет 2,28 В/эл при 20°C.

Выбираем количество моноблоков в батарее для питания цепей нагрузки исходя из максимально допустимого напряжения. Учитываем, что один моноблок аккумуляторной батареи 12В 92Ач состоит из шести элементов.

Находим количество моноблоков в батарее:

$$U_{\text{НОМ}} = 230\text{В} \pm 5\%$$

Получим:

$$U_{\text{max}} = \frac{U_{\text{НОМ}} + 5\% \cdot U_{\text{НОМ}}}{100\%}, \quad (3.34)$$

$$U_{\text{max}} = \frac{230 + 5\% \cdot 230}{100\%} = 241,5 \approx 242 \text{ В.}$$

$$n = \frac{U_{\text{max}}}{n_{\text{Б}} \cdot U_{\text{ПЗ}}}, \quad (3.35)$$

где $n_{\text{Б}}$ – количество элементов в одном моноблоке батареи, шт.,

$U_{\text{ПЗ}}$ – напряжение подзаряда и заряда одного элемента АБ при 20°C, В/эл

Исходя из формулы (3.35)

$$n = \frac{242}{6 \cdot 2,28} = 16,88 \approx 17 \text{ эл.},$$

Принимаем количество моноблоков в батарее $n = 17$.

Суммарное внутреннее сопротивление АБ рассчитывается по формуле (3.36):

$$R_{AB} = n \cdot R_{внутр}, \quad (3.36)$$

где n – количество элементов батареи, шт.;

$R_{внутр}$ – внутреннее сопротивление одного элемента, мОм.

Исходя из формулы (3.36):

$$R_{AB} = 17 \cdot 5,05 \cdot 10^{-3} = 0,08585 \text{ Ом.}$$

3.12.5 Ускоренный заряд

Увеличение зарядного напряжения до 2,40 В на один элемент при силе тока в диапазоне $0,1C_{10}$: $0,125C_3$ (А), может сократить продолжительность заряда. Быстрый заряд заканчивается по истечении 10 - 15 часов. Во избежание сокращения срока службы, данный режим заряда должен использоваться не более одного раза в месяц.

3.12.6 Расчет зарядного устройства

Номинальный ток зарядного устройства рассчитывается как сумма тока 10-и часового разряда батареи ($0,1 \cdot C_{10}$) и тока нагрузки в нормальном режиме:

$$I_{зар.АБ} = 0,1 \cdot C_{10}, \quad (3.37)$$

По формуле (3.37) получим:

$$I_{зар.АБ} = 0,1 \cdot 92 = 9,2 \text{ А};$$

$$I_{зв\gamma} = 0,1 \cdot C_{10} + I_{нагр.норм.реж.} \quad (3.38)$$

По формуле (3.38) получим:

$$I_{зв\gamma} = 0,1 \cdot 92 + 20,72 = 29,92 \text{ А}.$$

Выбираем зарядное устройство с ближайшим большим номинальным значением тока (30А).

Зарядное устройство НРТ рассчитано на номинальный ток - 40 А. ВУ имеет мощность и напряжение, достаточные для заряда данной аккумуляторной батареи и питания потребителей постоянного тока в нормальном режиме, с учетом запаса.

3.13 Выбор измерительных трансформаторов напряжения 220 кВ и расчет вторичных цепей.

К установке на ПС 220 кВ Строительная принимаем ёмкостные трансформаторы напряжения НДКМ-220 УХЛ1. Общие данные по трансформаторам напряжения приведены в таблице 3.16.

Таблица 3.16 – Общие данные трансформатора напряжения

1	2
Номинальное напряжение	220 кВ
Трансформатор напряжения	Трёхфазный
Напряжение обмоток, кВ:	
Первичной	$220 / \sqrt{3}$
Основной вторичной	$0,1 / \sqrt{3}$
Основной вторичной	$0,1 / \sqrt{3}$
Дополнительной вторичной	0,1

1	2
Параметры вторичных обмоток	
Основных обмоток	
Класс точности	0,2
Класс точности	0,2
Дополнительной обмотки	
Класс точности	3Р

Расчет для схемы звезда

Нам необходимо выбрать сечение кабеля и определить падение напряжения на участке от ОРУ 220 кВ до панели РЗА.

К основной обмотке трансформатора напряжения подключены следующие элементы:

Таблица 3.17 – Элементы и характеристика

Элементы	Кол-во	Мощность	Суммарная мощность
1	2	3	4
Фаза А			
Терминал защит тр-ра 220 кВ	1	0,5 ВА	0,5 ВА
Терминал основных защит ВЛ 220 кВ	1	0,5 ВА	0,5 ВА
Терминал резервных защит ВЛ 220 кВ	1	0,5 ВА	0,5 ВА
Терминал защит секционного выключателя 220 кВ	1	0,5 ВА	0,5 ВА
Регистратор аварийных событий (РАС)	1	0,1 ВА	0,1 ВА
Фаза В			
Терминал защит тр-ра 220 кВ	1	0,5 ВА	0,5 ВА
Терминал основных защит ВЛ 220 кВ	1	0,5 ВА	0,5 ВА
Терминал резервных защит ВЛ 220 кВ	1	0,5 ВА	0,5 ВА
Терминал защит секционного выключателя 220 кВ	1	0,5 ВА	0,5 ВА
Регистратор аварийных событий (РАС)	1	0,1 ВА	0,1 ВА
Фаза С			
Терминал защит тр-ра 220 кВ	1	0,5 ВА	0,5 ВА
Терминал основных защит ВЛ 220 кВ	1	0,5 ВА	0,5 ВА
Терминал резервных защит ВЛ 220 кВ	1	0,5 ВА	0,5 ВА

1	2	3	4
Терминал защит секционного выключателя 220 кВ	1	0,5 ВА	0,5 ВА
Регистратор аварийных событий (РАС)	1	0,1 ВА	0,1 ВА

К основной обмотке трансформатора напряжения подключены элементы, суммарная нагрузка которых не превышает 4,0 ВА. Определяем ток нагрузки:

$$I_{нагр.ТН} = \frac{\sqrt{3} \cdot S_{сумм.нагр}}{U_{ТН}}; \quad (3.39)$$

$$I_{нагр.ТН} = \frac{\sqrt{3} \cdot 4,0}{100} = 0,069 А,$$

$U_{ТН}$ – номинальное линейное напряжение вторичной обмотки трансформатора напряжения;

$I_{нагр.ТН}$ - максимальный ток нагрузки;

$S_{сумм.нагр}$ - максимальная нагрузка на участке от ОРУ 220 кВ до панели РЗА.

Дальнейший расчет ведется для удвоенной нагрузки, на случай вывода в ремонт одного из трансформаторов напряжения.

Сопротивление жил кабеля от ОРУ 220 кВ до панели РЗА.

$$r_{каб.доп} = \frac{\Delta U_{доп}}{\sqrt{3} \cdot 2 \cdot I_{нагр.ТН}}; \quad (3.40)$$

$$r_{каб.доп} = \frac{1}{\sqrt{3} \cdot 2 \cdot 0,069} = 6,276 Ом.$$

$$S_{каб.рас} = P_{Си} \cdot \frac{l_{каб}}{r_{каб.доп}}; \quad (3.41)$$

$$S_{\text{каб.рас}} = 0,0172 \cdot \frac{123}{6,276} = 0,337 \text{ мм}^2,$$

где $\Delta U_{\text{доп}}$ – допустимое падение напряжения (для цепей измерения равно 1,5В);

ρ_{Cu} – удельное сопротивление меди при 20 С;

$l_{\text{каб}}$ – длина кабеля от ОРУ 220 кВ до панели РЗА;

$S_{\text{каб.расч}}$ – расчетное сечение кабеля (одной жилы), мм²;

$r_{\text{макс.доп}}$ – максимально допустимое сопротивление кабеля, Ом.

От ОРУ 220 кВ до панели РЗА, исходя из условий механической прочности принимаем кабель КВВГЭнг-LS 2,5 мм².

Теперь определяем падение напряжения на этом участке:

$$r_{\text{действ}} = \rho_{\text{Cu}} \cdot \frac{l_{\text{каб}}}{S_{\text{каб.прин}}}; \quad (3.42)$$

$$r_{\text{действ}} = 0,0172 \cdot \frac{123}{2,5} = 0,846 \text{ Ом},$$

где $S_{\text{каб.прин}}$ – принятое сечение кабеля (одной жилы), мм²

$r_{\text{действ}}$ – действительное сопротивление кабеля.

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I_{\text{нагр.ТН}} \cdot r_{\text{действ}}; \quad (3.43)$$

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot 0,069 \cdot 0,846 = 0,1 \text{ В},$$

где ΔU – падение напряжения на участке от ОРУ 220 кВ до панели РЗА.

Следовательно, выбранные сечения удовлетворяют требованию по допустимому падению напряжения для цепей релейной защиты равному 1,5 В.

Расчет для схемы треугольник:

Нам необходимо выбрать сечение кабеля и определить падение напряжения на участке от ОРУ 220 кВ до панели РЗА. Расчет ведется для удвоенной нагрузки, на случай вывода в ремонт одного из трансформаторов напряжения.

К дополнительной обмотке трансформатора напряжения подключены следующие элементы:

Таблица 3.18 – Элементы и характеристика

Элементы	Кол-во	Мощность	Суммарная мощность
Фаза А			
Терминал основных защит ВЛ 220 кВ	1	0,5 ВА	0,5 ВА
Терминал резервных защит ВЛ 220 кВ	1	0,5 ВА	0,5 ВА
Терминал защит секционного выключателя 220 кВ	1	0,5 ВА	0,5 ВА
Регистратор аварийных событий (РАС)	1	0,1 ВА	0,1 ВА
Фаза В			
Терминал основных защит ВЛ 220 кВ	1	0,5 ВА	0,5 ВА
Терминал резервных защит ВЛ 220 кВ	1	0,5 ВА	0,5 ВА
Терминал защит секционного выключателя 220 кВ	1	0,5 ВА	0,5 ВА
РАС	1	0,1 ВА	0,1 ВА
Фаза С			
Терминал основных защит ВЛ 220 кВ	1	0,5 ВА	0,5 ВА
Терминал резервных защит ВЛ 220 кВ	1	0,5 ВА	0,5 ВА
Терминал защит секционного выключателя 220 кВ	1	0,5 ВА	0,5 ВА
Регистратор аварийных событий (РАС)	1	0,1 ВА	0,1 ВА

К дополнительной обмотке трансформатора напряжения подключены элементы, суммарная нагрузка которых не превышает 2 ВА.

Определяем ток нагрузки:

$$I_{нагр.ТН} = \frac{S_{сумм.нагр}}{U_{ТН}}; \quad (3.44)$$

$$I_{нагр.ТН} = \frac{2}{100} = 0,02 A,$$

$U_{ТН}$ – номинальное линейное напряжение вторичной обмотки трансформатора напряжения;

$I_{нагр.ТН}$ – максимальный ток нагрузки;

$S_{сумм.нагр}$ – максимальная нагрузка.

Сопротивление жил кабеля от ОРУ 220 кВ до панели РЗА.

$$r_{каб.доп} = \frac{\Delta U_{доп}}{I_{нагр.ТН}}; \quad (3.45)$$

$$r_{каб.доп} = \frac{3}{0,02} = 100 \text{ Ом},$$

$$S_{каб.рас} = p_{Cu} \cdot \frac{l_{каб}}{r_{каб.доп}}; \quad (3.46)$$

$$S_{каб.рас} = 0,0172 \cdot \frac{123}{100} = 0,02 \text{ мм}^2,$$

где $\Delta U_{доп}$ – допустимое падение напряжения (для цепей измерения 3В);

$$p_{Cu} = 0,0172 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}} \text{ – удельное сопротивление меди при } 20 \text{ }^\circ\text{C};$$

$l_{каб}$ – длина кабеля от ОРУ 220 кВ до панели РЗА;

$S_{каб.расч}$ – расчетное сечение кабеля (одной жилы), мм^2 ;

$r_{макс.доп}$ – максимально допустимое сопротивление кабеля, Ом.

От ОРУ 220 кВ до панели РЗА, исходя из условий механической прочности

принимая кабель КВВГЭнг-LS 2,5 мм².

Теперь определяем падение напряжения на этом участке:

$$r_{действ} = \rho_{Cu} \cdot \frac{l_{каб}}{S_{каб.прин.}} ; \quad (3.47)$$

$$r_{действ} = 0,0172 \cdot \frac{123}{2,5} = 0,846 \text{ Ом},$$

где $S_{каб.прин}$ - принятое сечение кабеля (одной жилы), мм² $r_{действ}$ - действительное сопротивление кабеля.

$$\Delta U = I_{нагр.ТН} \cdot r_{действ} ; \quad (3.48)$$

$$\Delta U = 0,02 \cdot 0,846 = 0,0169 \text{ В},$$

где ΔU – падение напряжения на участке от ОРУ 220 кВ до панели РЗА. Следовательно, выбранные сечения удовлетворяют требованиям по допустимому падению напряжения для релейной защиты равному 3 В.

4 РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА

4.1 Анализ релейной защиты в прилегающей сети

В рамках данной ВКР рассмотрены устройства РЗА ВЛ 220 кВ Свободненская ТЭС – Строительная.

ВЛ 220 кВ Свободненская ТЭС – Новокиевка была реконструирована из ВЛ 220 кВ Амурская – Новокиевка в связи с ее перезаводкой на Свободненскую ТЭС и образованием двух ВЛ 220 кВ Свободненская ТЭС – Новокиевка и Свободненская ТЭС – Амурская №2 по программе «Строительство заходов ВЛ 220 кВ на Свободненскую ТЭС для технологического присоединения энергопринимающих устройств»

В результате реконструкции была предусмотрена установка основной быстродействующей защиты с абсолютной селективностью по принципу ДФЗ ВЛ 220 кВ Свободненская ТЭС – Новокиевка.

Полукомплект ДФЗ со стороны Свободненской ТЭС был установлен во время строительства Свободненской ТЭС. Таким образом, ВЛ 220 кВ Свободненская ТЭС – Новокиевка после строительства заходов ВЛ 220 кВ на Свободненскую ТЭС с двух сторон оснащена современными полукомплектами основных защит, выполненных на базе терминалов ЭКРА.

В данной ВКР в связи с разделением ВЛ 220 кВ Свободненская ТЭС – Новокиевка на ВЛ 220 кВ Новокиевка – Строительная и ВЛ 220 кВ Свободненская ТЭС – Строительная предусматривается установка двух комплектов защит для каждой ВЛ (основные и резервные). Основные защиты предусматриваются по принципу ДФЗ (дифференциально-фазной защиты). Для защит, также выполняется организация ВЧ-каналов.

4.2 Общие технические решения по релейной защите и автоматике

В связи с тем, что ВЛ 220 кВ Свободненская ТЭС – Новокиевка оснащается на ПС 220 кВ Новокиевка, Свободненская ТЭС и на ПС 220 кВ Строительная

современными устройствами РЗА, установка дополнительных устройств РЗА не требуется.

При подключении ПС 220 кВ Строительная в разрез ВЛ 220 кВ Свободненская ТЭС – Новокиевка с образованием ВЛ 220 кВ Новокиевка – Строительная и ВЛ 220 кВ Свободненская ТЭС – Строительная комплекты ДФЗ будут выполнять функции полукомплектов основных быстродействующих защит, вновь образованных ВЛ 220 кВ.

4.3 Решения по организации РЗА ПС 220 кВ Строительная

При разработке настоящего раздела ВКР приняты следующие исходные данные:

Выполняется строительство новой подстанции;

Для соблюдения существующих нормативных документов на вновь сооружаемых объектах выполняется обеспечение необходимого количества трансформаторов тока, вторичных обмоток и их классов точности для раздельного подключения устройств РЗА и систем измерений (контроллеров АСУ ТП, автоматизированной информационно-измерительной системы коммерческого учёта электроэнергии, мониторинга оборудования и других); [1]

Выполняется раздельное питание по токовым (от отдельных трансформаторов тока) и оперативным (от отдельных автоматических выключателей) цепям МП терминалов основных и резервных комплектов защит;

В качестве устройств релейной защиты и автоматики используются микропроцессорные терминалы;

Оперативный ток постоянный 220 В.

Для ВЛ 220 кВ Свободненская ТЭС – Строительная применяется следующий состав защит:

- дифференциально-фазная защита (ДФЗ);
- дистанционная защита линии;
- токовая направленная защита нулевой последовательности;
- максимальная токовая отсечка;
- блокировка от качаний;
- АПВ.

Для защит ВЛ 220 кВ Свободненская ТЭС – Строительная предусмотрено электрическое суммирование токовых цепей с применением испытательных блоков с увеличенным количеством входов для возможности закорачивания токовых цепей.

