

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Хакасский технический институт – филиал ФГАОУ ВО
«Сибирский федеральный университет»
институт
«Электроэнергетика»
кафедра

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
Г.Н. Чистяков
подпись инициалы, фамилия
« ____ » _____ 2020 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»
код- наименование направления

Реконструкция ОРУ-220 кВ ПС «Сора».
тема

Руководитель _____ доцент каф. ЭЭ, к.т.н. Е.В. Платонова
подпись, дата должность, ученая степень инициалы, фамилия

Выпускник _____ В.В. Ильичев
подпись, дата инициалы, фамилия

Нормоконтролер _____ Кычакова И.А.
подпись, дата инициалы, фамилия

Абакан 2020

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Хакасский технический институт – филиал ФГАОУ ВО
«Сибирский федеральный университет»
институт
Электроэнергетика
кафедра

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ Г.Н. Чистяков
подпись инициалы, фамилия
« _____ » _____ 2020г.

**ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
в форме бакалаврской работы**

Студенту Ильичеву Василию Викторовичу

фамилия, имя, отчество

Группа ЗХЭн 15-01 (З-15)

Направление (специальность) 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Код

наименование

Тема выпускной квалификационной работы Реконструкция ОРУ-220 кВ ПС «Сора».

Рабочие токи и токи КЗ предоставлены организацией.

Утверждена приказом по университету № 306 от 03.06.2020 г.

Руководитель ВКР Е.В. Платонова, доцент каф. ЭЭ, к.т.н., декан ЭФ

инициалы, фамилия, должность, ученое звание и место работы

Перечень разделов ВКР:

Введение

- 1 Характеристика, анализ надёжности работы объекта проектирования
- 2 Выбор выключателей и разъединителей
- 3 Выбор трансформаторов тока и напряжения
- 4 Замена устройств релейной защиты и автоматики
- 5 Выбор ВЧЗ, КС, фильтров присоединения и ОПН
- 6 Конструктивное исполнение.
- 7 Оценка стоимости реконструкции ПС

Заключение

Список использованных источников

Перечень графического материала

1. Схема однолинейная ПС
2. Ячейка В-1АТ первой секции, Ячейка В-2АТ второй секции
3. Структурно-функциональная схема комплекта ступенчатых защитВЛ 220

Руководитель ВКР

/ Е. В. Платонова
(подпись, инициалы и фамилия)

Задание принял к исполнению

/ В.В.Ильичев
(подпись, инициалы и фамилия студента)

25 февраля 2020 г.

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Реконструкция ОРУ 220 кВ ПС Сора» содержит 56 страниц текстового документа, 33 использованных источников, 3 листа графического материала.

РЕКОНСТРУКЦИЯ, ПОДСТАНЦИЯ, ОТКРЫТОЕ
РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО, ВЫКЛЮЧАТЕЛЬ,
РАЗЪЕДИНИТЕЛЬ, ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ТРАНСФОРМАТОР, РАСЧЕТ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК, РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКОГО
ЗАМЫКАНИЯ, ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ.

Объект реконструкции – ПС 220 кВ «Сора», ОРУ 220 кВ.

Основной целью реконструкции подстанции является обеспечение электроэнергией надлежащего качества, повышение надежности электроснабжения потребителей, снижение эксплуатационных затрат, улучшения работы эксплуатационного персонала. Основная задача – реконструировать схему электроснабжения таким образом, чтобы она соответствовала современным требованиям безопасности, надежности и экономичности.

Задачи:

- Характеристика, анализ надежности работы объекта проектирования.
- Выбор коммутационной и защитной аппаратуры (выключатели и разъединители).
- Выбор измерительных трансформаторов (напряжения и тока).
- Выбор устройств релейной защиты и автоматики.
- Выбор высокочастотных заградителей(ВЧЗ), конденсаторов связи(КС) и фильтров присоединений.
- Конструктивное исполнение.
- Оценка стоимости реконструкции подстанции.

Методы исследования. Используется комплекс общих методов системного анализа и обобщения нормативных, научных и практических материалов, формально-логический, структурно-функциональный и расчетный методы исследования.

Практическая значимость работы обусловлена необходимостью замены физически и морально устаревшего оборудования ОРУ-220 кВ ПС 220 кВ "Сора", что обеспечит более надежное электроснабжение питающихся от него потребителей.

Область применения – результаты работы могут быть внедрены на подстанциях и ОРУ аналогичного типа в рамках реконструкции данных объектов.

THE ABSTRACT

The final qualification work on the topic “Reconstruction the ORU-220 kV Sora Substation” contains 56 pages of a text document, 33 sources used, 3 sheets of graphic material.

RECONSTRUCTION, SUBSTATION, OPEN DISTRIBUTION-DEVICE, SWITCH, DISCONNECTOR, MEASURING TRANSFORMER, CALCULATION OF ELECTRIC LOADS, CALCULATION OF SHORT-CIRCUIT CURRENTS, SELECTION.

The object of reconstruction – ORU 220 kV substation "Sora".

The main goal of reconstruction of the substation is to provide electricity of proper quality, increase the reliability of power supply to consumers, reduce operating costs, and improve the work of operating personnel. The main task is to reconstruct the power supply scheme in such a way that it meets modern requirements for safety, reliability and economy.

Tasks:

- Characteristics, analysis of the reliability of the design object.
- The choice of switching and protective devices (circuit breakers and disconnectors).
- Selection of measuring transformers (voltage and current).
- Selection of relay protection and automation devices.
- Selection of high-frequency chokes, coupling capacitors and connection filters.
- Embodiment.
- Estimation of the cost of reconstruction of the substation.

Method of research. A set of General methods of system analysis and generalization of normative, scientific and practical materials, formal-logical, structural-functional and computational research methods is used.

The practical significance of the work is due to the need to replace the physically and morally outdated equipment of the ORU-220 kV PS 220 kV "Sora", which will provide a more reliable power supply to consumers fed from it.

Scope-the results of the work can be implemented at substations and ORS of the same type as part of the reconstruction of these facilities.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	7
1 Характеристика, анализ надёжности работы объекта проектирования.....	9
1.1 Описание ПС 220 кВ.....	9
1.2 Обоснование реконструкции.....	14
2 Выбор выключателей и разъединителей.....	15
2.1 Расчет рабочих токов.....	15
2.2 Расчет токов короткого замыкания на шинах подстанции 220 кВ»Сора».....	20
2.3 Выбор и проверка вновь устанавливаемого выключателя 220 кВ.....	20
2.4 Выбор и проверка вновь устанавливаемого разъединителя 220 кВ.....	22
3 Выбор трансформаторов тока и напряжения.....	24
4 Замена устройств релейной защиты и автоматики.....	28
4.1 Технические требования к релейной защиты и автоматики воздушных линий 220 кВ.....	28
4.2 Сравнительный анализ устройств релейной защиты и автоматики воздушных линий 220 кВ.....	32
4.3 Технические требования по релейной защите и автоматики воздушных линий 220 кВ.....	32
4.4 Решения по организации высокочастотных каналов.....	35
4.5 Решения по организации блокировки выключателей при снижении элегаза.....	36
4.6 Решения по организации оперативной блокировки разъединителей.....	36
4.7 Решения по организации автоматизированного рабочего места (АРМ) инженера РЗА.....	36
5 Выбор ВЧЗ, КС, фильтров присоединения и ограничителей перенапряжения.....	39
6 Конструктивное исполнение.....	44
7 Оценка стоимости реконструкции ПС.....	49
Заключение.....	53
Список использованных источников.....	54

Введение

В 1974 году ПС 220 кВ «Сора» была введена в работу. Подстанция присоединена к транзитным линиям Д-64, Д-66 ПС «Абакан-районная»– «Ужур». Подстанция питает город Сорск и расположенный там горно-обогатительный комбинат.

В соответствии со схемой и программой развития ЕЭС России на 2011 – 2017 гг., утвержденной приказом Минэнерго от 29 августа 2011 г. № 380, предполагается рост нагрузок в Хакасской энергосистеме в размере 15,4%.

Реконструкция ПС 220 кВ «Сора» позволила повысить надежность электроснабжения потребителей за счет замены физически и морально устаревшего оборудования, исчерпавшего свой ресурс, снизить риски отключения потребителей, что приведет к снижению потерь от недоотпуска электроэнергии.

В выпускной квалификационной работе(ВКР), все технические решения по сооружениям, конструкциям, оборудованию и технологической части соответствуют государственным нормам, правилам, стандартам, требованиям экологических, санитарно-гигиенических, противопожарных и других норм, действующих на территории Российской Федерации и обеспечивают безопасную для жизни и здоровья людей эксплуатацию объектов реконструкции.

Выпускной квалификационной работой предусматривается замена двух существующих отделителей (ОД) и короткозамыкателей (КЗ) 220 кВ АТ1, АТ2 на элегазовые выключатели в связи с длительным сроком их эксплуатации, моральным и физическим износом.

Одновременно с заменой отделителей и короткозамыкателей на АТ1 и АТ2 220 кВ выполняется установка трансформаторов напряжения 220 кВ на 1 и 2 секциях шин для делительных защит ВЛ Д-63/65, ВЛ Д-64/66 (из имеющихся в наличии у Хакасского предприятия магистральных электрических сетей(ХПМЭС)), установка разъединителей со стороны силовых трансформаторов с двумя заземляющими ножами (схема №220-9

одна рабочая секционированная система шин типовых решений по схемам распределительных устройств), установка новой панели в общеподстанционный пункт управления(ОПУ) для трансформатора напряжения(ТН) 220 кВ, установка микропроцессорного шкафа релейной защиты и линейной автоматики для вновь устанавливаемых выключателей, делительных защит воздушных линий(ВЛ) Д-63/65, ВЛ Д-64/66, организация питания вновь устанавливаемых защит на микропроцессорных устройствах на постоянном оперативном тока от щита постоянного тока(ЩПТ)-220 В, установка высокочастотных заградителей, конденсаторов связи и фильтров присоединений на ВЛ Д-63/65, ВЛ Д-64/6.

Цель ВКР - повышение надежности узловой подстанции ПС 220 кВ «Сора», путём реконструкции ОРУ-220 кВ и систем релейной защиты и автоматики.

Задачи:

- 1 Характеристика, анализ надежности работы объекта проектирования.
- 2 Выбор коммутационной и защитной аппаратуры (выключатели и разъединители).
- 3 Выбор измерительных трансформаторов (напряжения и тока).
- 4 Выбор устройств релейной защиты и автоматики.
- 5 Выбор ВЧЗ, КС и фильтров присоединений.
- 6 Конструктивное исполнение.
- 7 Оценка стоимости реконструкции подстанции.

1 Характеристика, анализ надёжности работы объекта проектирования

1.1 Описание ПС 220 кВ Сора

ПС 220/110/35/10 кВ Сора расположена в республике Хакасия, Усть – Абаканский район, 800 м северо-восточнее ст. Ербинская.

На действующей подстанции установлены следующие силовые авто трансформаторы:

- 1АТ типа АТДНТН-63000/220/110/10;
- 2АТ типа АТДЦТН-63000/220/110/10.

На ОРУ 220 кВ подключены:

– к 1 секции шин – ВЛ 220 кВ «Ужур» - «Сора» с отпайкой на ПС «Туим» (ВЛ Д-64) и ВЛ 220 кВ «Сора» - «Абакан-Районная» (ВЛ Д-66) через разъединители РЛНД-2-220/1000;

– к 2 секции шин – ВЛ 220 кВ «Ужур» - «Сора» с отпайкой на ПС «Туим» (ВЛ Д-63) и ВЛ 220 кВ «Сора» - «Абакан-Районная» (ВЛ Д-65) через разъединители РЛНД-2-220/1000.

Секции связаны между собой неавтоматической перемычкой из разъединителей.

Автотрансформаторы подключены к секциям шин через разъединители РЛНД-1-220/1000, РЛНД-2-220/1000 и отделители ОД-220/1000 У1. В цепях автотрансформаторов установлены короткозамыкатели КЗ-220, разрядники типа РВС-220. Все существующее высоковольтное оборудование 220 кВ имеет исполнение У1.

Трансформаторы напряжения и тока не установлены.

ОРУ 110 кВ ПС 220 кВ «Сора» выполнено по схеме №110-12 «Одна рабочая, секционированная выключателем, и обходная системы шин».

К 1 и 2 секциям шин 110 кВ подключены:

воздушные линии ВЛ 110 кВ «Сора» – «Дзержинская-3» С-317, ВЛ 110 кВ «Сора» - «Дзержинская-1» с отпайками на ПС «СЗССМ» и ПС «Дзержинская-2» С-81, ВЛ 110 кВ «Сора» - «Туим» С-83, ВЛ 110 кВ «Сора» -

«Боград» С-311 через выключатели ВС-317, ВС-81, ВС-83, ВС-311 типа У-110Б и МКП-110М;

– воздушные линии ВЛ 110 кВ «Сора» – «Дзержинская-3» С-318, ВЛ 110 кВ «Сора» - «Дзержинская-1» с отпайками на ПС «СЗССМ» и ПС «Дзержинская-2» С-82, ВЛ 110 кВ «Сора» - «Боград» С-312 через выключатели ВС-318, ВС-82, ВС-312 типа У-110Б и МКП-110М;

– вводы силовых трансформаторов АТ1 и АТ2 через выключатели В 1АТ-110 и В 2АТ-110 типа МКП-110П;

– секционный и обходной выключатели 110 кВ типа У-110Б и МКП-110М.

На ОРУ 110 кВ также установлены:

– трансформатор напряжения 1 системы шин ТН-110 1сек типа НКФ-110;

– трансформатор напряжения 2 системы шин ТН-110 2сек типа НКФ-110;

Выключатели ВС-317, ОВ-110, В-318 - выключатели типа У-110 Б с приводом ШПЭ-44 (номинальный ток 2000 А) с внешней фарфоровой изоляцией, главная внутренняя изоляция – трансформаторное масло, установленные в 1987, 1992 г.г.

Выключатели В 1АТ-110, В 2АТ-110, ВС-81, ВС-83, ВС-311, ВС-82 - выключатели типа МКП-110М с приводом ШПЭ-33 (номинальный ток 600 А) с внешней фарфоровой изоляцией, главная внутренняя изоляция – трансформаторное масло, установленные в 1963-1980 гг.

Трансформаторы напряжения 110 кВ - трансформаторы напряжения НКФ-110-83 У1 с внешней фарфоровой изоляцией, главная внутренняя изоляция трансформаторное масло, установленные в 1963, 1970 гг.

ОРУ 35 кВ ПС 220 кВ «Сора» выполнено по схеме №35-3Н «Блок (линия-трансформатор) с выключателем».

В ОРУ 35 кВ установлен трансформатор 3Т типа ТМН-6300/35-У1.

К трансформатору на ОРУ 35 кВ заходит ВЛ 35 кВ «Сора» - «Степная»

с отпайкой на УЛПХ (Т-13) через разъединители РЛНД-2-35/600 и выключатель В-Т-13 типа ВМ-35/600.

На ОРУ 35 кВ также установлены:

– трансформатор напряжения ТН-35 типа ЗНОМ-35;

Выключатели В-Т-13 - выключатели типа ВМ-35/600 с приводом ПЭ-11 (номинальный ток 600 А) с внешней фарфоровой изоляцией, главная внутренняя изоляция – трансформаторное масло, установленные в 1991 г.

Трансформаторы напряжения 35 кВ - трансформаторы напряжения ЗНОМ-35-54 с внешней фарфоровой изоляцией, главная внутренняя изоляция трансформаторное масло, установленные в 1995 г.

Имеется СБРУ 10 кВ, питаемое со стороны низкого напряжения 1АТ, 2АТ и 3Т. В СБРУ-10 кВ установлены выключатели ВВЭ-М-10-20/630, ВБЧ-СП-10-20/630 и А-3144-600-0,4.

В СБРУ-10 кВ установлены трансформаторы тока типа ТПОЛ-10 (Ктт=100/5, 200/5, 300/5, 1000/5) и трансформаторы напряжения типа НТМИ-10, НКМИ-10 и НАМИ-10У-2, установленные в 1971-1995 гг.

Собственные нужды подстанции запитаны от ТСН типа ТМ-160/10-У1 и ТСН типа ТМ-250/10. Питание цепей оперативного тока выполнено на напряжении 220 В постоянного тока от аккумуляторной батареи. На подстанции организована система выпрямленного оперативного тока (с помощью выпрямительных блоков ВАЗП-380/260-40/80).

Панели управления, защиты, автоматики и сигнализации размещаются в двух зданиях ОПУ, где имеются места для размещения новых панелей.

Подстанция обслуживаемая. Организовано постоянное круглосуточное дежурство и работа оперативного персонала.

Электроснабжение автотрансформаторов 1АТ, 2АТ кВ ПС 220 кВ «Сора» осуществляется от Назаровской ГРЭС по ВЛ 220 кВ «Ужур» -«Сора» с отпайкой на ПС «Туим».

Резервное питание собственных нужд ПС 220 кВ «Сора» выполнено от внешней ПС 110 кВ «Райково». На ПС 220 кВ «Сора» установлены ТСН типа

ТМ-160/10-У1 и ТСН типа ТМ-250/10. Данные трансформаторы являются основным источником электроэнергии переменного тока собственных нужд подстанции.

Потребителями собственных нужд подстанции являются:

- привода высоковольтных выключателей;
- электродвигатели приводов разъединителей;
- электродвигатели обдува силовых трансформаторов и приводов регулирования под нагрузкой(РПН);
- нагревательные элементы высоковольтных выключателей, приводов разъединителей и шкафов управления;
- наружное освещение ПС;
- зарядно-выпрямительные агрегаты щита постоянного тока;
- панели контрольно измерительных приборов и автоматике (КИПиА), релейной защиты и автоматике (РЗА), сигнализации;
- оборудование систем внутреннего освещения, электроотопления ОПУ и СБРУ-10 кВ.

На основании проведенного анализа, было сформулировано обоснование проведения реконструкции.

Отделитель — электротехнический аппарат для коммутации (отделения) электрических цепей без нагрузки и напряжения сразу во всех трех фазах линии. Контакты его ножей во включенном положении плотно прилегают между собой и обеспечивают минимальное переходное сопротивление для длительного прохождения электрического тока в номинальном режиме электроустановки.

Они не имеют устройств гашения дуги, а привод не обеспечивает быстрое отключение и не имеет защит, как автоматический выключатель. По этим причинам отделителем запрещено разрывать ток нагрузки или подавать напряжение на схему. В логику его автоматической работы обязательно включается блокировка от проходящих через него токов нагрузки.

Опорные изоляторы отделителя размещены на металлической раме,

поднятой бетонными столбами на безопасную высоту. На этих изоляторах смонтированы стационарные контакты и поворотные ножи, соединенные системой рычагов с приводом, который может управляться:

- автоматически для отделения защищаемой цепи от возникающих аварий разведением ножей во время создания бестоковой паузы;

- вручную оперативным персоналом, для включения ножей и завода пружин отключения, приведения их в готовность к работе.

Автоматическое разделение схемы происходит за счет использования энергии взведенной пружины, усиленной электромотором. Она срабатывает при выводе из зацепления защелки электромагнитом катушки отключения. Когда от защит трансформатора подается напряжение на эту катушку, то поворотные ножи разрывают схему.

Управление короткозамыкателем осуществляется через рычажную систему. При определении защитами неисправностей в схеме на электромагнит катушки отключения подается напряжение. В результате этого защелка пружины выбивается из зацепления и приложенным к системе рычагов крутящим моментом подвижный нож резко набрасывается на стационарный контакт. На фазе линии возникает искусственно созданное короткое замыкание с землей.

Конструкция короткозамыкателя рассчитана на прохождение через его нож и контакты аварийных токов, создаваемых при КЗ с учетом восприятия термического удара. Она выдерживает эти токи за время их прохождения от момента возникновения до снятия напряжения защитами удаленного выключателя.

Система ОД КЗ располагается на ОРУ и подвержена осадкам. Что снижает характеристики срабатывания в осеннее - зимний период. Может привести к отказу оборудования.

Такие системы часто применяли в прошлом на удаленных подстанциях, или на таких, где нет возможности установить масляные выключатели с дополнительным вспомогательным сложным оборудованием

(компрессорных или масло хозяйств). Или это было экономически не выгодно.