На каждой линии 220 кВ с двухсторонним питанием должны устанавливаться два комплекта независимых защит от всех видов повреждения: быстродействующая защита с абсолютной селективностью и комплект ступенчатых защит (резервная защита). [1]

Для защиты ВЛ 220 кВ Свободненская ТЭС – Строительная устанавливаются два комплекта независимых защит от всех видов повреждений: основные и резервные защиты.

Комплект основных защит ВЛ 220 кВ реализует следующие функции:

- дифференциально-фазную защиту;
- трехступенчатую дистанционную защиту;
- четырехступенчатую токовую направленную защиту нулевой последовательности;
- максимальную токовую отсечку;
- блокировку при качаниях;
- блокировка при неисправностях в цепях напряжения.

Комплект резервных защит ВЛ 220 кВ реализует следующие функции:

- трехступенчатую дистанционную защиту;
- четырехступенчатую токовую направленную защиту нулевой последовательности;
- максимальную токовую отсечку;
- блокировку при качаниях;
- блокировка при неисправностях в цепях напряжения.

Для реализации дифференциально-фазной защиты предусматривается организация каналов связи по ВЧ.

Шкафы основных, резервных защит ВЛ 220 кВ устанавливаются в ОПУ.

На линиях применяется однократное трехфазное АПВ с контролем синхронизма, т.к. линии являются одиночными с двусторонним питанием. Также, допустимо АПВ в случае отсутствия напряжения на шинах или на линии.

Принимаем к установке в качестве основных и резервных защит ВЛ 220 Свободненская ТЭС – Строительная и оборудования ПС 220 кВ строительная терминалы производства фирмы ЭКРА.

ВЛ 220 Свободненская ТЭС – Строительная:

- Комплект РЗ ВЛ 220 кВ Свободненская ТЭС – Строительная (БЭ2704-085);
- КСЗ ВЛ 220 Свободненская ТЭС – Строительная (БЭ2704-022).

СВ 220, В 220 Т-1, В 220 Т-2:

- Комплект РЗА СВ 220 (БЭ2704-011);
- Комплект РЗА В 220 Т-1 (БЭ2704-019);
- Комплект РЗА В 220 Т-2 (БЭ2704-019).

4.4 Расчет уставок устройств релейной защиты

Настоящий раздел содержит расчёты ориентировочных параметров срабатывания устройств РЗА ВЛ 220 кВ Свободненская ТЭС – Строительная.

4.4.1 Расчет уставок ДФЗ ВЛ 220 кВ Свободненская ТЭС - Строительная.

1. Рассчитываем уставку токовых органов с пуском по току прямой последовательности, действующих на блокировку, $I_{л.бл}$ (А). Уставка одинаковая для обоих полукомплектов. [11]

Отстройка от максимального рабочего тока линии

$$I_{л.бл.} \geq \sqrt{3} \cdot K_{отс} \cdot I_{раб.мах.}, \quad (4.1)$$

$$I_{л.бл.} \geq \sqrt{3} \cdot 1,3 \cdot 786,9 = 1771,8 \text{ А}$$

где $K_{отс} = 1,3$ – коэффициент отстройки;

$I_{раб.мах.} = 786,9 \text{ А}$ – максимальный рабочий ток.

$I_{л.бл.вт} = 2,21 \text{ А}$ (во вторичных величинах для ПС 220 кВ Строительная),

$I_{л.бл.вт} = 14,76 \text{ А}$ (во вторичных величинах для Свободненской ТЭС).

2. Рассчитываем уставку токовых органов с пуском по току прямой последовательности, действующих на отключение, $I_{л.от}$ (А). Уставка одинаковая для обоих полукомплектов [11].

Отстройка от уставки блокирующего органа полукомплекта, установленного на противоположном конце [11].

$$I_{л.от} \geq K_{отс} \cdot K_{отв} \cdot I_{л.бл.} \text{ А,} \quad (4.2)$$

$$I_{л.от} \geq 1,3 \cdot 1 \cdot 1771,8 = 2303,3$$

где $K_{отв} = 1$ – коэффициент ответвления.

$I_{л.от.вт} = 2,87 \text{ А}$ (во вторичных величинах для ПС 220 кВ Строительная),

$I_{л.от.вт} = 19,19 \text{ А}$ (во вторичных величинах для Свободненской ТЭС).

Чувствительность не проверяется при использовании $Z_{0.откл}$.

3. Рассчитываем уставку токовых органов с пуском по току обратной последовательности, действующих на блокировку, $I_{2.бл}$ (А). Уставка одинаковая для обоих полукомплектов [11].

Отстройка от небаланса, определяемого погрешностями ТТ, частотными небалансами фильтров обратной последовательности и погрешностями их настройки, а также небалансами нагрузочного режима сети [11].

$$I_{2.бл} \geq \frac{K_{отс}}{K_{возв}} \cdot I_{2.нб.расч}, \quad (4.3)$$

$$I_{2.бл} \geq \frac{1,3}{0,9} \cdot 24,5 = 35,4 \text{ А,}$$

$$I_{2.нб.расч} = \frac{I_{л.бл.} \cdot K_{нб}}{\sqrt{3}} \quad (4.4)$$

$$I_{2.нб.расч} = \frac{1771,8 \cdot 0,024}{\sqrt{3}} = 24,5 \text{ A},$$

где $K_{возв} = 0,9$ – коэффициент возврата,

$K_{нб} = 0,024$ – коэффициент небаланса.

$I_{2.бл.вт} = 0,05$ А (во вторичных величинах для ПС 220 кВ Строительная),

$I_{2.бл.вт} = 0,29$ А (во вторичных величинах для Свободненской ТЭС).

4. Рассчитываем уставку токовых органов с пуском по току обратной последовательности, действующих на отключение, $I_{2.от}$ (А). Уставка одинаковая для обоих полукомплектов [11].

Отстройка от уставки блокирующего органа полукомплекта, установленного на противоположном конце [11].

$$I_{2.от.} \geq K_{отс} \cdot K_{отв} \cdot I_{2.бл.}, \quad (4.5)$$

$$I_{2.от.} \geq 2 \cdot 1 \cdot 35,4 = 70,8 \text{ A}$$

$I_{2.от.вт} = 0,1$ А (во вторичных величинах для ПС 220 кВ Строительная),

$I_{2.от.вт} = 0,59$ А (во вторичных величинах для Свободненской ТЭС).

Чувствительность проверяем при $I_{кз.мин}^{(2)}$ на противоположном конце линии
Со стороны Свободненской ТЭС

$$K_{ч} = \frac{I_{кз.мин}^{(2)}}{I_{2.от.}} > 2, \quad (4.6)$$

$$K_u = \frac{1616}{70,8} = 22,8 > 2,$$

где, $I_{кз.мин}^{(2)}$ – двухфазный ток КЗ в минимальном режиме на шинах ПС 220 кВ Строительная

Со стороны ПС 220 кВ Строительная

$$K_u = \frac{I_{кз.мин}^{(2)}}{I_{2.от.}} > 2, \quad (4.7)$$

$$K_u = \frac{555}{70,8} = 7,8 > 2,$$

$I_{кз.мин}^{(2)}$ – двухфазный ток КЗ в минимальном режиме на шинах Свободненской ТЭС.

5. Рассчитаем уставку токового органа с пуском по приращению тока обратной последовательности, действующих на блокировку, $DI_{2.бл.}$. Уставка одинаковая для обоих полукомплектов [11].

Отстройка от уставки блокирующего токового органа с пуском по току обратной последовательности [11].

$$DI_{2.бл.} \geq K_{отс} \cdot I_{2.бл.}, \quad (4.8)$$

$$DI_{2.бл.} \geq 0,7 \cdot 35,4 = 24,8 \text{ А}$$

$DI_{2.бл.вт} = 0,04 \text{ А}$ (во вторичных величинах для ПС 220 кВ Строительная),

$$DI_{2.бл.вт} = 0,21 \text{ А (во вторичных величинах для Свободненской ТЭС).}$$

6. Рассчитаем уставку токового органа с пуском по приращению тока

обратной последовательности, действующих на отключение, $DI_{2.от.}$. Уставка одинаковая для обоих полукомплектов [11].

Отстройка от уставки блокирующего токового органа с пуском по приращению тока обратной последовательности [11].

$$DI_{2.от.} \geq K_{отс} \cdot DI_{2.бл.} \quad (4.9)$$

$$DI_{2.от.} \geq 2 \cdot 24,8 = 49,6 \text{ А}$$

$DI_{2.от.вт} = 0,06 \text{ А}$ (во вторичных величинах для ПС 220 кВ Строительная),

$$DI_{2.от.вт} = 0,41 \text{ А (во вторичных величинах для Свободненской ТЭС).}$$

7. Рассчитаем уставку токового органа с пуском по приращению тока прямой последовательности, действующих на блокировку, $DI_{1.бл.}$. Уставка одинаковая для обоих полукомплектов [11].

Отстройка от уставки блокирующего токового органа с пуском по приращению тока обратной последовательности [11].

$$DI_{1.бл.} \geq K_{отс} \cdot I_{2.бл.}, \quad (4.10)$$

$$DI_{1.бл.} \geq 4 \cdot 24,8 = 99,2 \text{ А}$$

$$DI_{1.бл.вт} = 0,12 \text{ А (во вторичных величинах для ПС 220 кВ Строительная),}$$

$$DI_{1.бл.вт} = 0,83 \text{ А (во вторичных величинах для Свободненской ТЭС).}$$

8. Рассчитаем уставку токового органа с пуском по приращению тока прямой последовательности, действующих на блокировку, $DI_{2.от.}$. Уставка одинаковая для обоих полукомплектов [11].

Отстройка от уставки отключающего токового органа с пуском по

приращению тока обратной последовательности [11].

$$DI_{1.om.} \geq K_{omc} \cdot DI_{2.om.}, \quad (4.11)$$

$$DI_{1.om.} \geq 4 \cdot 49,6 = 198,4 \text{ A}$$

$DI_{1.om.вм} = 0,25 \text{ A}$ (во вторичных величинах для ПС 220 кВ Строительная),

$$DI_{1.om.вм} = 1,65 \text{ A (во вторичных величинах для Свободненской ТЭС).}$$

9. Рассчитаем коэффициент комбинированного фильтра токов, K . Уставка одинаковая для обоих полуккомплектов [11].

Преимущественное сравнение токов обратной последовательности при несимметричных КЗ [11].

Со стороны Свободненской ТЭС

$$K = 1,5 \cdot \max \left(\frac{I_{2.}^{(1,1)}}{I_{2.}^{(1,1)}} \right);$$

$$K = 1,5 \cdot \left(\frac{2783}{1354} \right) = 3,08$$

$$K = 1,5 \left(\frac{I_{2.}^{(1,1)}}{I_{2.}^{(1,1)}} \right);$$

$$K = 1,5 \cdot \left(\frac{1308}{1574} \right) = 1,24$$

Со стороны ПС 220 кВ Строительная

$$K = 1,5 \cdot \max \left(\frac{I_2^{(1,1)}}{I_2^{(1,1)}} \right);$$

$$K = 1,5 \cdot \left(\frac{556}{175} \right) = 5,6$$

$$K = 1,5 \left(\frac{I_2^{(1,1)}}{I_2^{(1,1)}} \right);$$

$$K = 1,54 \cdot \left(\frac{459}{202} \right) = 3,48$$

Предварительно принимаем $K=6$. Определяем коэффициент чувствительности.

Со стороны Свободненской ТЭС

$$K_{\text{несим}} = \min \left[\left(\left| I_2^{(1,1)} - I_1^{(1,1)} / K \right| \right) \text{ или } \left(\left| I_2^{(1)} - I_{\text{max.раб}} / K \right| \right) \right] / I_{2.\text{бл.}} \quad (4.12)$$

$$K_{\text{несим}} = (|14463 - 786,9 / 6|) / 35,4 = 37,14 \geq 1,3$$

$$K_{\text{сим}} = 1,5 \cdot \min \left(I_1^{(3)} \right) / \left(K \cdot I_{2.\text{бл.}} \right) \quad (4.13)$$

$$K_{\text{сим}} = 3501 / (6 \cdot 35,4) = 16,5 \geq 1,3$$

Со стороны ПС 220 кВ Строительная

$$K_{\text{несим}} = (|218 - 786,9 / 6|) / 35,4 = 2,5 \geq 1,3$$

$$K_{\text{сим}} = 837 / (6 \cdot 35,4) = 3,9 \geq 1,3$$

10. Определяем уставку по углу блокировки $\Phi_{\text{бл}}$. Уставка одинаковая для обоих полукомплектов.

Определяется исходя из условия селективной работы при внешнем КЗ с максимальным углом между векторами напряжений на выходе органов манипуляции по концам линии [11].

Принимаем $\Phi_{\text{бл}} = 50^\circ$

11. Рассчитаем уставку реле сопротивления $z_{\text{откл}}$ по активной составляющей, $R_{\text{откл}}$ (Ом). Уставка одинаковая для обоих полукомплектов.

Отстройка от минимального сопротивления в месте установки полукомплекта в максимальном нагрузочном режиме [11].

$$R_{\text{откл}} = (R_{\text{раб.мин}} - X_{\text{раб.мин}} / \text{tg}(\Phi_{\text{мч}})) / K_{\text{н}}; \quad (4.14)$$

$$R_{\text{откл}} = (106,2 - 99,1 / \text{tg}(75)) / 1,6 = 49,7 \text{ Ом}.$$

$$R_{\text{раб.мин}} = 0,9 \cdot U_{\text{ном}} \cdot \cos(\Phi_{\text{н}}) / (\sqrt{3} \cdot I_{\text{раб.мах.}}); \quad (4.15)$$

$$R_{\text{раб.мин}} = 0,9 \cdot 220000 \cdot \cos(43) / (\sqrt{3} \cdot 786,9) = 106,2 \text{ Ом}.$$

$$X_{\text{раб.мин}} = 0,9 \cdot U_{\text{ном}} \cdot \sin(\Phi_{\text{н}}) / (\sqrt{3} \cdot I_{\text{раб.мах.}}); \quad (4.16)$$

$$X_{\text{раб.мин}} = 0,9 \cdot 220000 \cdot \sin(43) / (3 \cdot 786,9) = 99,1 \text{ Ом}.$$

$R_{\text{откл.вт}} = 18,07$ Ом (во вторичных величинах для ПС 220 кВ Строительная),

$$R_{\text{откл.вт}} = 2,71 \text{ Ом (во вторичных величинах для Свободненской ТЭС)}.$$

Проверка чувствительности при КЗ через $R_{\text{переходное}}$

Со стороны ПС 220 кВ Строительная

$$R_{\text{чувств}} = 14,94 \text{ Ом}, X_{\text{чувств}} = 0,47 \text{ Ом}.$$

$$R_{\text{чувств}} \leq 0,8(R_{\text{откл}} + X_{\text{чувств}} / \text{tg}(\Phi_{\text{мч}})) = 0,8(49,7 + 0,47 / \text{tg}(75)) = 39,8 \text{ Ом}$$

$$14,94 < 39,8. \text{ Условие выполняется}$$

12. Рассчитаем уставку реле сопротивления $z_{\text{откл}}$ по реактивной составляющей, $X_{\text{откл}}$ (Ом). Уставка одинаковая для обоих полукомплектов [11].

Надежный охват всей длины линии:

$$X_{\text{откл}} = 2 \times X_{1\text{уд}} \times L = 2 \times 0,43 \times 1,1 = 0,95 \text{ Ом} \quad (4.17)$$

$$X_{\text{откл.вт}} = 0,35 \text{ Ом (во вторичных величинах для ПС 220 кВ Строительная),}$$

$$X_{\text{откл.вт}} = 0,05 \text{ Ом (во вторичных величинах для Свободненской ТЭС).}$$

Проверка чувствительности при КЗ через $R_{\text{переходное}}$.

$$X_{\text{чувств}} \leq 0,8 X_{\text{откл}} = 0,8 \times 0,95 = 0,76 \text{ Ом}$$

$$0,47 < 0,76. \text{ Условие выполняется.}$$

4.4.2 Расчет уставок дистанционной защиты ВЛ 220 кВ

4.4.2.1 Расчет уставок для полукомплекта, установленного на Свободненской ТЭС

Расчет первой ступени дистанционной защиты [11].