1.2 Обоснование реконструкции

Основанием для реконструкции стало то, что данная схема физически и морально устарела.

Отделители - коммутационные аппараты, предназначенные для автоматического отключения поврежденных участков линий или трансформаторов/ автотрансформаторов в бестоковую паузу после создания искусственного короткого замыкания короткозамыкателем, для отключения и включения участков линий или элементов схем, а также для отключения и включения индукционных токов холостого хода трансформаторов и зарядных токов линий.

Короткозамыкатель - коммутационный аппарат, предназначенный для создания быстродействующего искусственного короткого замыкания с целью отключения от защиты выключателя, установленного на питающем конце линии.

В настоящее время существуют более надежные, современные коммутационные аппараты.

2 Выбор выключателей и разъединителей

2.1 Расчет рабочих токов

При расчете токов учитывались нагрузки текущего периода, и с перспективой развития региона на пять лет. В нормальном режиме работы в электрических сетях нагрузка элементов сети находится в пределах допустимых значений, обеспечивается поддержание нормируемых уровней напряжения, обеспечиваются необходимые критерии надежности электроснабжения потребителей с соблюдением всех требований к качеству электроэнергии согласно методическим указаниям по устойчивости энергосистем. Напряжение на шинах ПС 220 кВ «Сора» находится в пределах 229 – 237 кВ.

Результаты расчетов послеаварийных режимов, возникающих после отключения одного или нескольких элементов (случай совпадения планового ремонта с аварийным отключением) сети, показали, что уровни напряжения в электрической сети рассматриваемого энергорайона соответствуют ГОСТ 13109-97 «Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения». Напряжение на шинах 220кВ и токи по ВЛ для различных режимных дней 2020 года приведены в таблицах 1-4.

Данные предоставлены организацией.

Таблица 1 - Параметры рассматриваемых элементов в различных режимах зимнего максимума

Рассматриваемый режим	Напряжение на шинах, 220кВ	Напряжение на шинах, 110 кВ	Ток по ВЛ 220 кВ Сора-Абакан-рай, А	Ток по ВЛ 220 кВ Ужур - Сора с отпайкой на ПС Туим, А
Нормальный режим	235/236	116	60/43,3	41,9/34,1
отключение ВЛ 220 кВ «Сора» –«Абакан-Районная»	233/233	115	111/-	37/38,8
отключение ВЛ 220 кВ «Ужур» - «Сора» с отпайкой на ПС «Туим»	232/232	114	82.7/60.4	-/70,3
отключение 2х ВЛ 220 кВ «Ужур» -«Сора» с отпайкой на ПС «Туим»	231/231	114	117/85,3	-
отключение АТ 63МВА на ПС 220 кВ «Сора»	233/237	111	124/21,5	66.5/12
отключение ВЛ 220 кВ «Ужур» – «Сора» отпайкой на ПС «Туим» при ремонте АТ 63 МВА на ПС 220 кВ «Сора»	229/237	109	207/73,4	-/69,7
отключение ВЛ 220 кВ «Сора» –«Абакан-Районная» при ремонте АТ 63 МВА на ПС 220 кВ «Сора»	231/231	110	-/120	37/38,8

Таблица 2 - Параметры рассматриваемых элементов в различных режимах зимнего минимума

Рассматриваемый режим	Напряжение на шинах, 220кВ	Напряжение на шинах, 110 кВ	Ток по ВЛ 220 кВ Сора-Абакан-рай, А	Ток по ВЛ 220 кВ Ужур - Сора с отпайкой на ПС Туим, А
Нормальный режим	233/235	116	124/106	42.6/45.8
отключение ВЛ 220 кВ «Сора» –«Абакан-Районная»	228/223	112	246/-	115/29,1

Продолжение таблицы 2

Рассматриваемый режим	Напряжение на шинах, 220кВ	Напряжение на шинах, 110 кВ	Ток по ВЛ 220 кВ Сора-Абакан-рай, А	Ток по ВЛ 220 кВ Ужур - Сора с отпайкой на ПС Туим, А
отключение ВЛ 220 кВ «Ужур» - «Сора» с отпайкой на ПС «Туим»	230/231	115	116/148	-/97,1
отключение 2х ВЛ 220 кВ «Ужур» -«Сора» с отпайкой на ПС «Туим»	231/233	116	106/68,3	-
отключение АТ 63МВА на ПС 220 кВ «Сора»	232/235	113	167/66,1	29,9/68,1
отключение ВЛ 220 кВ «Ужур» – «Сора» отпайкой на ПС «Туим» при ремонте АТ 63 МВА на ПС 220 кВ «Сора»	228/234	111	177/85,3	-/86,9
отключение ВЛ 220 кВ «Сора» –«Абакан-Районная» при ремонте АТ 63 МВА на ПС 220 кВ «Сора»	228/228	111	-/244	45,3/42,5

Таблица 3 - Параметры рассматриваемых элементов в различных режимах летнего максимума

Рассматриваемый режим	Напряжение на шинах, 220кВ	Напряжение на шинах, 110 кВ	Ток по ВЛ 220 кВ Сора-Абакан-рай, А	Ток по ВЛ 220 кВ Ужур - Сора с отпайкой на ПС Туим, А
Нормальный режим	239/239	121	144/135	95,3/95,4
отключение ВЛ 220 кВ «Сора» –«Абакан-Районная»	237/236	120	276/-	177/35
отключение ВЛ 220 кВ «Ужур» - «Сора» с отпайкой на ПС «Туим»	234/236	121	85,2/196	-/171
отключение 2х ВЛ 220 кВ «Ужур» -«Сора» с отпайкой на ПС «Туим»	233/233	120	70,4/65,6	-
отключение АТ 63МВА на ПС 220 кВ «Сора»	237/240	119	171/112	89,8/106
отключение ВЛ 220 кВ «Ужур» – «Сора» отпайкой на ПС «Туим» при ремонте АТ 63 МВА на ПС 220 кВ «Сора»	232/238	116	135/176	-/170
отключение ВЛ 220 кВ «Сора» –«Абакан-Районная» при ремонте АТ 63 МВА на ПС 220 кВ «Сора»	237/237	118	-/275	98,3/92,9

Таблица 4 - Параметры рассматриваемых элементов в различных режимах летнего минимума

Рассматриваемый режим	Напряжение на шинах, 220кВ	Напряжение на шинах, 110 кВ	Ток по ВЛ 220 кВ Сора-Абакан-рай, А	Ток по ВЛ 220 кВ Ужур - Сора с отпайкой на ПС Туим, А
Нормальный режим	235/234	115	202/186	146/145
отключение ВЛ 220 кВ «Сора» –«Абакан-Районная»	229/225	111	398/-	273/36,1
отключение ВЛ 220 кВ «Ужур» - «Сора» с отпайкой на ПС «Туим»	229/229	113	105/301	-/287
отключение 2х ВЛ 220 кВ «Ужур» -«Сора» с отпайкой на ПС «Туим»	231/231	113	77,1/63,7	-
отключение АТ 63МВА на ПС 220 кВ «Сора»	233/235	111	230/161	137/158
отключение ВЛ 220 кВ «Ужур» – «Сора» отпайкой на ПС «Туим» при ремонте АТ 63 МВА на ПС 220 кВ «Сора»	228/233	108	141/288	-/285
отключение ВЛ 220 кВ «Сора» –«Абакан-Районная» при ремонте АТ 63 МВА на ПС 220 кВ «Сора»	230/230	109	-/392	152/142

Расчет режимов работы в перспективе на пять лет.

В нормальном режиме работы сети 110 кВ и выше в электрических сетях обеспечивается поддержание нормируемых уровней напряжения, надежное электроснабжение потребителей с соблюдением всех требований к качеству электроэнергии, нагрузка элементов сети находится в пределах допустимых значений;

Результаты расчетов послеаварийных режимов показали, что загрузка оставшихся в работе элементов сети находится в пределах допустимых значений, отсутствует необходимость в применении дополнительных мер по защите оборудования. В послеаварийных режимах наблюдается снижение напряжения в электрической сети рассматриваемого энергорайона, но не выходит за пределы допустимых значений в соответствии с ГОСТ 13109-97 «Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения».

Напряжение на шинах 220кВ и токи по ВЛ для различных режимных дней 2025 года приведены в таблицах 5-8(предоставлены организацией).

Таблица 5 - Параметры рассматриваемых элементов в различных режимах зимнего максимума 2025 г

Рассматриваемый режим	Напряжение на шинах, 220кВ	Напряжение на шинах, 110 кВ	Ток по ВЛ 220 кВ Сора-Абакан-рай, А	Ток по ВЛ 220 кВ Ужур - Сора с отпайкой на ПС Туим, А
Нормальный режим	224/225	112	89,4/53	42/40,3
отключение ВЛ 220 кВ «Сора» –«Абакан-Районная»	221/217	109	157/-	17,8/72,1
отключение ВЛ 220 кВ «Ужур» - «Сора» с отпайкой на ПС «Туим»	221/222	110	134/62,3	-/87,1
отключение 2х ВЛ 220 кВ «Ужур» -«Сора» с отпайкой на ПС «Туим»	221/222	110	145/101	-
отключение АТ 63МВА на ПС 220 кВ «Сора»	222/226	108	162/13,2	71,8/15,6
отключение ВЛ 220 кВ «Ужур» – «Сора» отпайкой на ПС «Туим» при ремонте АТ 63 МВА на ПС 220 кВ «Сора»	219/226	107	247/79,8	-/80
отключение ВЛ 220 кВ «Сора» –«Абакан-Районная» при ремонте АТ 63 МВА на ПС 220 кВ «Сора»	219/219	107	-/167	40,7/42,5

Таблица 6 - Параметры рассматриваемых элементов в различных режимах зимнего минимума 2025 г

Рассматриваемый режим	Напряжение на шинах, 220кВ	Напряжение на шинах, 110 кВ	Ток по ВЛ 220 кВ Сора-Абакан-рай, А	Ток по ВЛ 220 кВ Ужур - Сора с отпайкой на ПС Туим, А
Нормальный режим	235/237	119	146/122	51,4/54,5
отключение ВЛ 220 кВ «Сора» –«Абакан-Районная»	230/227	115	285/-	117/13,1
отключение ВЛ 220 кВ «Ужур» - «Сора» с отпайкой на ПС «Туим»	231/233	117	143/163	-/111
отключение 2х ВЛ 220 кВ «Ужур» -«Сора» с отпайкой на ПС «Туим»	233/236	118	127/75,1	-
отключение АТ 63МВА на ПС 220 кВ «Сора»	233/237	117	194/77,4	34,4/79,2

Продолжение таблицы 6

Рассматриваемый режим	Напряжение на шинах, 220кВ	Напряжение на шинах, 110 кВ	Ток по ВЛ 220 кВ Сора-Абакан-рай, А	Ток по ВЛ 220 кВ Ужур - Сора с отпайкой на ПС Туим, А
отключение ВЛ 220 кВ «Ужур» – «Сора» отпайкой на ПС «Туим» при ремонте АТ 63 МВА на ПС 220 кВ «Сора»	230/236	116	198/101	-/102
отключение ВЛ 220 кВ Сора –Абакан-Районная при ремонте АТ 63 МВА на ПС 220 кВ Сора	230/230	116	-/282	53,4/50,2

Таблица 7 - Параметры рассматриваемых элементов в различных режимах летнего максимума 2025 г

Рассматриваемый режим	Напряжение на шинах, 220кВ	Напряжение на шинах, 110 кВ	Ток по ВЛ 220 кВ Сора-Абакан-рай, А	Ток по ВЛ 220 кВ Ужур - Сора с отпайкой на ПС Туим, А
Нормальный режим	240/239	121	157/143	98,5/100
отключение ВЛ 220 кВ «Сора» –«Абакан-Районная»	237/236	120	299/-	170/40,3
отключение ВЛ 220 кВ «Ужур» - «Сора» с отпайкой на ПС «Туим»	235/237	119	107/198	-/180
отключение 2х ВЛ 220 кВ «Ужур» -«Сора» с отпайкой на ПС «Туим»	234/234	119	85,4/72	-
отключение АТ 63МВА на ПС 220 кВ «Сора»	234/234	119	85,4/72	-
отключение ВЛ 220 кВ «Ужур» – «Сора» отпайкой на ПС «Туим» при ремонте АТ 63 МВА на ПС 220 кВ «Сора»	232/239	118	154/181	-/177
отключение ВЛ 220 кВ «Сора» –«Абакан-Районная» при ремонте АТ 63 МВА на ПС 220 кВ «Сора»	235/235	118	-/299	96,9/91,5

Таблица 8 - Параметры рассматриваемых элементов в различных режимах летнего минимума 2025 г

Рассматриваемый режим	Напряжение на шинах, 220кВ	Напряжение на шинах, 110 кВ	Ток по ВЛ 220 кВ Сора-Абакан-рай, А	Ток по ВЛ 220 кВ Ужур - Сора с отпайкой на ПС Туим, А
Нормальный режим	236/237	117	227/212	166/163
отключение ВЛ 220 кВ «Сора» –«Абакан-Районная»	230/227	113	451/-	284/57,2
отключение ВЛ 220 кВ «Ужур» - «Сора» с отпайкой на ПС «Туим»	232/232	115	132/328	-/328

Продолжение таблицы 8

Рассматриваемый режим	Напряжение на шинах, 220кВ	Напряжение на шинах, 110 кВ	Ток по ВЛ 220 кВ Сора-Абакан-рай, А	Ток по ВЛ 220 кВ Ужур - Сора с отпайкой на ПС Туим, А
отключение 2х ВЛ 220 кВ «Ужур» -«Сора» с отпайкой на ПС «Туим»	234/234	116	82,6/71,3	-
отключение АТ 63МВА на ПС 220 кВ «Сора»	235/238	115	260/181	153/179
отключение ВЛ 220 кВ «Ужур» – «Сора» отпайкой на ПС «Туим» при ремонте АТ 63 МВА на ПС 220 кВ «Сора»	230/235	112	154/327	-/324
отключение ВЛ 220 кВ «Сора» –«Абакан-Районная» при ремонте АТ 63 МВА на ПС 220 кВ «Сора»	232/232	113	-/446	173/161

2.2 Расчет токов короткого замыкания на шинах ПС 220 кВ Сора

Для проверки установленной коммутационной аппаратуры на соответствие ожидаемым токам короткого замыкания и выбора вновь устанавливаемого оборудования произведены расчеты токов короткого замыкания сети 110 – 220 кВ для подстанции 220 кВ Сора на год окончания реконструкции (2020 г.) и перспективу 5 лет (2025 г.).

Расчет токов короткого замыкания предоставлен организацией.

Результаты расчета представлены в таблице 9.

Таблица 9 - Токи короткого замыкания

Наименование подстанции	2020 г.		2025 г.	
	3-фаз. КЗ, кА	1-фаз. КЗ, кА	3-фаз. КЗ, кА	1-фаз. КЗ, кА
ПС 220 кВ Сора шины 220 кВ	6,61	5,38	7,11	5,95

2.3 Выбор и проверка вновь устанавливаемого выключателя 220 кВ

Выбор выключателя производится:

По номинальному напряжению установки:

$$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{уст}}$$

$$220\text{кВ} = 220\text{кВ}$$

По номинальному току:

$$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{раб_утяж}}$$

456 А – максимальный рабочий ток в аварийных режимах.

По отключающей способности:

а) Симметричный ток отключения

$$I_{\text{пт}} \leq I_{\text{откл}}$$

где $I_{\text{пт}} = 7,11$ кА - периодическая составляющая тока короткого замыкания;

б) Возможность отключения аperiodической составляющей тока короткого замыкания:

$$i_{a_т} = \sqrt{2} \cdot I_{n0} \cdot e^{-\frac{\tau}{T_A}} = \sqrt{2} \cdot 7,11 \cdot e^{-\frac{0,06}{0,05}} = 3,03 \text{ кА}$$

Где $I_{n0} = 7,11$ кА - начальное значение периодической составляющей тока короткого замыкания;

$\tau = 0,06$ с - расчетное время от начала короткого замыкания до расхождения контактов выключателя;

$T_a = 0,05$ - постоянная времени затухания для расчетной точки короткого замыкания;

4. По включающей способности:

$$I_{n0} \leq I_{\text{вкл}}$$

$I_{n0} = 7,11$ кА - начальное значение периодической составляющей тока короткого замыкания;

5. По электродинамической стойкости:

а) По периодической составляющей тока короткого замыкания:

$$I_{n0} \leq I_{\text{пр_с}}$$

б) По ударному току короткого замыкания:

$$i_{\text{уд}} \leq i_{\text{пр_с}}$$

$i_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot I_{n0} \cdot \left(1 + e^{-\frac{0,01}{T_a}}\right) = 18,3$ кА - ударный ток короткого замыкания;

6. По термической стойкости:

$$W_K \leq I_{\text{терм}}^2 \cdot t_{\text{терм}}$$

$t_{\text{терм}} = 0,06$ с - длительность протекания тока термической стойкости;

$B_K = I_{n0}^2 \cdot (t_{\text{откл}} + T_a) = 5,56 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ - тепловой импульс тока короткого

замыкания; $I_{\text{терм}} = \sqrt{\frac{B_K}{t_{\text{терм}}}}$

$I_{\text{терм}} = 9,63$ кА – ток термической стойкости.

По результатам расчета можно сформировать условия которыми должен обладать выключатель 220 кВ:

- Номинальное напряжение: 220 кВ;
- Номинальный ток, не менее: 456 А(таблица 8);
- Начальное действующее значение периодической составляющей, не менее: 7,11 кА (расчет токов КЗ, приложение А);
- Наибольший пик сквозного тока КЗ, не менее: 18,3 кА;
- Ток термической стойкости, не менее: 9,63 кА.

Технические данные отечественных и зарубежных баковых элегазовых выключателей напряжения 220 кВ приведены в таблице 10.

Таблица 10 Технические данные отечественных и зарубежных баковых элегазовых выключателей напряжения 220 кВ

Наименование параметра	Выключатель (производитель)		
	3AP1DT-245 (SIEMENS)	245PM63 (ABB)	ВЭБ-220 (ЭНЕРГОМАШ)
Номинальное напряжение, кВ	220	220	220
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	252	252	252
Номинальный ток, А	2000	2000	2500
Номинальный ток отключения, кА	20	20	20
Номинальная частота, Гц	50	50	50
Ток динамической стойкости, кА	51	51	51
Ток термической стойкости, кА	20	20	20
Время протекания тока термической стойкости, с	3	3	3
Параметры тока включения: - наибольший пик, кА	51	51	51
- начальное действующее значение периодической составляющей, кА	20	20	20
Собственное время отключения, с	0,037	0,034	0,035
Полное время отключения, с	0,06	0,057	0,055
Минимальная бестоковая пауза при АПВ, с	0,281	0,3	0,3
Собственное время включения, с	0,058	0,063	0,07
Тип провода	пружинный	пружинный	Пружинный

Продолжение таблицы 10

Наименование параметра	Выключатель (производитель)		
	3AP1DT-245 (SIEMENS)	245PM63 (ABB)	ВЭБ-220 (ЭНЕРГОМАШ)
Количество приводов	1	1	1
Количество электромагнитов управления в приводе:			
- включающих	1	1	1
- отключающих	2	2	2
Вес выключателя, кг	4550	3530	5900
Срок службы, лет	25	25	25
Механическая стойкость циклов «Включение-пауза-Отключение»	10000	10000	5000

По совокупности всех критериев, был выбран выключатель 3AP1DT-245 компании (SIEMENS).

2.4 Выбор и проверка вновь устанавливаемого разъединителя 220 кВ

1. По номинальному напряжению установки:

$$U_{ном} \geq U_{уст}$$

$$220кВ = 220 кВ$$

2. По номинальному току:

$$I_{ном} \geq I_{раб_утяж}$$

456 А – максимальный рабочий ток в аварийных режимах.

3. На электродинамическую стойкость ударному току короткого замыкания:

$$i_{уд} \leq i_{пр_с}$$

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot I_{н0} \cdot \left(1 + e^{-\frac{0,01}{T_a}}\right) = 18,3 - \text{ударный ток короткого замыкания};$$

4. По термической стойкости:

$$B_K \leq I_{терм}^2 \cdot t_{терм}$$

$t_{терм} = 0,06$ с - длительность протекания тока термической стойкости;

$B_K = I_{н0}^2 \cdot (t_{откл} + T_a) = 5,56 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ - тепловой импульс тока короткого

замыкания; $I_{терм} = \sqrt{\frac{B_K}{t_{терм}}}$

$I_{терм} = 9,63$ кА – ток термической стойкости.