1) Отстройка от коротких замыканий на шинах ПС 220 кВ Строительная, примыкающей к противоположному концу линии:

$$Z_{c.з.}^I \leq \frac{Z_L}{1+\beta+\delta} = 0,85 \cdot Z_L; \quad (4.18)$$

$$Z_{c.з.}^I \leq 0,85 \cdot 0,44 = 0,37 \text{ Ом},$$

Принимаем $Z_{c.з.}^I = 0,37 \text{ Ом}$, $t_{c.з.} = 0 \text{ с}$.

$$Z_{c.з.вт.}^I = 0,02 \text{ Ом (во вторичных величинах)}.$$

1 ступень выводится из работы, т.к. минимально возможная уставка, которую можно выставить на терминале у большинства производителей 1 Ом. Для осуществления отключения КЗ без выдержки времени применяется ускорение 2 ступени ДЗ от противоположного конца линии. [11]

Расчет второй ступени дистанционной защиты

1) Согласование с первой ступенью дистанционной защиты смежной линии ВЛ 220 кВ Новокиевка – Строительная [11]:

$$Z_{c.з.}^I \leq 0,85Z_1 + 0,78 \frac{Z_{c.з.смеж.}^I}{K_m} \quad (4.19)$$

$$Z_{c.з.}^I \leq 0,85 \cdot 0,44 + 0,78 \cdot \frac{26,1}{1} = 20,7 \text{ Ом},$$

где $Z_1 = 0,44 \text{ Ом}$ – сопротивление линии ВЛ 220 кВ Свободненская ТЭС – Строительная;

$Z_{c.з.}^I = 26,1 \text{ Ом}$ – уставка срабатывания первой ступени ДЗ смежной линии ВЛ 220 кВ Новокиевка – Строительная.

Коэффициент токораспределения определяется при КЗ в конце смежной ВЛ 220 кВ Новокиевка – Строительная и при отключенной ВЛ 220 кВ Новокиевка – Февральская с отпайкой на ПС Уландочка.

$$K_m = \frac{I_{защ.линии}}{I_{смеж.линии}}; \quad (4.20)$$

$$K_m = \frac{755}{755} = 1,0.$$

2) Отстройка от коротких замыканий на шинах низшего напряжения ПС 220 кВ Строительная:

$$Z_{с.з.}^{II} \leq 0,85 \cdot \left(Z_1 + \frac{Z_{mp.}}{K_{mm}} \right); \quad (4.21)$$

$$Z_{с.з.}^{II} \leq 0,85 \cdot \left(0,44 + \frac{152,1}{1,0} \right) = 129,9 \text{ Ом},$$

где $Z_{mp.} = 152,4$ Ом – сопротивление трансформатора на ПС 220 кВ Строительная;

$Z_1 = 0,44$ Ом – сопротивление линии ВЛ 220 кВ Свободненская ТЭС – Строительная.

Коэффициент токораспределения определяется при КЗ на низкой стороне трансформатора ПС 220 кВ Строительная при отключенной ВЛ 220 кВ Новокиевка – Февральская с отпайкой на ПС Уландочка.

$$K_m = \frac{I_{защ.линии}}{I_m}; \quad (4.22)$$

$$K_m = \frac{830}{830} = 1,0.$$

Выбираем наименьшее из полученных значений и принимаем $Z_{с.з.}^{II} = 20,7$ Ом.

$$Z_{с.з.вм}^{II} = 1,13 \text{ Ом (во вторичных величинах)},$$

$$t_{c.з.}^{II} = \Delta t + t_{c.з.см}^I; \quad (4.23)$$

$$t_{c.з.}^{II} = 0,5 + 0 = 0,5 \text{ с},$$

где $t_{c.з.см}^{II}$ – время срабатывания защиты первой ступени смежной линии,
 Δt – ступень селективности.

Чувствительность второй ступени проверяется при металлическом КЗ в конце защищаемой линии [11]:

$$K_{\psi}^{II} = \frac{Z_{c.з.}^{II}}{Z_1} \geq 1,5; \quad (4.24)$$

$$K_{\psi}^{II} = \frac{20,7}{0,44} \geq 1,5.$$

Чувствительность обеспечивается.

Расчет третьей ступени дистанционной защиты:

Выполняем замер сопротивления при 3-фазном КЗ в конце смежной линии
 ВЛ 220 кВ Новокиевка – Строительная со стороны ПС 220 кВ Новокиевка:

$$r = 8,870 \text{ Ом}, \quad x = 31,209 \text{ Ом}, \quad Z = 32,4 \text{ Ом}.$$

Рассчитаем угол максимальной чувствительности φ :

$$\varphi_{мч} = \arctg(x/r) = \arctg(31,209/8,870) = 74^{\circ}$$

Уставка срабатывания третьей ступени защиты выбирается по условиям отстройки от максимального тока нагрузки линии:

$$Z_{c.з.}^{III} \leq \frac{U_{\text{мин.экспл}}}{\sqrt{3} K_H K_B I_{\text{НАГР}} \cos(\varphi_{мч} - \varphi_{\text{НАГР}})}; \quad (4.25)$$

$$Z_{с.з.}^{III} \leq \frac{198000}{\sqrt{3} \cdot 1,2 \cdot 1,1 \cdot 786,9 \cos(74-30)} = 153 \text{ Ом},$$

где $U_{\text{мин.экспл}} = 0,9U_{\text{ном}} = 198 \text{ кВ}$;

$K_n = 1,2$ – коэффициент надежности;

$K_B = 1,1$ – коэффициент возврата;

$I_{\text{НАГР}} = 786,9 \text{ А}$ – ток нагрузки максимальный;

$\varphi_{\text{МЧ}} = 74^\circ$ – угол максимальной чувствительности реле сопротивления;

$\varphi_{\text{НАГР}} = 30^\circ$ – угол сопротивления, обусловленного нагрузкой.

Уставку срабатывания третьей ступени принимаем $Z_{с.з.}^{III} = 38,8 \text{ Ом}$.

$Z_{с.з.}^{III} = 2,1 \text{ Ом}$ (во вторичных величинах),

$$t_{с.з.}^{III} = \Delta t + t_{с.з.с.м.}^{II}; \quad (4.26)$$

$$t_{с.з.}^{III} = 0,5 + 1 = 1,5 \text{ с},$$

где $t_{с.з.}^{II}$ – время срабатывания защиты второй ступени смежной линии, Δt – степень селективности.

4.4.2.2 Расчет уставок для полуккомплекта, установленного на ПС 220 кВ Строительная.

Расчет первой ступени дистанционной защиты.

1) Отстройка от коротких замыканий на шинах Свободненской ТЭС, примыкающей к противоположному концу линии:

$$Z_{с.з.}^I \leq \frac{Z_L}{1 + \beta + \delta} = 0,85 \cdot Z_L; \quad (4.27)$$

$$Z_{c.з.}^I \leq 0,85 \cdot 0,44 = 0,37 \text{ Ом},$$

Принимаем $Z_{c.з.}^I = 0,37 \text{ Ом}$, $t_{c.з.} = 0 \text{ с}$.

$$Z_{c.з.вт.}^I = 0,02 \text{ Ом (во вторичных величинах)}.$$

1 ступень выводится из работы, т.к. минимально возможная уставка, которую можно выставить на терминале у большинства производителей 1 Ом. Для осуществления отключения КЗ без выдержки времени применяется ускорение 2 ступени ДЗ от противоположного конца линии [11].

Расчет второй ступени дистанционной защиты

1) Согласование с первой ступенью дистанционной защиты смежной линии ВЛ 220 кВ Свободненская ТЭС – Амурская №2 при включенных АТ 220/110 кВ и отключенных СВ 220 кВ на Свободненской ТЭС:

$$Z_{c.з.}^{II} \leq 0,85Z_1 + 0,78 \frac{Z_{c.з.смеж.}^I}{K_m}; \quad (4.28)$$

$$Z_{c.з.}^{II} \leq 0,85 \cdot 0,44 + 0,78 \cdot \frac{33,7}{0,49} = 54,0 \text{ Ом},$$

где $Z_1 = 0,44 \text{ Ом}$ – сопротивление линии ВЛ 220 кВ Свободненская ТЭС – Строительная;

$Z_{c.з.}^I = 33,7 \text{ Ом}$ – уставка срабатывания первой ступени ДЗ смежной линии ВЛ 220 кВ Свободненская ТЭС – Амурская №2.

Коэффициент токораспределения определяется при КЗ в конце смежной ВЛ 220 кВ Свободненская ТЭС – Амурская №2я и при включенных АТ 220/110 кВ и отключенных СВ 220 кВ на Свободненской ТЭС.

$$K_m = \frac{I_{защ.линии}}{I_{смеж.линии}}; \quad (4.29)$$

$$K_m = \frac{487}{992} = 0,49.$$

Согласование с первой ступенью дистанционной защиты смежной линии ВЛ 220 кВ Свободненская ТЭС – Амурская №2 при одном отключенном автотрансформаторе 220/110 кВ и отключенных СВ 220 кВ на Свободненской ТЭС [11]:

$$Z_{с.з.}^{II} \leq 0,85 \cdot Z_1 + 0,78 \frac{Z_{с.з.с.меж.}^I}{K_m}; \quad (4.30)$$

$$Z_{с.з.}^{II} \leq 0,85 \cdot 0,44 + 0,78 \frac{33,7}{1,0} = 26,7 \text{ Ом},$$

$Z_1 = 0,44$ Ом – сопротивление линии ВЛ 220 кВ Свободненская ТЭС – Строительная.

где $Z_1 = 0,44$ Ом - сопротивление линии Свободненская ТЭС - Строительная;

$Z_{с.з.с.меж.}^I = 33,7$ Ом – уставка срабатывания первой ступени ДЗ смежной линии ВЛ 220 кВ Свободненская ТЭС – Амурская №2;

Коэффициент токораспределения определяется при КЗ в конце смежной ВЛ 220 кВ Свободненская ТЭС – Амурская при одном отключенном автотрансформаторе 220/110 кВ и отключенных СВ 220 кВ на Свободненской ТЭС:

$$K_m = \frac{I_{защ.линии}}{I_{смеж.линии}}; \quad (4.31)$$

$$K_m = \frac{544}{544} = 1,0.$$

Выбираем и принимаем $Z_{C.3.}^{II} = 26,7$ Ом.

$Z_{C.3.вм}^{II} = 9,7$ Ом (во вторичных величинах),

$$t_{C.3.}^{II} = \Delta t + t_{C.3.см}^I; \quad (4.32)$$

$$t_{C.3.}^{II} = 0,5 + 0 = 0,5 \text{ с},$$

где $t_{C.3.см}^I$ – время срабатывания защиты первой ступени смежной линии,
 Δt – ступень селективности.

Чувствительность второй ступени проверяется при металлическом КЗ в конце защищаемой линии [11]:

$$K_{\psi}^{II} = \frac{Z_{C.3.}^{II}}{Z_1} \geq 1,5; \quad (4.33)$$

$$K_{\psi}^{II} = \frac{26,7}{0,44} = 60 \geq 1,5.$$

Чувствительность обеспечивается.

Расчет третьей ступени дистанционной защиты.

Выполняем замер сопротивления и выбираем наибольшее сопротивление замера при 3-фазном КЗ в конце смежной ВЛ 220 кВ Свободненская ТЭС - Ледяная со стороны ПС Ледяная при отключенной ВЛ 220 кВ Амурская - Свободненская ТЭС 2 цепь [11]:

$$r = 30,150 \text{ Ом}, \quad x = 166,310 \text{ Ом}, \quad Z = 169,0 \text{ Ом}.$$

Рассчитаем угол максимальной чувствительности $\varphi_{M\psi}$

$$\varphi_{M\psi} = \arctg(x / r) = \arctg(166,310 / 30,150) = 80^\circ$$

Уставка срабатывания третьей ступени защиты выбирается по условиям

отстройки от максимального тока нагрузки линии [11]:

$$Z_{с.з.}^{III} \leq \frac{U_{мин.экспл}}{\sqrt{3}K_H K_B I_{НАГР} \cos(\varphi_{МЧ} - \varphi_{НАГР})}; \quad (4.34)$$

$$Z_{с.з.}^{III} \leq \frac{198000}{\sqrt{3} \cdot 1,2 \cdot 1,1 \cdot 786,9 \cos(80 - 30)} = 171 \text{ Ом},$$

где $U_{мин.экспл} = 0,9U_{НОМ} = 198 \text{ кВ}$;

$K_H = 1,2$ – коэффициент надежности;

$K_B = 1,1$ – коэффициент возврата; $I_{НАГР} = 786,9 \text{ А}$ – ток нагрузки

максимальный;

$\varphi_{МЧ} = 80^\circ$ – угол максимальной чувствительности реле сопротивления;

$\varphi_{НАГР} = 30^\circ$ – угол сопротивления, обусловленного нагрузкой.

Уставку срабатывания третьей ступени принимаем $Z_{с.з.}^{III} = 38,8 \text{ Ом}$.

$Z_{с.з.}^{III} = 73,8 \text{ Ом}$ (во вторичных величинах),

$$t_{с.з.}^{III} = \Delta t + t_{с.з.см}^{II}; \quad (4.35)$$

$$t_{с.з.}^{III} = 0,5 + 1,3 = 1,8 \text{ с},$$

где $t_{с.з.}^{II}$ – время срабатывания защиты второй ступени смежной линии, Δt – степень селективности.

4.4.3 Расчет уставок токовой защиты нулевой последовательности (ТЗНП) ВЛ 220 кВ

4.4.3.1 Расчет для комплекта защит, установленного на Свободненской ТЭС.

Расчет первой ступени ТЗНП.

Ток срабатывания первой ступени выбирается по условию отстройки от максимального тока $3I_0$, протекающего через защиту при КЗ на шинах приемной ПС 220 кВ Строительная при отключенном трансформаторе 220/10 на ПС 220 кВ Строительная [11]:

$$I_{0с.з.}^I = K_3 3I_{0max} ; \quad (4.36)$$

$$I_{0с.з.}^I = 1,3 \cdot 3126 = 4063 \text{ А},$$

где $K_3 = 1,3$ – коэффициент запаса по избирательности;

$$3I_{0max} = 3126 \text{ А}.$$

$$I_{0с.з.}^I = 33,8 \text{ А (во вторичных величинах)}.$$

$$t_{с.з.} = 0 \text{ с}.$$

Чувствительность первой ступени проверяется при металлическом однофазном КЗ в начале защищаемой линии в максимальном режиме:

$$K_{\check{u}}^I = \frac{3I_{0кmax}^I}{I_{0с.з.}^I} \leq 1,5, \quad (4.37)$$

$$K_{\check{u}}^I = \frac{3201}{4063} = 0,79 \leq 1,5$$

$$\text{где } 3I_{0кmax}^I = 3201 \text{ А}.$$

Чувствительность не обеспечивается.

Расчет второй ступени ТЗНП.

Ток срабатывания второй ступени выбирается по условию согласования с первой ступенью защиты смежной линии Новокиевка - Строительная при КЗ в

конце ВЛ 220 кВ Новокиевка – Строительная со стороны ПС 220 кВ Новокиевка при отключенном трансформаторе 220/10 на ПС 220 кВ Строительная [11]:

$$I_{0с.з.}^{II} = K_3 K_{ТОК} I_{0с.з.см}^{II} ; \quad (4.38)$$

$$I_{0с.з.}^{II} = 1,1 \cdot 0,76 \cdot 2153 = 1800 \text{ А},$$

где $K_3 = 1,1$ – коэффициент запаса по избирательности;

$$K_{ТОК} = \frac{I_{защ.линии}}{I_{защ.линии.}} ; \quad (4.39)$$

$$K_{ТОК} = \frac{1041}{1368} = 0,76,$$

$I_{0с.з.см}^{II} = 2153$ А – ток срабатывания первой ступени защиты смежной линии ВЛ 220 кВ Новокиевка – Строительная.

$$I_{0с.з.вт}^{II} = 15 \text{ А (во вторичных величинах).}$$

$$t_{с.з.}^{II} = \Delta t + t_{с.з.см}^{II} ; \quad (4.40)$$

$$t_{с.з.}^{II} = 0,5 + 0 = 0,5 \text{ с},$$

где $t_{с.з.см}^{II}$ – время срабатывания защиты второй ступени смежной линии,
 Δt – ступень селективности.

Чувствительность второй ступени проверяется при металлическом однофазном КЗ в конце защищаемой линии в минимальном режиме:

$$K_{\text{ч}}^{\text{II}} = \frac{3I_{0\text{кmax}}}{I_{0\text{с.з.}}^{\text{II}}} \leq 1,5; \quad (4.41)$$

$$K_{\text{ч}}^{\text{II}} = \frac{2547}{1800} = 1,41 \leq 1,5,$$

где $3I_{0\text{кmax}} = 2547$ А.

Чувствительность не обеспечивается.

Проверяем чувствительность второй ступени при металлическом однофазном КЗ в конце защищаемой линии в максимальном режиме [11]:

$$K_{\text{ч}}^{\text{II}} = \frac{3I_{0\text{кmax}}}{I_{0\text{с.з.}}^{\text{II}}} \geq 1,5,$$

(4.42)

$$K_{\text{ч}}^{\text{II}} = \frac{3126}{1800} = 1,74 \geq 1,5$$

где $3I_{0\text{кmax}} = 3126$ А.

Чувствительность обеспечивается.