По результатам расчета можно сформировать условия которыми должен обладать разъединитель 220 кВ:

- Номинальное напряжение: 220 кВ;
- Номинальный ток, не менее: 456 А (таблица 8);
- Начальное действующее значение периодической составляющей, не менее: 7,11 кА (расчет токов КЗ, приложение А);
- Наибольший пик сквозного тока КЗ, не менее: 18,3 кА (пункт 2.3);
- Ток термической стойкости, не менее: 9,63 кА (пункт 2.3).

По данным критериям выбрал для установки разъединитель РГ 2-220.П/2000 УХЛ1, с электродвигательным приводом ПД-14УХЛ1 и двумя заземляющими ножами.

3 Выбор трансформаторов тока и напряжения

Величина нагрузки вторичной обмотки трансформатора напряжения согласно ГОСТ 1983-2001 «Трансформаторы напряжения. Общие технические условия» должна находиться в пределах:

$$0,25 \cdot S_{\text{ном}} \leq S_{\Sigma} \leq S_{\text{ном}}$$

где S_{Σ} – суммарная нагрузка вторичной обмотки ТН, ВА;

$S_{\text{ном}}$ – номинальная нагрузка ТН, ВА. Для трансформатора типа 3хVCSU-245, номинальная нагрузка ТН равна 100 ВА.

$$S_{\Sigma} = S_{\text{приб}};$$

где $S_{\text{приб}}$ – суммарная мощность устанавливаемых счетчиков и вольтметров подключенных к ТН, ВА;

$$S_{\text{приб}} = (S_{\text{сч}} + S_{\text{V}}) \cdot n_{\text{сч}}$$

где $S_{\text{сч}}$ – мощность цепей напряжения устанавливаемых счетчиков, ВА. Для счетчиков типа А1802-RALQ-P4GB-DW-4, мощность цепей напряжения счетчик равна 3,6 ВА;

S_{V} – мощность цепей напряжения устанавливаемых вольтметров, ВА. Для вольтметров типа В7-72, мощность цепей напряжения равна 12 ВА

$n_{\text{сч}}$ – количество существующих, устанавливаемых счетчиков и вольтметров.

Произведем расчет загрузки трансформатора типа 3хVCU-245:

$$S_{проб} = S_{\Sigma} = (3,6 + 12) \cdot 2 = 31,2 \text{ ВА}$$

Нагрузки вторичных обмоток трансформаторов тока на присоединениях не соответствуют требованиям ГОСТ 1983-2001 «Трансформаторы напряжения. Общие технические условия», необходима установка догрузочных резисторов.

Расчет вторичной нагрузки $R_{ТН}$, Ом, с учетом догрузочных резисторов:

$$R_{ТН} = n_{сч} \cdot R_{сч} + R_{догр}$$

где $R_{догр}$ – сопротивление догрузочного резистора, Ом.

Коэффициент загрузки:

$$R_{загр_ТН} = \frac{R_{ТН}}{R_{догр}} \cdot 100\%$$

Полученные результаты сведены в таблицы 11:

Таблица 11 - Результаты расчета загрузки вторичной обмотки трансформаторов тока, после установки догрузочных резисторов

Наименование ТН	Тип ТН	Допустимая нагрузка, ВА	Номинальная мощность догрузочного резистора, ВА	Суммарная нагрузка на вторичные обмотки ТН, СТН, ВА	Коэффициент загруженности $K_{загр_ТН}$, %
ТН-1	VCU-245	100	60	91,2	91,2
ТН-2	VCU-245	100	60	91,2	91,2

Выбраны догрузочные резисторы МР3021-Н-100/√3В-60ВА.

Расчет нагрузки вторичных цепей трансформаторов тока

Сечение жил выбирается из стандартного ряда сечений. Выбранное сечение жилы должно быть не менее рассчитанного значения, а также должно удовлетворять условию механической прочности:

- жилы контрольных кабелей для присоединения под винт к зажимам панелей и аппаратов должны иметь сечения для токовых цепей не менее 2,5 мм² для меди.

Также предъявляются требования по нагреву:

- допустимый длительный ток для проводов с поливинилхлоридной изоляцией с медными жилами сечением 2,5 мм² составляет 30 А.

Сопротивление соединительных проводов от ТТ Siemens АМТ до счетчика, $R_{пр}$, Ом, вычисляется по формуле:

$$R_{пр} = \rho \cdot \frac{L}{S};$$

где ρ - удельное сопротивление меди, Ом*мм²/м;

L - длина кабеля, м;

S - сечение проводника, мм².

Сопротивление кабеля с учетом сопротивления счетчика и переходных клемм, $R_{каб}$,

Ом, при схеме соединения ТТ – «полная звезда» вычисляется по формулам:

$$R_{каб} = R_{доп} - R_{сч} - R_{к};$$

где $R_{доп}$ – допустимая нагрузка ТТ, Ом;

$R_{сч}$ - сопротивление счетчика, Ом;

$R_{к}$ – суммарное переходное сопротивление клемм, Ом.

$R_{к}=0,05$ Ом,

Для обмотки мощностью 20 ВА:

$$R_{доп} = \frac{S}{I^2} = 0,8;$$

$$R_{сч} = \frac{S_{сч}}{I^2} = 0,00012;$$

Сечение кабеля, S_k , мм², вычисляется по формуле:

$$S_k = \rho \cdot \frac{L}{R_{каб}};$$

Исходные данные по трансформаторам тока приведены в таблице 12.

Таблица 12 - Исходные данные по трансформаторам тока 220 кВ

Точка учета (Наименование абонента)	Трансформатор тока			Допустимая нагрузка, ВА	Тип кабеля	Длина ка - беля от ТТ до счетчика
	Тип	Класс точности	$K_{ТТ}$			
Ввод 220 кВ 1АТ	-	0,2S	600/5	2	КВВГЭнг-LS	40
Ввод 220 кВ 1АТ	-	0,2S	600/5	2	КВВГЭнг-LS	60

Пример расчета кабеля от ТТ до счетчика.

Сопротивление счетчика А1802-RALQ-P4GB-DW-4:

$R_{сч.} = 0,00012$ Ом.

Суммарное переходное сопротивление соединительных клемм принимаем:

$$R_k = 0,05 \text{ Ом.}$$

Сопротивление кабеля без сопротивления счетчика и переходных клемм:

$$R_{\text{каб.}} = 0,8 - 0,00012 - 0,05 = 0,74988 \text{ Ом.}$$

Расчетное сечение кабеля длиной 60 м для ТТ Siemens АМТ:

$$S_k = 1,4 \text{ мм}^2.$$

Выбранное сечение $S_k = 2,5 \text{ мм}^2$.

По результатам расчетов выбираем тип прокладываемого кабеля:

Для обоих ТТ берем КВВГЭнг-LS 5x2,5.

Выбранные кабели удовлетворяют требованиям ПУЭ по нагреву и механической прочности.

Расчет вторичной нагрузки ТТ, R_{TT} , Ом, при схеме соединения ТТ «полная звезда» производится по формуле:

$$R_{TT} = R_{\text{каб}} + R_{\text{сч}} + R_k,$$

где $R_{\text{каб}}$ – сопротивление кабеля, Ом;

$S_{\text{прин}}$ - принятое сечение жилы кабеля в цепи ТТ;

$R_{\text{сч}}$ - сопротивление счетчиков, Ом;

R_k – переходное сопротивление клеммников, Ом.

$$K_{\text{загр_ТТ}} = \frac{R_{TT}}{R_{\text{доп}}} \cdot 100\%,$$

Определение загрузки ТТ для работы в классе точности.

Потребляемая мощность счетчика А1802-RALQ-P4GB-DW-4 по цепям тока $S_{\text{сч}}=0,003 \text{ ВА}$. Сопротивление клеммников R_k принимаем равным 0,05 Ом. Принятое сечение жилы кабеля равно 2,5 мм², удельное сопротивление меди - 0,0175 Ом*мм²/м. Допустимая нагрузка для ТТ Siemens АМТ равна 20 ВА.

При схеме соединения ТТ «полная звезда», ток во вторичных цепях ТТ 5А, в таком случае нагрузка ТТ Siemens АМТ составит:

$$R_{ТТ} = \rho \cdot \frac{L}{S_{\text{прин}}} + R_{\text{сч}} + R_k,$$

Коэффициент загрузки:

$$K_{\text{загр_ТТ}} = \frac{R_{ТТ}}{R_{\text{доп}}} \cdot 100\%,$$

Полученные результаты сведены в таблицу 13:

Таблица 13 - Результаты расчета загрузки вторичной обмотки трансформаторов тока 220 кВ

Точка учета (Наименование абонента)	Тип ТТ	Допустимая нагрузка, ВА	Суммарная нагрузка на вторичные обмотки ТТ, СТТ, ВА	Коэффициент загрузки Кзагр_ТТ, %
Ввод 220 кВ 1АТ	Siemens AMT	20	8,253	41
Ввод 220 кВ 2АТ	Siemens AMT	20	11,753	59

4 Замена устройств релейной защиты и автоматики

4.1 Технические требования к релейной защите и автоматике воздушных линий электропередачи 220 кВ

Защита воздушных линий ВЛ 220 кВ «Ужур» - «Сора» с отпайкой на ПС «Туим» (ВЛ Д-64), ВЛ 220 кВ «Сора» – «Абакан - Районная» (ВЛ Д-66), ВЛ 220 кВ «Сора» – «Абакан – Районная» (ВЛ Д-65), ВЛ 220 кВ «Ужур» - «Сора» с отпайкой на ПС «Туим» (ВЛ Д-63) выполнена на базе электромеханических защит и собрана на панелях 25Р и 26Р в ОПУ-1.

Данная подстанция является отпаечной со стороны сети 220 кВ, но при этом имеет питание со стороны 110 кВ. Выключатели 220 кВ установлены на стороне силовых трансформаторов, до ремонтной перемычки. При замыкании на питающих линиях 220 кВ, необходимо отключать выключатели 220 кВ питающих подстанций, а так же отключить подпитку тока КЗ со стороны ПС 220 кВ «Сора», получающую питание от сети 110 кВ. Для этого применяется делительная защита, установленная на стороне 220 кВ и реализованная при помощи шкафов КСЗ. При этом данные КСЗ

выполняются направленными в сеть 220 кВ для определения повреждений в сети 220 кВ.

В ходе реконструкции ПС 220 кВ «Сора» производится демонтаж существующих защит воздушных линий 220 кВ с заменой их на шкафы защит и автоматики управления выключателем, выполненные на базе микропроцессорных терминалов. Новые шкафы защит воздушных линий 220 кВ устанавливаются в ОПУ-2 на резервных местах 23Р – 26Р в соответствии с планом ОПУ-2.

Основная защита ВЛ Д-63, ВЛ Д-64, ВЛ Д-65, ВЛ Д-66 реализуется на базе микропроцессорных шкафов, включающих в себя комплект ступенчатых защит (КСЗ) линии.

Резервная защита и АУВ ВЛ Д-63, ВЛ Д-64, ВЛ Д-65, ВЛ Д-66 осуществляется на базе микропроцессорных шкафов, включающих в себя комплект ступенчатых защит (КСЗ) линии и автоматику управления выключателем (АУВ).

Комплекты защиты ВЛ Д-64 и ВЛ Д-66 подключаются к обмоткам 5Р трансформатора тока, встроенного во вновь устанавливаемый элегазовый баковый выключатель В-1АТ-220 со стороны подстанции.

Комплекты защиты ВЛ Д-63 и ВЛ Д-65 подключаются к обмоткам 5Р трансформатора тока, встроенного во вновь устанавливаемый элегазовый баковый выключатель В-2АТ-220 со стороны подстанции.

Подключение устанавливаемых шкафов защит осуществляется новым кабелем, который прокладывается в существующих кабельных лотках до вновь устанавливаемых панелей.

Релейная защита и автоматика на ВЛ 220 кВ в моей работе выполняет функции делительной защиты. Принципы построения релейной защиты и автоматики на ВЛ 220 кВ должны быть унифицированы и выполняться на одинаковых микропроцессорных терминалах.

Применяемые микропроцессорные терминалы должны содержать в себе следующие функции защиты линии 220 кВ:

- дистанционную защиту (ДЗ) от междуфазных КЗ;
- токовую направленную защиту нулевой последовательности (ТНЗНП) от КЗ на землю;
- токовую отсечку (ТО);
- ускорение действия защит (ДЗ и ТНЗНП) от оперативных переключателей;
- ускорение действия защит (ДЗ, ТНЗНП и ТО) при включении выключателя;
- обеспечивать возможность оперативного подключения групп уставок.

Дистанционная защита выполнена трехступенчатой защитой с блокировками при качаниях и при неисправностях в цепях напряжения. Токовая направленная защита нулевой последовательности должна содержать не менее чем четыре ступени, направленность которых должна обеспечиваться двумя реле направления мощности нулевой последовательности разрешающим и блокирующим. Направленность защиты выставляется в соответствии с рекомендациями производителей микропроцессорных терминалов защит и руководящих указаний (1-2 ступень ДЗ - от шин в стороны линии, 1-4 ступень ТНЗНП - от АТ в сторону линии).

Применяемые микропроцессорные терминалы должны содержать в себе следующие функции автоматики управления выключателем (АУВ):

- формирование сигналов на включение и отключение выключателя по командам “Включить” и “Отключить”;
- обеспечение контроля положения выключателя “Включено” и “Отключено”;
- блокировку выключателя от многократных включений;
- фиксацию положения выключателя;
- автоматическое повторное включение (АПВ);
- резервирование отказавшего выключателя (УРОВ).

АПВ должно обеспечивать однократное автоматическое повторное включение выключателя. Должен быть предусмотрен пуск АПВ с

реализацией следующих контролей напряжений на шинах и линии в различных вариантах:

- отсутствия;
- наличия;
- синхронизма.

При контроле синхронизма должна фиксироваться разность модулей векторов напряжений с обеих сторон включаемого выключателя, разность углов между векторами напряжений и разность частот напряжений.

Предусматривается организация сигналов ВЧТО №1 при действии УРОВ КСЗ и УРОВ АУВ по новым ВЧ - каналам.

При срабатывании РС первой ступени ДЗ, контролируемой БК как быстродействующая, через выходное реле терминала выдается сигнал пуска ВЧТО №2. Принимаемый сигнал ВЧТО №2 на противоположном конце с контролем срабатывания РС второй ступени ДЗ или реле тока IV ступени ТНЗНП с контролем направленности действует через выходной блок защит без запрета АПВ. Предусмотрена выдача сигнала ВЧТО №3 при срабатывании реле тока III ступени ТНЗНП и разрешающего РНМНП. При приеме сигнала ВЧТО №3 на противоположном конце предусмотрено действие на отключение с контролем срабатывания реле тока III ступени ТНЗНП и разрешающего РНМНП с выдержкой времени в диапазоне от 0,05 до 5 с. Предусматривается организация оперативной блокировки разъединителей ОРУ 220 кВ с организацией питания цепей ОБР с гальванической развязкой от системы оперативного постоянного тока.

Предусматривается установка шкафа резервной центральной сигнализации в ОПУ-1 на базе микропроцессорного терминала БМЦС или Сириус-ЦС (панель 11Р).

Организация питания постоянным оперативным током устройств РЗА линий 220 кВ

Питание микропроцессорных терминалов осуществляется от существующего ЩПТ. Питание оперативным постоянным током терминала,

цепей электромагнитов включения и первой группы электромагнитов отключения, цепей второй группы электромагнитов отключения должны выполняться отдельно, благодаря этому будет обеспечиваться возможность отключения выключателя даже при неисправном терминале, с обеспечением правильной сигнализация положения выключателя. Микроэлектронная часть устройства должна быть гальванически отделена от источника оперативного постоянного тока.

4.2 Сравнительный анализ устройств релейной защиты и автоматики ВЛ 220 кВ

В таблице 14 приведен сравнительный анализ характеристик микропроцессорных шкафов релейной защиты и автоматики ВЛ 220 кВ разных производителей.

Таблица 14 - Состав шкафов и конструктивное исполнение

Характеристики	Производитель / устройство						
	НПП «ЭКРА» / ШЭ2607 011021	ООО«ИЦ «Бреслер»/ ШЛ 2606.14	ЗАО «РАДИУС Автоматика» / Сириус-3ЛВ-02	General Electric Multilin / L60	ABB / REL 650	AREVA / MICOM P547 v	Siemens AG / SIPROTEC 7SA522
Дифференциально-фазная защита	-	-	-	+	-	+	-
Дистанционная защита (ДЗ) от междуфазных КЗ	+	+	+	+	+	-	+
Токовая направленная защита нулевой последовательности (ТЗНП) от КЗ на землю	+	+	+	+	+	-	+
Междуфазная токовая отсечка (ТО)	+	+	+	+	+	+	+
Ускорение действия защит (ДЗ и ТЗНП) от оперативных Переключателей	+	+	+	-	-	-	+
Ускорение действия защит (ДЗ, ТЗНП и ТО) при включении Выключателя	+	+	+	-	-	-	+
Формирование сигналов на включение и отключение выключателя по командам “Включить” и “Отключить”	+	+	+	+	+	+	+

Продолжение таблицы 14

Характеристики	Производитель / устройство						
	НПП «ЭКРА» / ШЭ2607 011021	ООО«ИЦ «Бреслер»/ ШЛ 2606.14	ЗАО «РАДИУС Автоматика» / Сириус-3ЛВ-02	General Electric Multilin / L60	ABB / REL 650	AREVA / MICOM P547 v	Siemens AG / SIPROTEC 7SA522
Обеспечение контроля положения выключателя “Включено” и “Отключено”	+	+	+	+	+	+	+
Блокировка выключателя от многократных включений	+	+	-	+	+		+
Фиксация положения выключателя	+	+	-	-	-		
Автоматическое повторное включение (АПВ) с функциями контролей напряжений на шинах и линии в различных вариантах:							
- отсутствия;	+	+	-	+	-	-	+
- наличия;	+	+		+	+	-	+
Резервирование отказавшего выключателя (УРОВ)	+	+	+	+	+	+	+

4.3 Технические решения по релейной защите и автоматике ВЛ 220 кВ

Сравнительный анализ характеристик устройств релейной защиты воздушных линий, а также автоматики управления выключателями показали достаточность функций предъявляемым требованием. При выборе конкретных типов устройств релейной защиты необходимо учитывать принципы унификации в рамках одной подстанции.

На панели автоматики ОД и КЗ демонтируется оборудование управления ОД и КЗ, сами панели не демонтируются. В ходе реконструкции ПС 220 кВ Сора производится демонтаж существующих защит воздушных линий 220 кВ с заменой их на микропроцессорные терминалы защит и автоматики управления выключателем.

В ОПУ-2 устанавливаются новые панели управления выключателем и основных и резервных защит ВЛ с микропроцессорными терминалами на присоединениях ВЛ Д-64, ВЛ Д-63, ВЛ Д-65, ВЛ Д-66. Предусматривается установка четырех микропроцессорных шкафов:

-панель 23Р - КСЗ ВЛ Д-63, ВЛ Д-65, панель 24Р - КСЗ ВЛ Д-66, ВЛ Д-64, панель 25Р - КСЗ и АУВ ВЛ Д-63, ВЛ Д-65, панель 26Р - КСЗ и АУВ ВЛ Д-66, ВЛ Д-64.

Предусматривается организация сигналов ВЧТО №1 при действии УРОВ КСЗ и УРОВ АУВ по новым ВЧ - каналам. В ОПУ-2 устанавливается шкаф ВЧТО (панель 31Р) с разделением аппаратуры разных каналов.

Предусматривается организация оперативной блокировки ОРУ 220 кВ с организацией питания. В ОПУ-2 предусматривается установка шкафа питания цепей ОБР (панель 28Р), шкаф с микропроцессорным терминалом ОБР (панель 29Р). Питание цепей оперативной блокировки разъединителей должно предусматриваться от двух отдельных взаиморезервирующих друг друга выпрямительных устройств напряжением 220 В, гальванически не связанных с СОПТ и имеющих собственный контроль изоляции и напряжения.