Расчет третьей ступени ТЗНП

Ток срабатывания третьей ступени выбирается по условию согласования со второй ступенью защиты смежной линии Новокиевка - Строительная при КЗ в конце ВЛ 220 кВ Новокиевка – Строительная со стороны ПС 220 кВ Новокиевка при отключенном трансформаторе 220/10 на ПС 220 кВ Строительная [11]:

$$I_{0\text{с.з.}}^{\text{III}} = K_3 K_{\text{ТОК}} I_{0\text{с.з.см}}^{\text{II}}; \quad (4.43)$$

$$I_{0с.з.}^{III} = 1,1 \cdot 0,76 \cdot 502 = 419 \text{ А},$$

где $K_3 = 1,1$ – коэффициент запаса по избирательности;

$$K_{ТОК} = \frac{I_{защ.линии}}{I_{защ.линии}}; \quad (4.44)$$

$$K_{ТОК} = \frac{1041}{1368} = 0,76,$$

$I_{0с.з.см}^{II} = 502$ А – ток срабатывания второй ступени защиты смежной линии ВЛ 220 кВ Новокиевка – Строительная.

$$I_{0с.з.}^{III} = 3,49 \text{ А (во вторичных величинах).}$$

$$t_{с.з.}^{III} = \Delta t + t_{с.з.см}^{II}; \quad (4.45)$$

$$t_{с.з.}^{III} = 0,5 + 0,5 = 1,0 \text{ с},$$

где $t_{с.з.см}^{II}$ – время срабатывания защиты второй ступени смежной линии,
 Δt – ступень селективности.

Чувствительность третьей ступени проверяется при металлическом однофазном КЗ в конце защищаемой линии в минимальном режиме при отключенном автотрансформаторе на Свободненской ТЭС [11]:

$$K_{\check{ч}}^{III} = \frac{3I_{0к.мин}}{I_{0с.з.}^{II}} \geq 1,5, \quad (4.46)$$

$$K_{\check{ч}}^{III} = \frac{1581}{419} = 3,77 \geq 1,5$$

где $3I_{0к.мин} = 1581$ А.

Чувствительность обеспечивается.

Расчет четвертой ступени ТЗНП

Ток срабатывания четвертой ступени выбирается по условию согласования с третьей ступенью защиты смежной линии ВЛ 220 кВ Новокиевка – Строительная при КЗ в конце ВЛ 220 кВ Новокиевка – Февральская с отпайкой на ПС Уландочка со стороны ПС 220 кВ Февральская при отключенном трансформаторе 220/10 на ПС 220 кВ Новокиевка [11]:

$$I_{0с.з.}^{IV} = K_3 K_{ТОК} I_{0с.з.см}^{III}; \quad (4.47)$$

$$I_{0с.з.}^{IV} = 1,1 \cdot 0,6 \cdot 251 = 165 \text{ А},$$

где $K_3 = 1,1$ – коэффициент запаса по избирательности;

$$K_{ТОК} = \frac{I_{защ.линии}}{I_{защ.линии.}}; \quad (4.48)$$

$$K_{ТОК} = \frac{243}{402} = 0,60,$$

$I_{0с.з.см}^{III} = 251$ А - ток срабатывания третьей ступени защиты смежной линии ВЛ 220 кВ Новокиевка – Строительная.

$$I_{0с.з.}^{IV} = 1,4 \text{ А (во вторичных величинах).}$$

Ток срабатывания четвертой ступени выбираем по условию отстройки от максимального тока небаланса при трехфазном КЗ в конце смежной ВЛ 220 кВ Новокиевка – Строительная [11]:

$$I_{0с.з.}^{IV} = K_{отс} K_{пер} K_{нб} I_{к.мах.}^{(3)}; \quad (4.49)$$

$$I_{0с.з.}^{IV} = 1,25 \cdot 1 \cdot 0,1 \cdot 2237 = 279 \text{ А},$$

где $K_{отс} = 1,25$ – коэффициент отстройки;

$K_{пер} = 1$ – коэффициент, учитывающий увеличение тока небаланса в переходном режиме;

$K_{нб} = 0,1$ – коэффициент небаланса;

$$I_{к.мах.}^{(3)} = 2237 \text{ А}.$$

Уставку четвертой ступени принимаем $I_{0с.з.}^{IV} = 279 \text{ А}$,

$$I_{0с.з.}^{IV} = 2,3 \text{ А (во вторичных величинах)}.$$

$$t_{с.з.}^{IV} = \Delta t + t_{с.з.см}^{III}; \quad (4.50)$$

$$t_{с.з.}^{IV} = 0,5 + 1,5 = 2,0 \text{ с},$$

где $t_{с.з.см}^{III}$ – время срабатывания защиты третьей ступени смежной линии,

Чувствительность четвертой ступени проверяется при металлическом однофазном КЗ в конце смежного участка ВЛ 220 кВ Новокиевка - Строительная в минимальном режиме при отключенном автотрансформаторе на Свободненской ТЭС:

$$K_{ч}^{IV} = \frac{3I_{0мин}}{I_{0с.з.}^{IV}} \geq 1,2; \quad (4.51)$$

$$K_{\text{ч}}^{IV} = \frac{576}{279} = 2,1 \geq 1,2$$

где $3I_{0\text{мин}} = 576 \text{ А}$.

Чувствительность обеспечивается.

4.4.3.2 Расчет для комплекта защит, установленного на ПС 220 кВ
Строительная

Расчет первой ступени ТЗНП.

Ток срабатывания первой ступени выбирается по условию отстройки от максимального тока $3I_0$, протекающего через защиту при КЗ на шинах приемной Свободненской ТЭС при отключенном автотрансформаторе на Свободненской ТЭС [11]:

$$I_{0\text{с.з.}}^I = K_3 3I_{0\text{max}}; \quad (4.52)$$

$$I_{0\text{с.з.}}^I = 1,3 \cdot 2931 = 3810 \text{ А},$$

где $K_3 = 1,3$ – коэффициент запаса по избирательности; $3I_{0\text{max}} = 2931 \text{ А}$.

$I_{0\text{с.з.}}^I = 4,76 \text{ А}$ (во вторичных величинах).

$t_{\text{с.з.}} = 0 \text{ с}$.

Чувствительность первой ступени проверяется при металлическом однофазном КЗ в начале защищаемой линии в максимальном режиме [11]:

$$K_{\text{ч}}^I = \frac{3I_{0\text{кmax}}^I}{I_{0\text{с.з.}}^I} \leq 1,5; \quad (4.53)$$

$$K_{\text{ч}}^I = \frac{2946}{3810} = 0,77 \leq 1,5,$$

где $3I_{0\text{кmax}}^I = 2946 \text{ А}$.

Чувствительность не обеспечивается.

Расчет второй ступени ТЗНП.

Ток срабатывания второй ступени выбирается по условию согласования с первой ступенью защиты смежной линии Свободненская ТЭС - Амурская 2 цепь при КЗ в конце ВЛ 220 кВ Свободненская ТЭС – Амурская №2 со стороны ПС Амурская при отключенном автотрансформаторе на Свободненской ТЭС [11]:

$$I_{0с.з.}^{II} = K_3 K_{ТОК} I_{0с.з.см}^{II} \quad (4.54)$$

$$I_{0с.з.}^{II} = 1,1 \cdot 1,0 \cdot 797 = 876 \text{ A},$$

где $K_3 = 1,1$ – коэффициент запаса по избирательности;

$$K_{ТОК} = \frac{I_{защ.линии}}{I_{защ.линии.}}; \quad (4.55)$$

$$K_{ТОК} = \frac{768}{768} = 1,0,$$

$I_{0с.з.см}^{II} = 797$ А – ток срабатывания первой ступени защиты смежной линии ВЛ 220 кВ Свободненская ТЭС – Амурская №2.

Ток срабатывания второй ступени выбирается по условию согласования с первой ступенью защиты смежной линии ВЛ 220 кВ Свободненская ТЭС – Амурская №1 при КЗ в конце ВЛ 220 кВ Свободненская ТЭС – Амурская №1 со стороны ПС Амурская при отключенной ВЛ 220 кВ Свободненская ТЭС – Амурская №2 и включенном СВ 220 кВ на Свободненской ТЭС [11]:

$$I_{0с.з.}^{II} = K_3 K_{ТОК} I_{0с.з.см}^{II}; \quad (4.56)$$

$$I_{0с.з.}^{II} = 1,1 \cdot 0,37 \cdot 1624 = 660 \text{ А},$$

где $K_3 = 1,1$ – коэффициент запаса по избирательности;

$$K_{ТОК} = \frac{I_{защ.линии}}{I_{защ.линии}}; \quad (4.57)$$

$$K_{ТОК} = \frac{636}{1707} = 0,37,$$

$I_{0с.з.см}^{II} = 1624 \text{ А}$ – ток срабатывания первой ступени защиты смежной ВЛ

220 кВ Свободненская ТЭС – Амурская №1.

Принимаем уставку $I_{0с.з.}^{II} = 876 \text{ А}$.

$I_{0с.з.}^{II} = 1,09 \text{ А}$ (во вторичных величинах).

$$t_{с.з.}^{II} = \Delta t + t_{с.з.см}^{II}; \quad (4.58)$$

$$t_{с.з.}^{II} = 0,5 + 0 = 0,5 \text{ с},$$

где $t_{с.з.см}^{II}$ – время срабатывания защиты первой ступени смежной линии,

Δt – ступень селективности.

Чувствительность второй ступени проверяется при металлическом однофазном КЗ в конце защищаемой линии в минимальном режиме при отключенной ВЛ 220 кВ Февральская – Тунгала и выведенным из работы трансформатором на ПС 220 кВ Строительная [11]:

$$K_{\checkmark}^{II} = \frac{3I_{0к.мин}}{I_{0с.з.}^{II}} = \frac{1674}{876} = 1,91 \geq 1,5, \quad (4.59)$$

где $3I_{0к.мин} = 1674 \text{ А}$.

Расчет третьей ступени ТЗНП

Ток срабатывания третьей ступени выбирается по условию согласования со второй ступенью защиты смежной линии ВЛ 220 кВ Свободненская ТЭС – Амурская №2 при КЗ в конце ВЛ 220 кВ Свободненская ТЭС – Амурская №2 со стороны ПС Амурская при отключенном автотрансформаторе на Свободненской ТЭС [11]:

$$I_{0с.з.}^{III} = K_3 K_{ТОК} I_{0с.з.см}^{II}; \quad (4.60)$$

$$I_{0с.з.}^{III} = 1,1 \cdot 0,76 \cdot 449 = 494 \text{ А},$$

где $K_3 = 1,1$ – коэффициент запаса по избирательности;

$$K_{ТОК} = \frac{I_{защ.линии}}{I_{защ.линии.}}; \quad (4.61)$$

$$K_{ТОК} = \frac{765}{765} = 1,0,$$

$I_{0с.з.см}^{II} = 449 \text{ А}$ – ток срабатывания второй ступени защиты смежной линии ВЛ 220 кВ Свободненская ТЭС – Амурская №2.

Ток срабатывания третьей ступени выбирается по условию согласования со второй ступенью защиты смежной линии ВЛ 220 кВ Свободненская ТЭС – Амурская №1 при КЗ в конце ВЛ 220 кВ Свободненская ТЭС – Амурская №1 со стороны ПС Амурская при отключенной ВЛ 220 кВ Свободненская ТЭС – Амурская №2 цепь и включенном СВ 220 кВ на Свободненской ТЭС [11]:

$$I_{0с.з.}^{III} = K_3 K_{ТОК} I_{0с.з.см}^{II} ; \quad (4.62)$$

$$I_{0с.з.}^{III} = 1,1 \cdot 0,37 \cdot 919 = 374 \text{ А},$$

где $K_3 = 1,1$ – коэффициент запаса по избирательности;

$$K_{ТОК} = \frac{I_{защ.линии}}{I_{защ.линии.}} ; \quad (4.63)$$

$$K_{ТОК} = \frac{636}{1707} = 0,37,$$

$I_{0с.з.см}^{II} = 919$ А – ток срабатывания второй ступени защиты смежной линии ВЛ 220 кВ Свободненская ТЭС – Амурская №1.

Принимаем уставку $I_{0с.з.}^{III} = 494$ А

$$I_{0с.з.}^{III} = 0,61 \text{ А (во вторичных величинах).}$$

$$t_{с.з.}^{III} = \Delta t + t_{с.з.см}^{II} ; \quad (4.64)$$

$$t_{с.з.}^{III} = 0,5 + 0,8 = 1,3 \text{ с},$$

где $t_{с.з.см}^{II}$ – время срабатывания защиты второй ступени смежной линии,

Δt – ступень селективности.

Чувствительность третьей ступени проверяется при металлическом однофазном КЗ в конце защищаемой линии в минимальном режиме при отключенной ВЛ 220 кВ Новокиевка – Строительная и выведенным из работы трансформатором на ПС 220 кВ Строительная [11]:

$$K_{\text{ч}}^{\text{III}} = \frac{3I_{0\text{к.мин}}}{I_{0\text{с.з}}^{\text{III}}} \geq 1,2; \quad (4.65)$$

$$K_{\text{ч}}^{\text{III}} = \frac{1008}{494} = 2,0 \geq 1,2$$

где $3I_{0\text{к.мин}} = 1008 \text{ А}$.

Чувствительность обеспечивается.

Расчет четвертой ступени ТЗНП

Ток срабатывания четвертой ступени выбирается по условию согласования с третьей ступенью защиты смежной линии Свободненская ТЭС - Амурская 2 цепь при КЗ в конце ВЛ 220 кв Амурская - Благовещенская 1 цепь со стороны ПС Благовещенская при отключенном автотрансформаторе 220/110 на Свободненской ТЭС [11]:

$$I_{0\text{с.з}}^{\text{IV}} = K_3 K_{\text{ТОК}} I_{0\text{с.з.см}}^{\text{III}}; \quad (4.66)$$

$$I_{0\text{с.з}}^{\text{IV}} = 1,1 \cdot 1,0 \cdot 159 = 175 \text{ А},$$

где $K_3 = 1,1$ – коэффициент запаса по избирательности;

$$K_{\text{ТОК}} = \frac{I_{\text{защ.линии}}}{I_{\text{защ.линии}}}; \quad (4.67)$$

$$K_{\text{ТОК}} = \frac{123}{123} = 1,0,$$

$I_{0\text{с.з.см}}^{\text{III}} = 159 \text{ А}$ - ток срабатывания третьей ступени защиты смежной линии ВЛ 220 кв Свободненская ТЭС – Амурская №2.

Ток срабатывания четвертой ступени выбирается по условию согласования с третьей ступенью защиты смежной линии ВЛ 220 кВ Свободненская ТЭС - Амурская №1 при КЗ в конце ВЛ 220 кВ Амурская – Благовещенская №2 со стороны ПС 220 кВ Благовещенская при отключенной ВЛ 220 кВ Свободненская ТЭС – Амурская №2 и включенном СВ 220 кВ на Свободненской ТЭС [11]:

$$I_{0с.з.}^{IV} = K_3 K_{ТОК} I_{0с.з.см}^{III} ; \quad (4.68)$$

$$I_{0с.з.}^{IV} = 1,1 \cdot 0,48 \cdot 268 = 142 А,$$

где $K_3 = 1,1$ – коэффициент запаса по избирательности;

$$K_{ТОК} = \frac{I_{защ.линии}}{I_{защ.линии.}} ; \quad (4.69)$$

$$K_{ТОК} = \frac{144}{297} = 0,48,$$

$I_{0с.з.см}^{III} = 268$ А - ток срабатывания третьей ступени защиты смежной линии ВЛ 220 кВ Свободненская ТЭС – Амурская №1.

Ток срабатывания четвертой ступени выбираем по условию отстройки от максимального тока небаланса при трехфазном КЗ в конце смежной ВЛ 220 кВ Свободненская ТЭС – Амурская №1 при включенном СВ 220 кВ на Свободненской ТЭС и отключенной ВЛ 220 кВ Свободненская ТЭС – Амурская №2 [11]:

$$I_{0с.з.}^{IV} = K_{отс} K_{пер} K_{нб} I_{к.мах.}^{(3)} ; \quad (4.70)$$

$$I_{0с.з.}^{IV} = 1,25 \cdot 1 \cdot 0,1 \cdot 521 = 65 \text{ A},$$

где $K_{отс} = 1,25$ – коэффициент отстройки;

$K_{пер} = 1$ – коэффициент, учитывающий увеличение тока небаланса в переходном режиме;

$$K_{нб} = 0,1 \text{ – коэффициент небаланса;}$$

$$I_{к.мах.}^{(3)} = 521 \text{ A.}$$

Уставку четвертой ступени принимаем $I_{0с.з.}^{IV} = 175 \text{ A},$

$$I_{0с.з.вт}^{IV} = 0,21 \text{ A (во вторичных величинах).}$$

$$t_{с.з.}^{IV} = \Delta t + t_{с.з.см}^{III}; \tag{4.71}$$

$$t_{с.з.}^{IV} = 0,5 + 1,5 = 2,0 \text{ с},$$

где $t_{с.з.см}^{III}$ – время срабатывания защиты третьей ступени смежной линии,

Чувствительность четвертой ступени проверяется при металлическом однофазном КЗ в конце смежной ВЛ 220 кВ Свободненская ТЭС – Амурская №2 в минимальном режиме при отключенной ВЛ 220 кВ Февральская – Тунгала и выведенным из работы трансформатором на ПС 220 кВ Строительная [11]:

$$K_{ч}^{IV} = \frac{3I_{0мин}}{I_{0с.з.}^{IV}} \geq 1,2; \tag{4.72}$$

$$K_{ч}^{IV} = \frac{408}{175} = 2,3 \geq 1,2$$

где $3I_{0мин} = 408 \text{ A}.$

Чувствительность обеспечивается.

4.4.4 Расчет уставок ТО ВЛ 220 кВ Свободненская ТЭС - Строительная

4.4.4.1 Расчет для комплекта защит, установленного на Свободненской ТЭС .

Ток срабатывания ТО выбирается по условию отстройки от максимального трехфазного тока в конце линии, протекающего в месте установки защиты [11].

$$I_{с.з.} \geq K_{отс} \cdot I_{КЗmax}; \quad (4.73)$$

$$I_{с.з.} \geq 1,2 \cdot 4137 = 4964 \text{ А},$$

где $K_{отс} = 1,2$ – коэффициент отстройки; $I_{КЗmax} = 4137 \text{ А}$.

$$I_{с.з.м} = 41,36 \text{ А (во вторичных величинах)}.$$

Чувствительность ТО проверяется при КЗ в месте установке защиты в минимальном режиме [11].

$$K_{ч} = \frac{I_{кз.мин}^{(2)}}{I_{с.з.}} \leq 1,2; \quad (4.74)$$

$$K_{ч} = \frac{1632}{4964} = 0,33 \leq 1,2,$$

Чувствительность не обеспечивается.

Проверяем чувствительность ТО при КЗ в месте установки защиты в максимальном режиме [11].

$$K_{ч} = \frac{I_{кз.маx}^{(2)}}{I_{с.з.}} \leq 1,2; \quad (4.75)$$

$$K_{ч} = \frac{4186}{4964} = 0,84 \leq 1,2,$$

Чувствительность не обеспечивается. Рекомендовано ТО вывести из работы.

4.4.4.2 Расчет для комплекта защит, установленного на ПС 220 кВ Строительная

Ток срабатывания ТО выбирается по условию отстройки от максимального трехфазного тока в конце линии, протекающего в месте установки защиты [11].

$$I_{с.з.} \geq K_{отс} \cdot I_{КЗmax}; \quad (4.76)$$

$$I_{с.з.} \geq 1,2 \cdot 829 = 995 \text{ А},$$

где $K_{отс} = 1,2$ – коэффициент отстройки; $I_{КЗmax} = 829 \text{ А}$.

$$I_{с.з.вн} = 1,24 \text{ А (во вторичных величинах)}.$$

Чувствительность ТО проверяется при КЗ в месте установке защиты в минимальном режиме [11].

$$K_{ч} = \frac{I_{кз.мин}^{(2)}}{I_{с.з.}} \leq 1,2; \quad (4.77)$$

$$K_{ч} = \frac{556}{995} = 0,55 \leq 1,2.$$

Чувствительность не обеспечивается.

Проверяем чувствительность ТО при КЗ в месте установки защиты в максимальном режиме [11].

$$K_{ч} = \frac{I_{кз.маx}^{(2)}}{I_{с.з.}}; \quad (4.78)$$

$$K_u = \frac{832}{995} = 0,84 \leq 1,2.$$

Чувствительность не обеспечивается. Рекомендовано ТО вывести из работы.

4.5 УРОВ ПС 220 кВ Строительная

УРОВ, выполнен индивидуальным, входящим в состав следующих устройств РЗ:

- Комплект РЗА СВ;
- Комплект РЗА В 220 Т-1;
- Комплект РЗА В 220 Т-2.

Индивидуальный УРОВ при отказе выключателя присоединения формирует команду на отключение с меньшей выдержкой времени (около нуля) своего выключателя, с большей выдержкой времени ($T_{ср_уров}$) на отключение смежных выключателей с запретом АПВ и формированием Команды ТО (телеотключения) на противоположный конец линии.

Под телеотключением подразумевается отключение выключателей на одной из сторон линии, которые происходят при получении отключающего сигнала от сработавшей релейной защиты на другой стороне линии.

Требуемое отключение происходит только при срабатывании на стороне линии, принимающей сигнал ТО, какого-либо органа, фиксирующего в защищаемой системе повреждение, т.е. контроль выполняется по факту срабатывания наиболее чувствительных органов ТЗНП (реле тока 4-ой ступени) и ДЗ (реле сопротивления 3-ей ступени).

Логика работы УРОВ:

При работе резервной защиты ЛЭП (сигналы пуска УРОВ формируются в КСЗ) и отказе выключателя СВ 220 (В 220 Т-1, общего для линии и трансформатора) в Комплекте РЗА СВ 220 и(или) Комплекте РЗА В 220 Т-1 формируется алгоритм работы УРОВ:

1) При отказе СВ 220 и работе УРОВ в составе Комплекта РЗА СВ 220, Комплект РЗА СВ 220 действует по выходным цепям на:

- на запрет АПВ;
- на пуск команды ТО через схему КСЗ ВЛ 220 Свободненская ТЭС – Строительная (*ДЗ, ТЗНП, МФТО*);
- на пуск команды ТО через схему КСЗ ВЛ 220 Новокиевка – Строительная (*ДЗ, ТЗНП, МФТО*);
- на останов ВЧ приёмопередатчиков Комплекта РЗ ВЛ 220 кВ Свободненская ТЭС – Строительная (*ДФЗ, ДЗ, ТЗНП, МФТО*) и Комплекта РЗ ВЛ 220 кВ Новокиевка – Строительная (*ДФЗ, ДЗ, ТЗНП, МФТО*).

2) При отказе В 220 Т-1 и работе УРОВ в составе Комплекта РЗА В 220 Т-1 (*АУВ, ТАПВ, УРОВ*), Комплект РЗА В 220 Т-1 (*АУВ, ТАПВ, УРОВ*) действует по выходным цепям на:

- на запрет АПВ;
- на пуск команды ТО через схему КСЗ ВЛ 220 Свободненская ТЭС – Строительная (*ДЗ, ТЗНП, МФТО*);
- на останов ВЧ приёмопередатчика Комплекта РЗ ВЛ 220 кВ Свободненская ТЭС – Строительная (*ДФЗ, ДЗ, ТЗНП, МФТО*).

3) При отказе В 220 Т-2 и работе УРОВ в составе Комплекта РЗА В 220 Т-2 (*АУВ, ТАПВ, УРОВ*), Комплект РЗА В 220 Т-2 (*АУВ, ТАПВ, УРОВ*) действует по выходным цепям на:

- на запрет АПВ;
- на пуск команды ТО через схему КСЗ ВЛ 220 Новокиевка – Строительная (*ДЗ, ТЗНП, МФТО*);
- на останов ВЧ приёмопередатчика Комплекта РЗ ВЛ 220 кВ Новокиевка – Строительная (*ДФЗ, ДЗ, ТЗНП, МФТО*).

4.6 АУВ и ТАПВ 220 кВ

Оперативное и автоматическое управление выключателями СВ 220 и В 220 Т-1 (Т-2) осуществляется с помощью соответствующих устройств АУВ:

- Комплект РЗА СВ 220;
- Комплект РЗА В 220 Т-1;
- Комплект РЗА В 220 Т-2.

4.6.1 АУВ выполняет функции:

- оперативное управление выключателем;
- ТАПВ;
- технологические защиты выключателя (блокировка от многократного включения, защиты электромагнитов от длительного протекания токов и блокировка при снижении давления элегаза в баке выключателя).

4.6.2 Включение выключателей 220 кВ через схему АПВ в Комплекте РЗА возможно в двух режимах:

- «с КС» - включение выключателей 220 кВ происходит по факту наличия команды «Включить» от ключа управления и наличию условий контроля синхронизма в Комплекте РЗА (включение ЛЭП в транзит);

- «без КС» - включение выключателей 220 кВ происходит по факту наличия команды «Включить» от ключа управления и без контроля синхронизма в Комплекте РЗА (постановка ЛЭП под напряжение или включение ЛЭП в радиальном режиме).

4.6.3 Комплект РЗА В 220 Т-1 (*АУВ, ТАПВ, УРОВ*) и Комплект РЗА В 220 Т-2 (*АУВ, ТАПВ, УРОВ*) в своём составе кроме функций АУВ так же содержат резервные защиты Т-1 и Т-2 соответственно.

4.6.4 Режимы ТАПВ 220 кВ.

На выключателях предусмотрены следующие режимы ТАПВ:

1) СВ 220:

- выведено;
- по факту – ТАПВ по факту отключения выключателя от РЗ;
- КС, УС – ТАПВ с контролем (улавливанием) синхронизма;
- КОНЛ Свободненская ТЭС, КС, УС – ТАПВ с контролем отсутствия напряжения на ТН-1 220 и наличием напряжения на ТН-2 220 или контролем (улавливанием) синхронизма.

- КОНЛ Новокиевка, КС, УС – ТАПВ с контролем отсутствия напряжения на ТН-2 220 и наличием напряжения на ТН-1 220 или контролем (улавливанием) синхронизма.

- КОНЛ Свободненская ТЭС, КОНЛ Новокиевка КС, УС – ТАПВ с контролем отсутствия напряжения на ТН-2 220 и наличием напряжения на ТН-1

220 или с контролем отсутствия напряжения на ТН-1 220 и наличием напряжения на ТН-2 220 или контролем (улавливанием) синхронизма.

2) В 220 Т-1 и В 220 Т-2:

– выведено;

– по факту – ТАПВ по факту отключения выключателя от РЗ;

– КС – ТАПВ с контролем синхронизма;

– КОНЛ, КС, УС – ТАПВ с контролем отсутствия напряжения на ЛЭП и

контролем наличия напряжения на трансформаторе или контролем (улавливанием) синхронизма.

4.6.5 Отключение выключателей 220 кВ происходит с запретом ТАПВ при:

– оперативном отключении;

– отключении от УРОВ 220 кВ.

5 МОЛНИЕЗАЩИТА И ЗАЗЕМЛЕНИЕ ПС 220 КВ СТРОИТЕЛЬНАЯ

5.1 Мероприятия по заземлению

Проектируемая ПС 220 кВ Строительная находится в зоне со II степенью загрязнения атмосферы (СЗА), для которой внешняя наружная подвесная и опорная изоляция устанавливаемого оборудования принимается в исполнении с удельной длиной пути согласно ГОСТ 9920-89 – 2,25 см/кВ.

Проектными решениями предусматривается заземляющее устройство ПС в соответствии с ПУЭ 7-ое издание в виде металлической сетки из продольных и поперечных горизонтальных заземлителей из оцинкованной стали сечением 40x5 мм, уложенных в пределах ограды в земле на глубине 0,5 м и вертикальных заземлителей диаметром 20 мм, длиной 5 м. Устанавливаемое силовое оборудование и производственные (вспомогательные) здания присоединяется к контуру заземления не менее чем двумя выпусками горизонтальной оцинкованной стальной полосы сечением 40x5 мм. Заземляющее устройство должно иметь в любое время года сопротивление не более 0,5 Ом с учетом сопротивления естественных и искусственных заземлителей. [1]

После монтажа предусматривается проверка параметров заземляющего устройства, согласно СО 34.20.525-00 «МУ по контролю состояния заземляющих устройств электроустановок».

На ПС Строительная для электроустановок напряжением до 1 кВ принята система заземления TN-S [1].

При принятых в соответствии с ПУЭ конструкциях и технических решениях по проектируемым ПС биологическая защита обслуживающего персонала от воздействия электрического поля, согласно СанПиН 2.2.1./2.1.1.1200-03 и ГОСТ 12.1.002-84, не требуется. [1]

План заземления ПС представлен в графической части Листа 5.

В зданиях ОПУ, КРУН 10 кВ магистрали заземления выполнены в виде стальных оцинкованных полос сечением 40x5 мм. Контур заземления внутри зданий прокладывается по стенам на высоте 0,4 м от уровня пола. Все металлические открытые токопроводящие части электрооборудования,

устанавливаемого внутри зданий, которые могут оказаться под напряжением должны быть присоединены к контуру заземления зданий не менее чем в двух местах, а контур заземления здания присоединяется к общему контуру заземления подстанции не менее чем в четырех точках. Для устройств релейной защиты и автоматики, содержащих интегральные схемы и устанавливаемых внутри зданий, предусматривается защитное и рабочее заземление. [1]

Защитное заземление выполняется путем присоединения всех шкафов, панелей и корпусов устройств РЗА, ПА и АСУ ТП к закладным протяженным элементам (полосам, швеллерам), проложенным в полу, к которым крепятся эти устройства. Для снижения входного сопротивления рабочего заземления закладные элементы, проложенные в полу, для каждого ряда панелей должны быть соединены между собой на сварке по концам и в промежуточных точках с шагом 4-6 метров стальной полосой сечением не менее 100 мм². [1]

Рабочее заземление систем РЗА и ПА допускается осуществлять присоединением рабочих (схемных) точек заземления устройств кратчайшим путем к зажимам защитного заземления панелей (шкафов) и корпусов устройств РЗА и ПА. [1]

Для защиты от статического электричества применены антистатические линолеумы, настилы, коврики, а так же антистатическая одежда и обувь.

Ограждение ПС к общему заземляющему устройству не присоединяется, заземление ограды осуществляется с помощью вертикальных заземлителей диаметром 20 мм и длиной 5 м, установленных у стоек ограды по всему ее периметру через 20-50 м. [1]

Для заземления машин, на подъезде к зданию противопожарных сооружений, пожарным гидрантам к горизонтальным заземлителям привариваются стальные стержни диаметром 20 мм и длиной 1 м. Заземление пожарных головок выполняется стальной полосой сечением 40x5 мм, приваренной к общему контуру заземления подстанции.

Согласно ПУЭ, в целях выравнивания электрического потенциала и обеспечения присоединения электрооборудования к заземлителю на территории,

занятой оборудованием, проложены продольные и поперечные горизонтальные заземлители и объединены между собой в заземляющую сетку. [1]

Продольные и поперечные заземлители проложены вдоль осей электрооборудования со стороны обслуживания на глубине 0,5 м от поверхности земли и на расстоянии 1,0 м от фундаментов или оснований оборудования. [1]

У въезда на территорию ПС 220 кВ Строительная для выравнивания потенциалов установлены два вертикальных заземлителя, которые присоединены к внешнему горизонтальному заземлителю напротив въезда. Длина вертикальных заземлителей по 5 м каждый, а расстояние между ними равно ширине въезда. [1]

5.2 Расчет контура заземления ПС

Таблица 5.1 – Исходные данные

ρ_1	удельное сопротивление верхнего слоя грунта	Ом*м	780
ρ_2	удельное сопротивление нижнего слоя грунта	Ом*м	4800
L	длина вертикального заземлителя	м	5
H	толщина верхнего слоя грунта	м	0,8
$t_{\text{полосы}}$	глубина заложения горизонтального заземлителя	м	0,5
k_1	климатический коэффициент для вертикальных электродов	-	1,5
d	диаметр стержня	мм	20
η_e	коэффициент использования вертикальных заземлителей	-	0,65
l_z	предполагаемая длина горизонтального заземлителя	м	37200
b	ширина стальной полосы	мм	40
η_z	коэффициент использования горизонтальных электродов	-	0,37
k_2	климатический коэффициент для горизонтальных электродов	-	2,25
t	расстояние от поверхности земли до середины заземлителя	м	2,5

Удельный расчётный коэффициент сопротивления грунта определяется по формуле (5.1):

$$r_{\text{в}} = \frac{0,366 \cdot \rho}{L} \cdot \left(\lg \left(\frac{2 \cdot L}{0,95 \cdot d} \right) + \frac{1}{2} \cdot \lg \left(\frac{4 \cdot t + L}{4 \cdot t - L} \right) \right), \quad (5.1)$$

Исходя из формулы (5.1):

$$r_{\theta} = \frac{0,366 \cdot 4046,69}{5} \cdot \left(\lg \left(\frac{2 \cdot 5}{0,95 \cdot 0,02} \right) + \frac{1}{2} \lg \left(\frac{4 \cdot 2,5 + 5}{4 \cdot 2,5 - 5} \right) \right) = 876,75 \text{ Ом.}$$

Сопротивление одного вертикального заземлителя определяется по формуле (5.2):

$$\rho = \frac{(\rho_1 \cdot k_1 \cdot \rho_2 \cdot L)}{(\rho_1 \cdot k_1 \cdot (L - H + t_{\text{полосы}}) + \rho_2 \cdot (H - t_{\text{полосы}}))}, \quad (5.2)$$

Исходя из формулы (5.2):

$$\rho = \frac{(780 \cdot 1,5 \cdot 4800 \cdot 5)}{(780 \cdot 1,5 \cdot (5 - 0,8 + 0,5) + 4800 \cdot (0,8 - 0,5))} = 4046,69 \text{ Ом} \cdot \text{м.}$$

Предполагаемое количество вертикальных заземлителей определяется по формуле (5.3):

$$n_{np} = \frac{r_{\theta}}{R_H \cdot \eta_{\theta}} \quad (5.3)$$

Исходя из формулы (5.3):

$$n_{np} = \frac{876,75}{0,5 \cdot 0,65} = 2697,7 \text{ шт.}$$

Сопротивление горизонтального заземлителя определяется по формуле (5.4):

$$R_{\Gamma} = \frac{0,366 \cdot k_2 \cdot \rho_1}{l_2 \cdot \eta_2} \cdot \lg \left(\frac{l_2^2}{b \cdot t_{\text{полосы}}} \right), \quad (5.4)$$

Исходя из формулы (5.4):

$$R_{\Gamma} = \frac{0,366 \cdot 2,25 \cdot 780}{37200 \cdot 0,37} \cdot \lg \left(\frac{37200^2}{0,04 \cdot 0,5} \right) = 0,5059 \text{ Ом.}$$

Необходимое сопротивление стержней определяется по формуле (5.5):

$$R_2 = \frac{R_H \cdot R_{\Gamma}}{R_{\Gamma} - R_H}, \quad (5.5)$$

Исходя из формулы (5.5):

$$R_2 = \frac{0,5 \cdot 0,506}{0,506 - 0,5} = 43,04 \text{ Ом.}$$

Уточнённое количество вертикальных заземлителей с учётом соединительной полосы определяется по формуле (5.6):

$$n = \frac{r_{\theta}}{R_2 \cdot \eta_{\theta}}, \quad (5.6)$$

Исходя из формулы (5.6):

$$n = \frac{876,75}{43,04 \cdot 0,65} = 31,34 \text{ шт.}$$

Принимаем 36 шт.