Также предусматривается установка панели РАС, ОМП (панель 30Р) и шкаф перевода цепей напряжения (панель 27Р).

Предусматривается установка шкафа резервной центральной сигнализации в ОПУ-1 на базе микропроцессорного терминала (панель 11Р).

Питание микропроцессорных терминалов предусматривается от ЩПТ, устанавливаемого по смежному титулу «ПС 220 кВ «Сора». Замена ЩПТ, ВЗУ и АБ. Замена диспетчерского коммутатора». Питание оперативным постоянным током терминалов, цепей электромагнитов включения и первой группы электромагнитов отключения, цепей второй группы электромагнитов отключения должны выполняться отдельно, благодаря этому будет обеспечиваться возможность отключения выключателя даже при

неисправном терминале, с обеспечением правильной сигнализация положения выключателя.

Предусматривается демонтаж контрольных кабелей цепей вторичной коммутации от приводов демонтируемых отделителей и короткозамыкателей на ОРУ 220 кВ до шкафов зажимов и от шкафов зажимов до панелей управления в ОПУ.

Предусматривается прокладка новых контрольных кабелей от встроенных в новые выключатели трансформаторов тока до вновь устанавливаемых панелей защиты и автоматики выключателей. При этом терминалы основных и резервных защит включаются на разные вторичные обмотки ТТ.

Предусматривается также прокладка новых контрольных кабелей от панелей РЗА и панели центральной сигнализации, новой панели РАС в ОПУ до новых панелей защит и управления выключателями.

Предусматривается приобретение проверочной аппаратуры для обслуживания УРЗА – устройства для проверки сложных защит, измерительных приборов устройств РЗА.

Предусматривается изготовление и установка табличек на новых панелях.

4.4 Решения по организации высокочастотных каналов

В ходе реконструкции ПС 220 кВ «Сора» выполняется организация ВЧ - каналов связи между ПС 220 кВ «Сора» и ПС 220 кВ «Ужур», а так же между ПС 220 кВ «Сора» и ПС 220 кВ «Абакан – Районная». Организация осуществляется в соответствии со структурной схемы системы связи (см. приложения). Со стороны ПС 220 кВ «Сора» на ВЛ Д-63, Д-64, Д-65, Д-66 устанавливаются комплекты аппаратуры передачи команд РЗА и ПА, высокочастотные заградители, конденсаторы связи и фильтры присоединения. В ОПУ-2 устанавливается шкаф ВЧТО (панель 31Р) с разделением аппаратуры разных каналов.

Со стороны ПС 220 кВ «Ужур» и ПС 220 кВ «Абакан-Районная» на каждую из перечисленных выше ВЛ устанавливается такое же оборудование, кроме аппаратуры передачи команд РЗА и ПА. Данная аппаратура заменяется аппаратурой приема команд РЗА и ПА. На отпаечной ПС 220 кВ Туим в цепи отпаек линий ВЛ Д-63 и ВЛ Д-64 устанавливаются высокочастотные заградители для исключения прохождения ВЧ - сигнала.

На ПС 220 кВ «Ужур» и ПС 220 кВ «Абакан-Районная» производится доукомплектация существующих панелей автоматики соответствующими устройствами для приема сигнала ВЧТО.

4.5 Решения по организации блокировки выключателей при снижении элегаза.

Предусматривается организация блокировки оперирования вновь устанавливаемых выключателей при снижении давления элегаза.

В конструкции выключателя предусмотрены электроконтактные сигнализаторы давления, установленные на каждом полюсе выключателя. При замыкании контактов предупредительной сигнализации, передается предупредительный сигнал о снижении давления элегаза на панель сигнализации в ОПУ. При дальнейшем снижении давления элегаза в выключателе подается сигнал блокировки команд включения и отключения в цепях управления электромагнитами включения и электромагнитами отключения.

4.6 Решения по организации оперативной блокировки разъединителей.

В проекте предусматривается организация оперативной блокировки разъединителей 220 кВ. Для этого предусмотрены замки электромагнитной блокировки на новом разъединителе. ВОПУ-2 предусматривается установка шкафа питания цепей ОБР (панель 28Р), шкаф с микропроцессорным терминалом ОБР (панель 29Р). Питание цепей оперативной блокировки разъединителей должно предусматриваться от двух отдельных взаиморезервирующих друг друга выпрямительных устройств напряжением

220 В, гальванически не связанных с СОПТ и имеющих собственный контроль изоляции и напряжения.

4.7 Решения по организации автоматизированного рабочего места (АРМ) инженера РЗА

Решения по организации АРМ инженера РЗА на ПС 220 кВ «Сора» приняты в соответствии с нормативным документом СО 153-34.20122-2006. «Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ».

Проектом предусматривается организация автоматизированного рабочего места (АРМ) инженера РЗА в здании ОПУ, на котором осуществляется анализ аварийных ситуаций, контроль работы устройств РЗА, управление их уставками в соответствии с действующими инструкциями.

Персональный компьютер (ноутбук), на базе которого создается АРМ, должен иметь гигиенический сертификат, а также сертификаты, гарантирующие соблюдение стандартов по электрической, механической и пожарной безопасности (ГОСТ Р 50377-92), уровню создаваемых радиопомех (ГОСТ Р 51318.22-99), уровню электростатических полей (ГОСТ 12.1.045-84 ССБТ), работоспособности в условиях электромагнитных помех (ГОСТ Р 50628-2000) и уровню создаваемого шума (ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ) и вибрации (ГОСТ 12.1.012-90 ССБТ).

Мониторы являются основными средствами отображения оперативной информации пользователям. Мониторы должны применяться с цветными графическими жидкокристаллическими дисплеями высокого разрешения (1024x768, 1200x800 или 1600x1200). Нарботка на отказ дисплеев должна составлять не менее 20 тыс. ч, размер пикселя не более 0,28, частота вертикальной развертки 85-100 Гц. При необходимости должны использоваться мониторы с экранами диагональю от 15”.

Для распечатки ретроспективной информации, сформированных автоматически или по запросу (ведения протоколов, составления отчетов,

отображения результатов расчетов и т.п.) в составе АРМ должен быть применен лазерный принтер (в необходимых случаях лазерные или струйные цветные).

Функции АРМ инженера-службы РЗА:

- дистанционный просмотр конфигурации, уставок, состояний дискретных входов/выходов, диагностических параметров МП устройств РЗА;

- дистанционное изменение как отдельных уставок, так и активной группы уставок устройств МП РЗА в диалоговом режиме;

- считывание событий и осциллограмм из МП устройств РЗА и РАС в ручном и автоматическом режиме;

- выдача считанных осциллограмм в формате COMTRADE с целью их дальнейшей обработки;

- доступ к архиву уже считанных осциллограмм и событий для ретроспективного анализа;

- отображение состояния отдельных функций защит.

Состав и объем функциональных устройств АРМ инженера-службы РЗА приведены в таблице 15.

Таблица 15 – Состав и объем функциональных устройств

№ п/п	Наименование устройства (терминала, функции)	Количество
	ПС 220 кВ Сора	
1	Устройства РЗА ЛЭП 220 кВ:	
1.1	Комплект основных ступенчатых защит (КСЗ)	2
1.2	Комплект резервных ступенчатых защит (КСЗ)	2
1.3	Сервер (РАС)	1
1.4	Базовый информационный модуль	*
1.5	Терминал ОБР	1
1.6	Автоматика управления выключателем (АУВ) 220 кВ	2
1.7	Устройство резервирования при отказе выключателя (УРОВ)	2
1.8	Функция трехфазного автоматического повторного включения (ТАПВ)	2
2	Обще подстанционные устройства:	

Продолжение таблицы 15

№ п/п	Наименование устройства (терминала, функции)	Количество
	ПС 220 кВ Сора	
2.1	Шкафы для РЗА	4
2.2	Шкаф перевода цепей напряжения	1
2.3	Шкаф питания ОБР	1
2.4	Шкаф РАС, ОМП	1
2.5	Шкаф ВЧТО	1
2.6	Шкаф с микропроцессорным терминалом ОБР	1
2.7	Шкаф центральной сигнализации	1
3	Проверочное оборудование	
3.1	Устройство для проверки сложных защит	1
3.2	Устройство для проверки простых защит	1
3.3	Измерительный прибор для устройств РЗА	2
4	Оборудование ВЧ – канала	

5 Выбор ВЧЗ, КС, фильтров присоединения и ограничителей перенапряжения

Данным проектом предусмотрено:

- организация ВЧ каналов релейной защиты по ВЛ 220 кВ ПС «Сора» – ПС «Ужур», Д-63, фаза «В»;
- организация ВЧ каналов релейной защиты по ВЛ 220 кВ ПС «Сора» – ПС «Ужур», Д-64, фаза «С»;
- организация ВЧ каналов релейной защиты по ВЛ 220 кВ ПС «Сора» – ПС «Абакан-районная», Д-65, фаза «В»;
- организация ВЧ каналов релейной защиты по ВЛ 220 кВ ПС «Сора» – ПС «Абакан-районная», Д-66, фаза «С».

Реконструкция ВЧ каналов выполняется в следующем объеме:

- демонтаж существующей и установка новой аппаратуры обработки на ПС 220 кВ «Сора», Д-63, фаза «В»;
- демонтаж существующей и установка новой аппаратуры обработки на ПС 220 кВ «Сора», Д-64, фаза «С»;

- демонтаж существующей и установка новой аппаратуры обработки на ПС 220 кВ «Сора», Д-65, фаза «В»;
- демонтаж существующей и установка новой аппаратуры обработки на ПС 220 кВ «Сора», Д-66, фаза «С»;
- демонтаж существующей аппаратуры ВЧ связи АВПА;
- установка двух шкафов ШЭ-200-АКА, с двумя передатчиками АКА-«КЕДР» Тх;
- прокладка высокочастотного кабеля РК-75-9-12 от фильтров присоединения к проектируемым шкафам.

На рисунке 5.1 приведена схема организации ВЧ каналов.