Согласно п.8.2.5 СТО 56947007-29.130.15.114-2012 вертикальные заземлители необходимо устанавливать у молниеотводов и ограничителей перенапряжений.

Уточненное сопротивление стержней определяется по формуле (5.7):

$$R_B = \frac{r_{\theta}}{n \cdot \eta_{\theta}} \quad (5.7)$$

Исходя из формулы (5.7):

$$R_B = \frac{876,75}{36 \cdot 0,65} = 37,47 \text{ Ом}$$

Общее сопротивление контура определяется по формуле (5.8):

$$R = \frac{R_B \cdot R_{\Gamma}}{R_{\Gamma} + R_B}, \quad (5.8)$$

Исходя из формулы (5.8):

$$R = \frac{37,47 \cdot 0,5059}{37,47 + 0,5059} = 0,499 \text{ Ом.}$$

В электроустановках напряжением 220 кВ сети с глухозаземленной нейтралью сопротивление заземляющего устройства при прохождении расчетного тока замыкания на землю в любое время года с учетом сопротивления естественных заземлителей должно быть не более 0,5 Ом.

$$R_{3y} = 0,499 \text{ Ом} < 0,5 \text{ Ом.}$$

Вывод:

1 Согласно классическому расчету контура заземления на ПС 220 кВ Строительная необходимое число горизонтального и вертикального

заземлителей составляет 37200 метров и 36 штук по 5 метров соответственно. С технической и экономической точки зрения данное решение не приемлемо.

2 Устройство вертикальных заземлителей увеличенной длины не удовлетворит нормируемые значения, так как с увеличением глубины удельное сопротивление земли не снижается.

3 Устройство выносных заземлителей невозможно, так как ПС 220 кВ Строительная располагается в стеснённых условиях, вблизи ГОКа.

4 Укладка в траншеи, вокруг горизонтальных заземлителей, влажного глинистого грунта технически и экономически не целесообразна из-за промерзания грунта на глубине до 3 м.

На основании п. 1.7.107 п.п. 1 ПУЭ предлагается применение электролитического заземления (помещение заземлителей в талые зоны) на ПС 220 кВ Строительная.

Расчет и обоснование применения электролитического заземления ПС

В соответствии с ПУЭ п.1.7.90 для электроустановок напряжением выше 1 кВ в сетях с глухозаземленной нейтралью, заземляющее устройство, которое выполняется с соблюдением требований к его сопротивлению, должно иметь в любое время года сопротивление не более 0,5 Ом, с учетом сопротивления естественных и искусственных заземлителей.

Так как классическое заземление требует больших экономических и физических затрат, выполнен комплекс мероприятий по обеспечению необходимых требований к заземляющему устройству:

– для обеспечения нормируемого сопротивления ЗУ предлагается к применению необслуживаемый активный соляной электрод, специально предназначенное для применения в высокоомных грунтах.

Необслуживаемый активный соляной электрод – это инновационное заземляющее устройство, не требующее инспекции и дополнительного обслуживания на протяжении всего срока эксплуатации, предназначенное специально для применения в грунтах с высоким удельным сопротивлением (многолетнемерзлые, крупнообломочные, скальные, прочные и другие), а также в условиях ограниченной площади для монтажа заземляющего устройства.

Принцип работы основан на искусственном увеличении электропроводности грунта вокруг электрода, благодаря применению соляного наполнителя и низкоомного околоэлектродного заполнителя – грунтового катализатора.

Расположение элементов заземляющего устройства показано в графической части ВКР.

Расчет эквивалентного сопротивления заземляющего устройства

Оценим эквивалентное удельное сопротивление грунта по усредненному геоэлектрическому разрезу:

Таблица 5.2 – Оценка эквивалентного удельного сопротивление грунта

Интервал по глубине, м	Удельное электрическое сопротивление грунта, Ом*м		Степень коррозионной агрессивности грунта к стали
	талого грунта	мерзлого грунта	
0,0 – 0,3	140	1400	низкая
0,3 – 0,8	80	780	низкая
0,8 – 3,0	1600	4800	
3,0 – 7,0	1600		
7,0 >	2200		

Длина горизонтального заземлителя $l_r = 6000$ м;

Заглубление горизонтального заземлителя $t = 0,5$ м.

Эквивалентное значение удельного сопротивление грунта вычислим по таблице 5.3

Таблица 5.3 – Относительное эквивалентное удельное сопротивление земли

$\frac{\rho_1}{\rho_2}$	Относительное эквивалентное удельное сопротивление при относительной толщине верхнего слоя с учётом глубины заложения электрода $\frac{h_1 - t}{l_2}$							
	1	2	3	4	5	6	7	8
	0,01	0,03	0,05	0,1	0,125	0,5	1,0	
0,01	0,082	0,057	0,042	0,033	0,026	0,0185	0,0135	
0,05	0,225	0,166	0,130	0,115	0,098	0,076	0,060	
0,1	0,34	0,255	0,210	0,19	0,165	0,135	0,115	
0,2	0,50	0,41	0,345	0,32	0,29	0,250	0,225	
0,3	0,60	0,52	0,46	0,44	0,40	0,360	0,320	
0,5	0,76	0,68	0,64	0,60	0,54	0,360	0,320	

1	2	3	4	5	6	7	8
2	1,50	1,62	1,70	1,75	1,85	1,94	1,96
3	2,0	2,2	2,45	2,60	2,80	2,9	2,95
5	3,0	3,48	4,0	4,2	4,50	4,8	4,9
10	9,4	6,4	7,6	8,0	8,75	9,6	9,8
30	15,5	18,5	21,3	23,0	25,0	27,5	29,0
50	25,5	30,0	33,5	36,5	40,5	46,0	49,0
100	47,5	54,5	62,0	70,5	79,5	96,0	98,0

Найдем необходимые величины для мерзлого грунта:

Шаг 1

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{1400}{780} = 1,79$$

$$\frac{h_1 - t}{l_2} = \frac{0,3 - 0,5}{6000} = -0,00003$$

В соответствии с табличными данными методом линейной интерполяции найдем

$$\frac{\rho_{\text{экв1}}}{\rho_2} = 1,3964$$

$$\rho_{\text{экв1}} = 780 \cdot 1,3964 = 1089,20 \text{ м} \cdot \text{м}.$$

Шаг 2

$$\frac{\rho_{\text{экв1}}}{\rho_3} = \frac{1089,36}{4800} = 0,0227$$

$$\frac{h_2 - t}{l_2} = \frac{0,8 - 0,5}{6000} = 0,00005$$

В соответствии с табличными данными методом линейной интерполяции найдем

$$\frac{\rho_{\text{ЭКВ}2}}{\rho_3} = 0,1274$$

$$\rho_{\text{ЭКВ}2} = 1600 \cdot 0,1274 = 203,84 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

Шаг 3

$$\frac{\rho_{\text{ЭКВ}2}}{\rho_4} = \frac{203,84}{1600} = 0,1274$$

$$\frac{h_3 - t}{l_2} = \frac{7 - 0,5}{6000} = 0,0011$$

В соответствии с табличными данными методом линейной интерполяции найдем

$$\frac{\rho_{\text{ЭКВ}}}{\rho_4} = 0,3838$$

$$\rho_{\text{ЭКВ}} = 1600 \cdot 0,3838 = 614,08 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

Расчет заземляющего устройства

Сопротивление горизонтального электрода определяется по формуле (5.9):

$$R_{гор} = \frac{\rho_1}{2 \cdot \pi \cdot L_{гор}} \cdot \ln \frac{2 \cdot L_{гор}^2}{b \cdot h}, \quad (5.9)$$

где ρ_1 – удельное сопротивление грунта на глубине 0,5 м, Ом·м;

b – ширина полосы горизонтального электрода, м;

h – глубина заложения горизонтальной сетки, м;

$L_{гор}$ – длина горизонтального электрода, м.

Исходя из формулы (5.9):

$$R_{гор} = \frac{780}{2 \cdot 3,14 \cdot 6000} \cdot \ln \frac{2 \cdot 6000^2}{0,04 \cdot 0,5} = 0,456 \text{ Ом}$$

Сопротивление одиночного вертикального электрода определяется по формуле (5.1.10):

$$R_{верт} = \frac{\rho_{ЭКВ}}{2 \cdot \pi \cdot L} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot L}{d} + 0,5 \cdot \ln \frac{4 \cdot T + L}{4 \cdot T - L} \right), \quad (5.10)$$

где $\rho_{ЭКВ}$ – среднее удельное сопротивление грунта, Ом·м;

L – длина вертикального электрода, м;

d – диаметр вертикального электрода, м;

t – заглубление - расстояние от поверхности земли до заземлителя, м;

$$T = \frac{L}{2} + t = \frac{6}{2} + 0 = 3 \text{ м}$$

где t – заглубление верха электрода, м

Исходя из формулы (5.10):

$$R_{\text{верт}} = \frac{614,08}{2 \cdot 3,14 \cdot 5} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot 5}{0,02} + 0,5 \cdot \ln \frac{4 \cdot 2,5 + 5}{4 \cdot 2,5 - 5} \right) = 132,3 \text{ Ом}$$

Сопротивление комплекта определяется по формуле (5.11):

$$R_{ZZ} = \frac{\rho_2}{2 \cdot \pi \cdot L_{\text{верт}}} \ln \frac{4 \cdot L_{\text{верт}}}{d}, \quad (5.11)$$

Где:

$L_{\text{верт}}$ – длина заземлителя, м;

d – диаметр заземлителя, м;

ρ_2 – удельное сопротивление талого грунта, Ом·м.

Исходя из формулы (5.1.11):

$$R_{ZZ} = \frac{140}{2 \cdot 3,14 \cdot 6} \cdot \ln \frac{4 \cdot 6}{0,06} = 22,26 \text{ Ом}$$

Полное сопротивление заземляющего устройства определяется по формуле (5.12):

$$R_{3Y} = \frac{1}{k_{\text{исп.гр}} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{n_i}{R_i}} \quad (5.12)$$

Где:

n – количество комплектов;

$k_{\text{исп}}$ – коэффициент использования.

Исходя из формулы (5.12):

$$R_{3Y} = \frac{1}{k_{исп.зр} \cdot \left(\frac{n_{гор1}}{R_{гор1}} + \frac{n_{верт1}}{R_{верт1}} \right) + k_{ZZ} \cdot \frac{n_{ZZ}}{R_{ZZ}}}, \quad (5.13)$$

$$R_{3Y} = \frac{1}{0,318 \cdot \left(\frac{1}{0,456} + \frac{36}{132,3} \right) + 0,8 \cdot \frac{35}{22,26}} = 0,491 \text{ Ом}$$

Расчетное сопротивление заземляющего устройства составляет 0,491 Ом, что меньше требуемого значения 0,5 Ом.

5.3 Мероприятия по молниезащите

Защита оборудования и сооружений от прямых ударов молнии на ПС 220 кВ Строительная осуществляется с помощью молниеотводов на базе высокомагтовой опоры освещения с мобильной короной. Мероприятия по защите ПС от прямых ударов молнии разработаны в соответствии с СО 153-34.21.122-2003 «Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций, при этом соблюдаются соответствующие требования подраздела «Защита от грозовых перенапряжений» ПУЭ 7-ое издание.

Расчет зон молниезащиты произведен в соответствии с «Инструкцией по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций» СО 153-34.21.122-2003.

По устройству молниезащиты ОПУ относится к III категории (должен быть защищён от прямых ударов молнии и заноса высокого потенциала через наземные (надземные) металлические коммуникации).

Для ОПУ в качестве молниеприемника используется металлическая кровля здания. Токоотводы из полосовой стали 40x5 мм от металлической кровли зданий к заземлителю ПС прокладываются по стенам с наружной стороны зданий не реже чем через каждые 25 м по периметру. Токоотводы следует

располагать не ближе, чем 3 м от входов или местах, не доступных для проникновения людей.

Защита силового оборудования, силовых трансформаторов Т-1 (Т-2) и технологического оборудования от волн перенапряжений выполняется ограничителями перенапряжений (ОПН). [1]

Расстановка защитных аппаратов и выбранные характеристики ОПН обеспечивают достаточно надежную защиту от перенапряжений основного проектируемого оборудования ПС. [1]

Координационный интервал, определяемый разницей между допустимым напряжением на изоляции и остающимся напряжением на ОПН, составляет не менее 20% (по отношению к допустимому напряжению). [1]

Для контроля тока утечки все ОПН 220 кВ оснащаются датчиками тока или системой мониторинга, в зависимости от производителя ОПН.

План молниезащиты ПС 220 кВ Строительная представлен в графической части Листа 5.

6 ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

6.1 Выбор фирмы производителя и марки МПРЗ

Среди множества фирм производителей устройств РЗА были выбраны устройства фирм НПП «ЭКРА». Марки выбранных микропроцессорных терминалов, а также поставляемые комплектующие и ПО приведены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Марки выбранных микропроцессорных терминалов

Фирма изготовитель	Марка терминала	Количество, шт	Цена за шт, руб.
1	2	3	4
НПП «ЭКРА»	ШЭ 2607 085	2	690000
НПП «ЭКРА»	ШЭ 2607 021	2	987000
НПП «ЭКРА»	ШЭ 2607 011	3	154934
ПО и документация	НПП «ЭКРА»	7	63248

6.2 Капиталовложения в реализацию проекта

Капитальные вложения необходимые на установку РЗА состоят из стоимости устанавливаемого оборудования, стоимости строительно-монтажных работ и прочих затрат.

$$K_{\Sigma} = (K_{\text{обр}} + K_{\text{СМР}} + K_{\text{пр}}) \cdot k_{\text{инф}}, \quad (6.1)$$

где $K_{\text{обр}}$ - сметная стоимость оборудования без учета строительно-монтажных работ, тыс. руб.;

$K_{\text{СМР}}$ - строительно-монтажные работы, тыс. руб.;

$K_{\text{пр}}$ - прочие затраты;

$k_{\text{инф}}$ - коэффициент инфляции.

Таблица 6.2 - Данные по структуре капиталовложений в электросетевом строительстве

Наименование объекта	Капиталовложения в строительство, %			
	Всего	Оборудование, приспособления и производственный инвентарь	Строительно-монтажные работы	Прочие затраты
РЗ открытых и закрытых электрических подстанций напряжением 110-750 кВ, включая ПС 110/20/10 кВ	100	51	37	12

Рассчитаем сметную стоимость оборудования без учета строительно-монтажных работ.

$$K_{обр} = (690000 \cdot 2 + 987000 \cdot 2 + 154934 \cdot 3 + 63248 \cdot 7) \cdot 3,8 = 16910000 \text{ руб.}$$

Так как стоимость оборудования составляет 51% от общих капиталовложений в установку оборудования, определим общие капиталовложения, капиталовложения на строительно-монтажные работы и прочие капиталовложения.

Общие капиталовложения:

$$K_{\Sigma} = \frac{K_{обр}}{0,51} = \frac{16910000}{0,51} = 33150000 \text{ руб.}$$

Капиталовложения на строительно-монтажные работы:

$$K_{СТР} = 0,37K_{\Sigma} = 0,37 \cdot 16230000 = 12260000 \text{ руб.}$$

Прочие капиталовложения:

$$K_{ПР} = 0,12K_{\Sigma} = 0,12 \cdot 16230000 = 13978000 \text{ руб.}$$

6.3 Расчёт эксплуатационных издержек

Издержки любого из энергетических объектов будут состоять из амортизационных отчислений и эксплуатационных издержек на ремонт и эксплуатацию оборудования.

$$И = И_{р\text{э}} + И_{\text{ам}} \quad (6.2)$$

Амортизационные отчисления - денежное выражение стоимости основных фондов в себестоимости продукции; для *i*-го вида оборудования (или программных средств) определяются по формуле

$$И_{\text{ам}} = \frac{K}{T_{\text{сл}}}, \quad (6.3)$$

где K – капиталовложения;

$T_{\text{сл}}$ – срок службы оборудования ($T_{\text{сл}} = 20$ лет).

Ежегодные затраты на КР и ТР, а также ТО энергетического оборудования определяются по формуле

$$И_{р\text{э}} = \alpha_{ор\text{э}} \cdot K, \quad (6.4)$$

где $\alpha_{ор\text{э}}$ – нормы ежегодных отчислений на ремонт и эксплуатацию оборудования ($\alpha_{ор\text{э}} = 0,0155$)

Рассчитаем эксплуатационные издержки:

$$И = \alpha_{ор\text{э}} \cdot K + \frac{K}{T_{\text{сл}}} = 0,0155 \cdot 16910000 + \frac{16910000}{20} = 1107000 \text{ руб.}$$

6.4 Стоимость оценки результатов

Для нового строительства такая оценка не представляет затруднений и определяется в зависимости от объемов продаж электроэнергии потребителю в год t по формуле:

$$O_{pt} = W_i \cdot T_i, \quad (6.5)$$

где $W_i = 520000 \text{ МВт}\cdot\text{ч}$ – полезно отпущенная потребителю электроэнергия;
 T_i - тариф на передачу электроэнергии, руб./МВт·ч;

$$O_{pt} = W_i \cdot T_i = 520000 \cdot 284,4 = 2954 \text{ млн. руб}$$

Определим срок окупаемости инвестиций в данный проект.

$$T_{ок} = \frac{16,905}{2954} = 0,006 .$$

В результате реализации технико-экономической оценки был сделан вывод о скорейшей окупаемости проекта. Сам по себе процесс установки устройств сохранения надежности, а именно, устройств РЗА, приводит к уменьшению недоотпуска электрической энергии и сохранению надежных поставок, а значит, стабильному доходу предприятия электроэнергетики.

7 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ

К работам на трансформаторных подстанциях предъявляются повышенные требования в области безопасности труда. Персоналу необходимо пройти обучение безопасным методам труда, вводный инструктаж по безопасности труда, первичный инструктаж на рабочем месте, первичную проверку знаний ПТБ, ПТЭ, правил пожарной безопасности и инструкций в объеме, необходимом для данной профессии [13].

В процессе работы персонал по обслуживанию трансформаторных подстанций должен проходить повторные инструктажи (не реже 1 раза в месяц), специальную подготовку, контрольную противоаварийную тренировку, контрольную противопожарную тренировку, периодическую проверку знаний ПТБ, ПТЭ, правил пожарной безопасности и инструкций, а также медицинский осмотр [13].

Инструменты и экипировка персонала должна быть исправна и находиться на своих местах.

7.1 Охрана труда на ПС 220 кВ Строительная

В соответствии с требованиями для обеспечения нормальных условий труда предусматривается: [1]

– компоновка подстанции, обеспечивающая возможность применение при ремонтах и эксплуатационном обслуживании автокранов, телескопических вышек, инвентарных устройств и средств малой механизации;

– рабочее и аварийное освещение;

– отопление ОПУ;

– электромагнитная блокировка коммутационных аппаратов, исключающая ошибочные действия персонала при оперативных переключениях.

7.2 Экологичность

При строительстве ПС, необходимо определить уровень звука в ближайшей точке на границе территории прилегающей к ПС, создаваемый источниками шума (ТМ) и сделать вывод о его соответствии санитарно-

гигиеническим требованиям. Если есть превышение, то необходимо разработать мероприятия по уменьшению шума

Перечень источников шумового воздействия в период эксплуатации приведён в таблице 7.1 [16].

Таблица 7.1 – Перечень источников шума в период эксплуатации

Наименование	Количество	Номер источника шума	Шумовая хар-ка, дБА
Трансформатор силовой масляный ТДН-40000/10 ХЛ1	2	ИШ №1-2	97,0

Произведем необходимые расчеты.

Допустимый уровень шума для территорий, непосредственно прилегающих к зданиям гостиниц и общежитий составляет: 50 дБА.

Для трансформатора с принудительной циркуляцией воздуха и естественной циркуляцией масла (системы охлаждения видов Д) уровень звуковой мощности составляет (при $S_{\text{ном}} = 40 \text{ МВА}$, $U_{\text{ном}} = 220 \text{ кВ}$) [16]:

$$L_{PA} = 97 \text{ дБА};$$

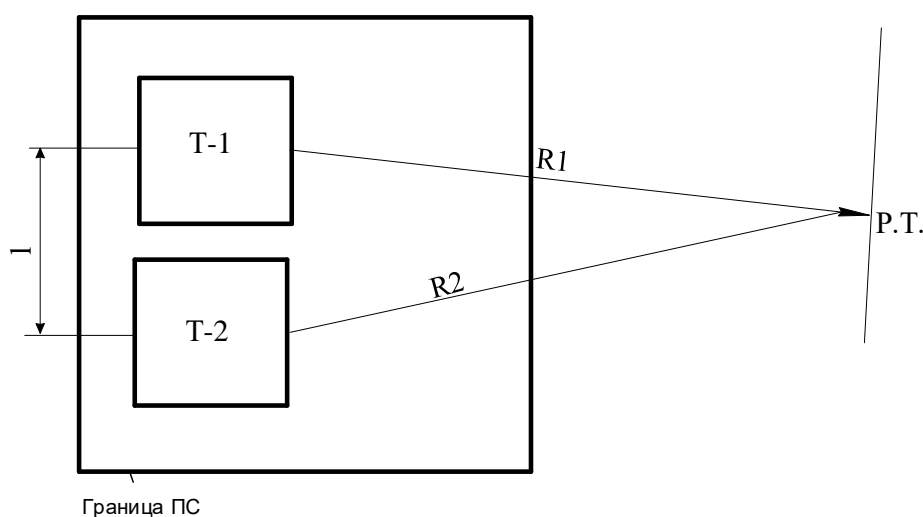


Рисунок 7.1 – Схема расположения трансформаторов и расчетной точки

1) Т.к. расстояние между трансформаторами l небольшое и $R_1 \gg l, R_2 \gg l$ то два и более источника можно заменить одним. При этом его скорректированный уровень звуковой мощности будет равен:

$$L_{WAS} = 10 \cdot \lg \sum_{i=1}^n 10^{0,1 \cdot L_{WAi}}; \quad (7.1)$$

$$L_{WAS} = 10 \cdot \lg \sum_{i=1}^n 10^{0,1 \cdot 97} = 100,01 \text{ дБА}$$

где n – количество источников шума (ТМ);

L_{WAi} – скорректированный уровень звуковой мощности i -го источника шума, дБА;

2) На границе жилой застройки уровень звука должен равен допустимому уровню звука $L_A(R) = DV_{LA}$. Тогда $R = R_{\min}$ / Минимальное расстояние от источников шума на ПС до границы прилегающей территории:

$$R_{\min} = \sqrt{\frac{10^{0,1 \cdot (L_{WAS} - DV_{LA})}}{2\pi}}; \quad (7.2)$$

$$R_{\min} = \sqrt{\frac{10^{0,1 \cdot (100,01 - 50)}}{2\pi}} = 126,306 \text{ м.}$$

Любое $R \geq R_{\min}$ будет обеспечивать соблюдение санитарных норм по шуму на прилегающей к ПС территории. В данном случае реализуется принцип «защита расстоянием», а $R_{\min} = L_{CЗ}$ санитарно-защитная зона (СЗЗ) по шуму. Исходя из расчетов, минимальное расстояние от источников шума на ПС до границы, прилегающей территории будет равным 126,306 м.

7.3 Пожарная безопасность

Основную пожарную опасность в технологических процессах приема, трансформации, распределения и передачи электроэнергии на ПС 220 кВ Строительная представляет электрооборудование высокого напряжения, в котором обращается технологическая жидкость – трансформаторное масло [18].

Трансформаторное масло предназначено для изоляции находящихся под напряжением частей и узлов силового трансформатора, отвода тепла от нагреваемых при работе трансформатора частей, а также предохранения изоляции от увлажнения. Трансформаторное масло является горючим веществом.

В соответствии с классификацией 116-ФЗ Приложение 1 пункт в), горючие вещества – жидкости, способные самовозгораться, а также возгораться от источника зажигания и самостоятельно гореть после его удаления [18].

Физико-химические свойства трансформаторного масла:

- Тип масла: Т-750 по ГОСТ 982-80;
- Плотность 895 кг/м³;
- Температура застывания (-550 С);
- Температура кипения (3000 С);
- Температура вспышки 135-1400 С;
- Температура воспламенения 135-1630 С;
- Температура самовоспламенения 2700 С;
- Удельная теплота сгорания $q_g = 44 \cdot 10^6$ Дж/кг;
- Снкпр = 0,47% (об);
- Нижний температурный предел распространения пламени 1250 С;
- Верхний температурный предел распространения пламени 1930 С.

При пожаре на подстанции возникают следующие опасные факторы пожара [18].:

- пламя и искры;
- повышенная температура окружающей среды;
- токсичные продукты горения и термического разложения;
- дым;
- пониженная концентрация кислорода.

Вторичные проявления опасных факторов пожара [18].:

- осколки, части разрушившихся аппаратов, агрегатов, установок, конструкций;

– электрический ток, возникший в результате выноса высокого напряжения на токопроводящие части конструкций, аппаратов, агрегатов.

Наиболее тяжелым повреждением трансформатора является внутреннее короткое замыкание (КЗ). Как показал анализ, повреждения, вызванные внутренними КЗ, имели место при повреждениях обмоток в 80 % случаев общего числа повреждений обмоток, при повреждениях высоковольтных вводов – 89 %, при повреждениях РПН - 25 % и при повреждениях прочих узлов – 36 % соответственно, включая ошибки при монтаже, ремонте и эксплуатации.

Из зафиксированных случаев повреждений трансформаторов с внутренними короткими замыканиями 15 % сопровождались взрывами и пожарами. Эти повреждения в основном были вызваны повреждениями РПН, обмоток и высоковольтных вводов.

7.3.1 Описание системы предотвращения пожара на ПС 220 кВ Строительная.

Система предотвращения пожара достигается предотвращением образования горючей среды и предотвращением образования в горючей среде источников зажигания [33].

Предотвращение образования горючей среды обеспечивается следующими способами:

а) максимально возможным применением негорючих веществ и материалов:

– для несущих строительных зданий применен стальной каркас, обшитый негорючими сэндвич панелями с требуемым пределом огнестойкости, для конструкций ячейковых порталов – сталь.

б) максимально возможным по условиям технологии ограничением массы и объема горючих веществ:

– на подстанции предусматривается регулярная очистка территории подстанции (в том числе срезка травы), а также помещений, коммуникаций, аппаратуры от горючих отходов, отложений пыли и т.п.

в) максимальной механизацией и автоматизацией технологических процессов, связанных с обращением горючих веществ:

– все технологические процессы управления маслonaполненным оборудованием автоматизированы. Параметры работы маслonaполненного оборудования, в том числе сигналы о неисправности, передаются на щит управления диспетчера.

г) установкой пожароопасного оборудования по возможности в изолированных помещениях или на открытых площадках:

– все существующие наиболее пожароопасное оборудование – силовые трансформаторы, в которых обращается пожароопасное вещество (трансформаторное масло), - вынесено на открытые площадки.

Предотвращение образования в горючей среде источников зажигания достигается применением следующих способов [18]:

а) применением электрооборудования, соответствующего пожароопасной и взрывоопасной зонами, группе и категории взрывоопасной смеси в соответствии с требованиями 123-ФЗ.

Технические устройства, в том числе иностранного производства, применяемые на опасном производственном объекте, подлежат сертификации на соответствие требованиям промышленной безопасности в установленном законодательством Российской Федерации порядке. Перечень технических устройств, применяемых на опасных производственных объектах и подлежащих сертификации, разрабатывается и утверждается в порядке, определяемом Правительством Российской Федерации.

б) применением оборудования и режимов проведения технологического процесса, исключающих образование статического электричества;

Заземление электрооборудования в пожароопасных зонах выполняется в соответствии с гл. 1.7 ПУЭ. Заземляющее устройство выполнено по норме на допускаемое сопротивление растеканию в соответствии с требованиями пунктов 1.7.90, 1.7.92, 1.7.93 ПУЭ седьмого издания.

Все металлические части устанавливаемого электрооборудования, которые могут оказаться под напряжением при нарушении изоляции, присоединяются к заземляющему устройству.

Сопrotивление заземляющего устройства в любое время года не должно превышать 0,5 Ом, при этом напряжение на заземляющем устройстве не должно превышать 5000 В.

Питание электроприемников осуществляется от сети 380/220 В с системой заземления TN-S.

Защита оборудования от прямых ударов молнии осуществляется при помощи отдельно стоящих молниеотводов и молниеотводов, устанавливаемых на ячейковых порталах в соответствии с инструкцией по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций.

в) применением средств управления и отключения устанавливаемого оборудования.

– для защиты от повреждений и аварий производственного оборудования с горючими веществами предусмотрена установка быстродействующих средств отключения возможных источников зажигания.

7.3.2 Описание системы противопожарной защиты ПС 220 кВ Строительная

Система противопожарной защиты подстанции обеспечивается следующими способами [26]:

а) применением строительных конструкций и материалов с нормируемыми показателями пожарной опасности. Объемно-планировочные решения зданий обеспечивают эвакуацию персонала до наступления предельно допустимых значений опасных факторов пожара. Предусмотрено необходимое количество эвакуационных путей и выходов [26].

б) применением средств, ограничивающих распространение пожара за пределы очага, а именно [26]:

Устройство противопожарных преград.

Кабельные линии следует уплотнять с пределом огнестойкости не менее EI 45 (рекомендуется принять EI 60) в следующих местах [26]:

- при входе в кабельные сооружения;
- при прохождении через каждую отметку основного перекрытия, а также через каждые 20 м на протяженных вертикальных участках кабельных коробов;

– через каждые 30 м горизонтальных участков кабельных коробов, а также в местах примыкания (ответвления) других коробов;

– при проходке кабельных линий через стены, перегородки и перекрытия.

Прокладка кабелей по открытой части подстанции предусматривается в поверхностных сборных железобетонных лотках, которые закрываются съемными железобетонными плитами.

Предусматривается отдельная прокладка силовых кабелей и вторичных цепей управления, измерения и сигнализации с соблюдением требований СТО 56947007-29.240.043-2010.

Предусмотрено использование кабельной продукции АВВГнг-LS, ВВГнг-FRLS, КВВГнг(А)-LS, КВВГЭнг(А)-LS с ПВХ изоляцией, не поддерживающей горение и с пониженным дымо- и газовыделением при пожаре, с наличием сертификата государственного образца категории «А» (для групповой прокладки кабелей) [26].

Прокладка взаиморезервирующих кабелей от присоединений, подключаемых к разным секциям щита СН, предусматривается разными трассами [26].

Для защиты кабелей от возгорания и распространения горения кабельных линий управления, защиты автоматики, электропитания в местах, где наиболее вероятны механические повреждения или воздействия тепловых и огневых источников, кабели покрываются огнезащитным составом согласно «Правилам применения огнезащитных кабелей на энергетических предприятиях».

В соответствии со ст. 4.2.69 ПУЭ, для предотвращения растекания масла и распространения пожара при повреждениях маслonaполненных силовых трансформаторов предусмотрены маслоприемники, маслоотводы и маслосборники.

Объем маслоприемника рассчитан на единовременный прием 100% масла, залитого в трансформатор.

Габариты маслоприемника выступают за габариты трансформатора не менее, чем на 1,5 м.

Маслоприемники с отводом масла выполнены с установкой металлической решетки, поверх которой насыпан щебень. Щебень играет роль огнепреградителя против распространения пожара через маслоотводы в маслосборник.

7.3.3 Описание и обоснование проектных решений по обеспечению безопасности людей при возникновении пожара

Подстанция проектируется без постоянно присутствующего эксплуатирующего персонала.

Защита людей от воздействия опасных факторов пожара и ограничение последствий их воздействия обеспечиваются следующими способами:

В зданиях подстанции:

1) Применение объемно-планировочных решений зданий подстанции, обеспечивающих ограничение распространения пожара за пределы очага;

В помещениях высота от пола до низа выступающих конструкций перекрытия должна быть не менее 2,2 м [18].

Помещения по функциональной пожарной опасности, отличные от Ф 5.1, коридоры, а также помещения с различной категорией по пожарной опасности отделены друг от друга противопожарными перегородками I типа, что соответствует требованиям п. 6.2.10 СП 4.13130-2009 г [18].

В местах сопряжения противопожарных преград с ограждающими конструкциями здания, в том числе в местах изменения конфигурации здания, предусмотрены мероприятия, обеспечивающие нераспространение пожара, минуя эти преграды.

2) Устройство эвакуационных путей, удовлетворяющих требованиям безопасной эвакуации людей при пожаре.

Здание ОПУ:

В здании предусмотрено 2 эвакуационных выхода шириной 1,5 м, высотой 2,1 м. Ширина коридоров в здании ОПУ = 2 м и принята в зависимости от общей численности людей, эвакуирующихся через этот выход, и численности людей на 1 м ширины выхода (двери). Ширина тамбуров принята более ширины проемов не менее чем на 0,5 м (по 0,25 м с каждой стороны проема), а глубину – более

ширины дверного или воротного полотна на 0,2 м и более, но менее 1,2 м, что соответствует требованиям ст. 9.2.11 СП 1.13.140-2009 г [26].

В соответствии с п. 4.2.6 б) СП 1.13130-2009 г., направление открывания дверей на путях эвакуации может не нормироваться для помещений с одновременным пребыванием не более 15 человек [26].

Для безопасной эвакуации обеспечено беспрепятственное движение людей по путям эвакуации и через эвакуационные выходы.

Здание КРУН 10 кВ:

В здании предусмотрено 2 эвакуационных выхода шириной 1,5 м, высотой 2,1 м.

3) Устройство систем обнаружения пожара (установок и систем пожарной сигнализации), оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре;

Здания подстанции оборудованы системами пожарной сигнализации и оповещения и управления эвакуацией при пожаре.

4) Применение основных строительных конструкций с пределами огнестойкости и классами пожарной опасности, соответствующими требуемым степени огнестойкости и классу конструктивной пожарной опасности зданий и сооружений, а также ограничение пожарной опасности поверхностных слоев строительных конструкций на путях эвакуации [18];

5) Применение первичных средств пожаротушения Помещения с категорией «В» оснащаются ручными огнетушителями. В помещениях с категорией «Д» при площади менее 100,0 м² ручные огнетушители не предусмотрены [27]

В проектируемых зданиях и наружных установках возможен класс пожара А или Е, для тушения применяются огнетушители с массой порошка 8 и более килограмм [27].

Размещение огнетушителей, а также их количество уточняется и утверждается руководством соответствующего подразделения объекта [27].

К применению приняты углекислотные огнетушители марки «ОУ и ОП».

Для контроля состояния первичных средств пожаротушения должны быть назначены ответственные лица.

Здания согласно Приложению 5 Постановления Правительства № 390-ФЗ «О противопожарном режиме» оборудуются пожарными щитами ЩП-Е.

На данных пожарных щитах располагаются следующие первичные средства пожаротушения [18]:

- крюк с деревянной рукояткой;
- комплект для резки электропроводов (ножницы, диэлектрические боты и коврик);
- асбестовое полотно, грубошерстная ткань или войлок (кошма, покрывало из негорючего материала);
- лопата совковая;
- ящик с песком 0,5 м³.

На площадке, где установлены силовые трансформаторы предусматривается установка ящиков с песком объемом не менее 0,5 м³, а также пожарные щиты ЩП-Е [18].

На территории ОРУ:

1) Устройство аварийного слива пожароопасных жидкостей из трансформаторов.

7.4 Мероприятия по предупреждению чрезвычайных ситуаций техногенного и природного характера

Технические и конструктивные решения по строительству ПС приняты на основании действующих нормативных документов и с учетом специфических условий застраиваемой территории:

- 6 балльной сейсмичности;
- грунтовых условий площадки;
- климатических данных.

Аварийными ситуациями на ПС являются: пожар, повреждения силовых трансформаторов, высоковольтного оборудования, силовых кабелей и потеря питания собственных нужд 0,4 кВ.

В случае пожара предусмотрены следующие мероприятия:

- эксплуатация электрооборудования в соответствии с ПУЭ и Правилами пожарной безопасности для энергетических предприятий;

- оснащение ПС средствами пожаротушения;
- проведение противопожарных инструктажей с персоналом, осуществляющим обслуживание ПС [18];
- устанавливаемые масляные трансформаторы оборудованы маслоприемниками, днища которых засыпаны гравием. При тушении в маслоприемник, затем по системе маслопроводов в герметичный маслосборник поступает масло и вода, используемая для тушения. Таким образом, предотвращается загрязнение почвы.

В случае аварийного режима работы ПС 220 кВ Строительная предусмотрены следующие мероприятия, а также с учетом мероприятий, применяемых настоящими проектными решениями:

- секционированием распределительных устройств 220, 110, 10 кВ;
- в случае выхода из строя одного из силовых трансформаторов, питание РУ осуществляется от оставшихся в работе силовых трансформаторов, при этом обеспечивается выдача мощности потребителям в полном объеме;
- в случае выхода из строя одного из трансформаторов собственных нужд, питание потребителей 0,4 кВ собственных нужд ПС осуществляется от оставшихся в работе трансформаторов.

Для предотвращения развития аварийных ситуаций, связанных с повреждением силовых трансформаторов и высоковольтного оборудования на ПС предусмотрено:

- установка нелинейных ограничителей перенапряжений и разрядников 220, 110, 10 кВ;
- устройство молниезащиты;
- секционирование распределительных устройств 220, 110, 10 кВ;
- система удаления масла при аварии на силовых трансформаторах;
- контроль состояния системы маслоулавливания;
- мощность каждого из силовых трансформаторов является такой, чтобы при отключении одного из них на время ремонта или замены, оставшиеся в работе, с учётом допустимой перегрузки, обеспечивал питание потребителей.

Для предотвращения развития аварийных ситуаций, связанных с повреждениями силовых кабелей предусмотрены следующие мероприятия, а также с учетом мероприятий, применяемых настоящими проектными решениями:

- отдельная прокладка взаиморезервируемых силовых кабелей и кабелей разного класса напряжения;
- применение кабелей с изоляцией, не распространяющей горение (нг-LS, нг- FRLS);
- применение огнезащитной терморасширяемой пасты на основе воднополимерной дисперсии с функциональными минеральными и органическими наполнителями, для защиты кабелей.

Для предотвращения развития аварийных ситуаций, связанных с повреждениями собственных нужд 0,4 кВ предусмотрены следующие мероприятия, а также с учетом мероприятий, применяемых настоящими проектными решениями:

- установкой ТСН;
- Аварийный дизель-генератор 0,4 кВ.

Принятые решения обеспечивают безаварийную работу проектируемого объекта в расчетном режиме.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В представленной выпускной квалификационной работе было произведено проектирование устройств РЗА ВЛ 220 кВ Свободненская ТЭС – Строительная. Заходы на вновь проектируемую ПС выполнены по ВЛ 220 кВ Свободненская ТЭС – Новокиевка. Проектируемая ПС расположена в центральном районе Амурской области. Строительство ПС 220 кВ Строительная вызвано необходимостью обеспечить надежное электроснабжение нужд Филиала АО «ГазПром».

Подстанция располагается за пределами ограждения ПС 220 кВ Строительная. Исполнение Подстанции принято в виде КРУН и открытой установкой двух силовых трансформаторов напряжением 220/10 кВ мощностью 40 МВА. Выключатели 220 кВ приняты элегазовые. Для обслуживания выключателей используются специальные площадки. Здание ОПУ принято модульного типа с помещением для оперативного персонала (без постоянного пребывания персонала), оборудованное средствами связи.

Ошиновка открытой части 220 кВ – гибкая.

Питание сети собственных нужд предусматривается от двух трансформаторов собственных нужд напряжением 10/0,4 кВ, установленных в комплектных одностранформаторных подстанциях наружной установки на территории ПС 220 кВ.

Для освещения ПС предусматривается установка прожекторной мачты на территории ОРУ. Молниезащита выполняется молниеотводами, установленными на прожекторной мачте.

Защита от грозовых и коммутационных перенапряжений принята с помощью ОПН, установленных вблизи силовых трансформаторов со стороны высокого и низкого напряжения. Заземляющее устройство подстанции принято в виде сетки из горизонтальных заземлителей и вертикальных электродов. Расчетное сопротивление заземляющего устройства составляет 0,491 Ом, что меньше требуемого значения 0,5 Ом.

Оборудование, расположенное на ОРУ, устанавливается на блочные металлоконструкции повышенной заводской готовности. Защитное покрытие металлоконструкций выполнено методом горячего цинкования.

В части проектирования устройств РЗА ВЛ 220 кВ были выбраны микропроцессорные терминалы защит на базе фирмы ЭКРА. Расчёт уставок выбранных защит осуществлён согласно действующим руководящим указаниям и рекомендациям фирм-изготовителей. В проекте рассматриваются вопросы выполнения комплексов релейной защиты с использованием многофункциональных микропроцессорных устройств релейной защиты и автоматики элементов ПС. Определяющим при выборе принципов и типов устройств РЗА являлось выполнение основных требований, предъявляемых к их функционированию (селективность, быстродействие, чувствительность и надёжность), а также выполнение действующих нормативных и директивных документов.

В результате проведения технико-экономической оценки был сделан вывод о скорейшей окупаемости проекта. Сам по себе процесс установки устройств сохранения надежности, а именно, устройств РЗА, приводит к уменьшению недоотпуска электрической энергии и сохранению надежных поставок, а значит, стабильному доходу предприятия электроэнергетики.

Были рассмотрены вопросы охраны труда на ПС, безопасности и экологичности. В части экологической безопасности был произведен расчет производимого шума силовых трансформаторов. Были рассмотрены вопросы пожарной безопасности, мероприятий по предупреждению чрезвычайных ситуаций техногенного и природного характера.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Правила устройства электроустановок. Минэнерго РФ. – 7 изд.; Перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 2003. – 464с.
- 2 Электротехнический справочник Т.3 / В. Г. Герасимов, П. Г. Грудинский, В. А. Лабунцов и др. – М.: Энергоатомиздат, 2002. – 964с.
- 3 РД 153-34.0-20.527-98 «Руководящие указания по расчёту токов короткого замыкания и выбору электрооборудования». – Введ. 23.03.1998 г. – М.: Московский энергетический институт. – 152с.
- 4 Руководящие указания по релейной защите. Вып. 11. Расчёты токов короткого замыкания для релейной защиты и системной автоматики в сетях 110-750 кВ. – М.: Энергия, 1979. – 154 с.
- 5 ГОСТ Р 52735-2007 Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчёта в электроустановках переменного тока напряжением свыше 1 кВ. – 8с.
- 6 Рожкова, Л.Д. Электрооборудование станций и подстанций / Л.Д. Рожкова, В.С. Козулин. – М: Энергоатомиздат, 1987. – 487с.
- 7 РД 153-34.3-35.125-99 «Руководство по защите электрических сетей 6 – 1150 кВ от грозových и внутренних перенапряжений». – Введ. 12.07.1999. – СПб.: Издательство ПЭИПК. – 44с.
- 8 Попов, Е.Н. Механическая часть воздушных линий электропередач: учебное пособие. / Е.Н. Попов. - Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 1999. – 27с.
- 9 Неклепаев, Б. Н. Электрическая часть электростанций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования / Б. Н. Неклепаев, И. П. Крючков. - М.: Энергоатомиздат, 1989. – 633с.
- 10 Козлов, А.Н. Релейная защита и автоматика: учебное пособие / А.Н. Козлов, Ю.А. Ротачёв. – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2006. – 49с.
- 11 СТО 56947007-29.12070.99-20-2011 «Методические указания по выбору параметров срабатывания устройств РЗА подстанционного оборудования производства ООО НПП «ЭКРА». – Дата введения: 13.09.2011 г.

12 Шабад, М. А. Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей: Монография / М. А. Шабад. - 4-е изд., перераб. и доп. - СПб.: ПЭИПК, 2003. – 350с.

13 Приказ Минтруда России от 15.12.2020 N 903н "Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок" (Зарегистрировано в Минюсте России 30.12.2020 N 61957)

14 Файбисович, Д. Л. Укрупненные стоимостные показатели сетей 35 – 1150 кВ / Д. Л. Файбисович, И. Г. Карапетян. – М.: НТФ Энергопрогресс, 2003. – 374с.

15 Судаков, Г. В. Оценка экономической эффективности проектов по строительству и модернизации систем электроснабжения объектов: учеб. – метод. пособие / Г. В. Судаков, Т. А. Галушко. – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2006. – 496с.

16 Булгаков А. Б. Безопасность жизнедеятельности: методические рекомендации к практическим занятиям / А.Б. Булгаков. – Благовещенск: Изд-во АмГУ, 2014. – 54с

17 Ананичева, С.С. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования / С.С. Ананичева, А.Л.Мызин, С.Н.Шелюг. – Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ – УПИ, 2005. – 47с.

18 Федеральный закон Российской Федерации от 22.07.2008 г. N 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»

19 ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ «Пожарная безопасность. Общие требования». – 60с.

20 СО 153-34.21.122-2003 «Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций»

21 Федеральный закон от 10.01.2002 г. № 7-ФЗ (ред. от 13.07.2015 г.) «Об охране окружающей среды». – 54с.

22 ГОСТ 12.2.024-87 «Шум. Трансформаторы силовые масляные» . – 14с.

23 СП 51.13330.2011. Защита от шума. Актуализированная редакция. – 69с.

- 24 СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов». – 46с.
- 25 Стандарт организации ПАО «ФСК ЕЭС» СТО 56947007-29.240.30.010-2008 схемы принципиальные электрические распределительных устройств подстанций 35-750 кв. Типовые решения. – 23с.
- 26 СП 3.14130.2009 «Системы противопожарной защиты. Система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре. Требования пожарной безопасности» (утв. Приказом МЧС РФ от 25.03.2009 г. № 173)
- 27 СП 9.13130.2009 «Техника пожарная. Огнетушители. Требования к эксплуатации» (утв. Приказом МЧС РФ от 25.03.2009 г. № 179)
- 28 СП 12.13130.2009 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности» (утв. Приказом МЧС РФ от 25.03.2009 г. № 182) (ред. от 09.12.2010 г.)
- 29 СО 153-34.21.122-2003 (РД 34.21.122-87) «Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций» (утв. Приказом Минэнерго России от 30.06.2003 г. № 280)
- 30 СО 34.03.450-98 (РД 34.03.450-98) «Перечень помещений и зданий энергетических объектов РАО «ЕЭС России» с указанием категорий по взрывопожарной и пожарной опасности» (утв. РАО «ЕЭС России» от 10.02.1998 г.)
- 31 РД 78.145-93 «Системы и комплексы охранной, пожарной и охранно-пожарной сигнализации. Правила производства и приемки работ» (согласовано СПАСР МВД РФ от 12.01.1993 г. № 20/4/28)
- 32 СО 34.35-125-99 (РД 153-34.3.45.125-99) «Руководство по защите электрических сетей 6-1150 кВ от грозовых и внутренних перенапряжений» (утв. РАО «ЕЭС России» от 12.07.1999 г.)
- 33 СО 34.0-49.101-2003 (РД 153-34.0-49.101-2003) «Инструкция по проектированию противопожарной защиты энергетических предприятий» (утв. РАО «ЕЭС России» от 21.05.2003 г.)

34 РД 78.145-93 «Системы и комплексы охранной, пожарной и охранно-пожарной сигнализации. Правила производства и приемки работ» (согласовано СПАСР МВД РФ от 12.01.1993 г. № 20/4/28)

35 О повреждениях силовых трансформаторов напряжением 110 - 500 кВ в эксплуатации Ванин Б.В., канд. техн. наук, Львов Ю.Н., доктор техн. наук, Львов М.Ю., канд. техн. наук, Неклепаев Б.Н., доктор техн. наук, Днтипов К.М., канд. техн. наук, Сурба А.С., инж., Чичинский М.И., канд. техн. наук АО ВНИИЭ - МЭИ (ТУ) - РАО "ЕЭС России". – 5с.