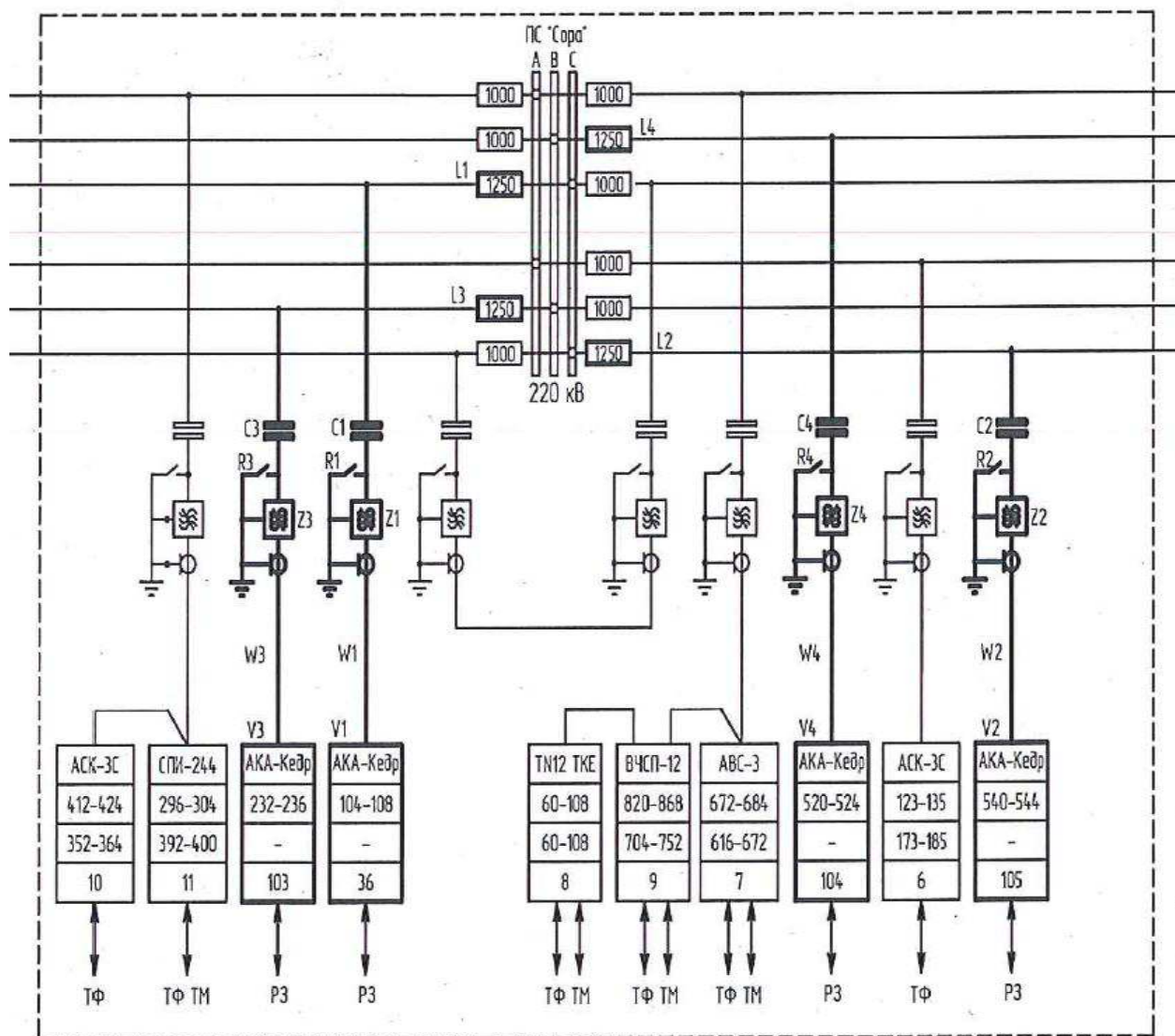


Рисунок 5.1-Схема организации ВЧ каналов

Где V1...V4 - аппаратура передачи команд РЗ АКА - «КЕДР» Тх;

L1 – заградитель высокочастотный с элементом настройки ВЗ-1250-0,5/90-138 УХЛ1;

L2,4 – заградитель высокочастотный с элементом настройки ВЗ-1250-0,5/180-740 УХЛ1;

L3 – заградитель высокочастотный с элементом настройки ВЗ-1250-0,5/140-328 УХЛ1;

C1...C4 – конденсатор связи СМАВ-110/ $\sqrt{3}$ -6,4УХЛ1+СМАП-110/ $\sqrt{3}$ -6,4УХЛ1;

R1...R4 – разъединитель однополюсной РВО-10/400М УХЛ2;

Z1...Z4 – фильтр присоединения ФП (76-1000)3200 УХЛ1;

W1...W4 – ВЧ кабель РК-75-9-12.

Выбор ограничителя перенапряжения производится в соответствии с «Методические указания, по применению ограничителей в электрических сетях 110-750 кВ»

Наибольшее длительно допустимое рабочее напряжение

Согласно ГОСТ 721 наибольшее рабочее напряжение в сети 220 кВ составляет:

$$U_{нр} = 252 \text{ кВ}$$

Длительно допустимое напряжение ($U_{нр0}$) выбирают с запасом 2-5% по отношению к длительно допустимому рабочему напряжению сети ($U_{нр}$).

$$U_{нр0} = \frac{U_{нр} \cdot 1,05}{\sqrt{3}} = 152,8 \text{ кВ}$$

Предварительно выбираем ОПН типа ОПН-220/156-10/650 (II) 2 УХЛ1. Длительно допустимое напряжение данного ОПН составляет 156 кВ.

1) Энергоемкость ограничителя

Выбираем энергоемкость ОПН 2,5-3,0 кДж/кВ, что соответствует классу разряда линии 2. Энергоемкость выбранного ограничителя составляет 3,5 кДж/кВ. Его номинальное напряжение составляет:

$$U_n = 206 \text{ кВ}$$

Общая энергоемкость рассчитывается по длительно допустимому рабочему напряжению и по номинальному напряжению:

Общая энергоемкость по наибольшему рабочему напряжению:

$$W1 = 3,5 \cdot U_{нр0} = 3,5 \cdot 156 = 546 \text{ кДж}$$

Общая энергоемкость по номинальному напряжению:

$$W2 = 3,5 \cdot U_n = 3,5 \cdot 210 = 735 \text{ кДж}$$

2) Работа в квазиустановившихся режимах.

Значение квазиустановившегося перенапряжения в неполнофазном режиме можно оценить по приложению 8 «Методические указания по применению ограничителей в электрических сетях 110-750 кВ»: при длине ВЛ 106 км (АС-500) и автотрансформаторе 63 МВА его можно принять равным 0,974

$$U_{y1} = 0,974 \cdot U_\phi = 0,974 \cdot \frac{252}{\sqrt{3}} = 141,7 \text{ кВ}$$

Для выбранного ограничителя временно допустимое повышение напряжения в течении 10 с составляет 212 кВ.

3) Работа при коммутационных перенапряжениях.

Величина коммутационных перенапряжений определяет значение остающегося напряжения на ограничителе, которое должно быть на 15-20% ниже испытательного напряжения коммутационным импульсом:

$$U_{остк} \leq \frac{U_{ки}}{1,15 - 1,2}$$

где $U_{остк}$ – остающееся напряжение на ограничителе при воздействии коммутационных импульсов;

$U_{ки}$ – выдерживаемый уровень коммутационных перенапряжений.

Для оборудования 220 кВ нормируется одноминутное испытательное напряжение частоты 50 Гц ($U_{исп50}$). Выдерживаемый уровень коммутационных перенапряжений можно

определить по формуле:

$$U_{ки} = 1,41 \cdot 1,35 \cdot 0,9 \cdot U_{исп50}$$

Для силовых трансформаторов 220кВ с нормальной изоляцией уровень одноминутного испытательного напряжения составляет 325 кВ. Выдерживаемый уровень коммутационного импульса изоляцией линейного зажима равняется:

$$U_{ки} = 1,41 \cdot 1,35 \cdot 0,9 \cdot U_{исп50} = 1,41 \cdot 1,35 \cdot 0,9 \cdot 325 = 556,8 \text{ кВ}$$

Значения остающихся напряжений на выбранном ограничителе при воздействии коммутационного импульса с длительностью фронта 30 мкс и при амплитуде 500 А и 1000 А составляет соответственно 380 и 393 кВ.

Остающееся напряжение ОПН меньше выдерживаемого уровня коммутационного импульса. Следовательно выбранный ОПН удовлетворяет требованиям по ограничению коммутационных перенапряжений.

4) Работа при грозовых перенапряжениях.

Уровни остающегося напряжения на ОПН должны быть меньше, чем у заменяемого разрядника. Поэтому сравним величины остающегося напряжения при грозовом импульсе и различных амплитудах тока ОПН и РВ.

5) Взрывобезопасность

Ток срабатывания противовзрывного устройства ОПН-220/156-10/650 (II) 2 УХЛ1 составляет 65 кА. Эта величина больше значений тока замыкания на землю, который составляет 7,11 кА.

Таким образом, ограничитель проходит по условию взрывобезопасности.

6) Длина пути утечки внешней изоляции ОПН.

Подстанция располагается в районе со 2й степенью загрязнённости атмосферы. По ГОСТ 9920 удельная длина утечки составляет 2,0 см/кВ. Удельная длина пути утечки для ограничителей выбирается на 20% больше, чем для остального оборудования подстанции.

Значит, длина пути утечки ОПН должна быть не менее:

$$L = 2,0 \cdot 1,2 \cdot 220 = 528 \text{ см}$$

Длина пути утечки ОПН-220/156-10/650 (II) 2 УХЛ1 имеет 2ю категорию по длине утечки (длина пути утечки ОПН не менее 528 см), следовательно подходит по данному условию.

7) Механические характеристики.

ОПН-220/156-10/650 (II) 2 УХЛ1 удовлетворяет требованиям, изложенным в «Методические указания по применению ограничителей в электрических сетях 110-750 кВ»

Вывод:

Ограничитель перенапряжения ОПН-220/156-10/650 (II) 2 УХЛ1 удовлетворяет всем требуемым условиям.

6 Конструктивное исполнение

Элегазовый выключатель, установленный при реконструкции ОРУ-220 кВ. И схема установки выключателя, представлены на рисунке 6.1.

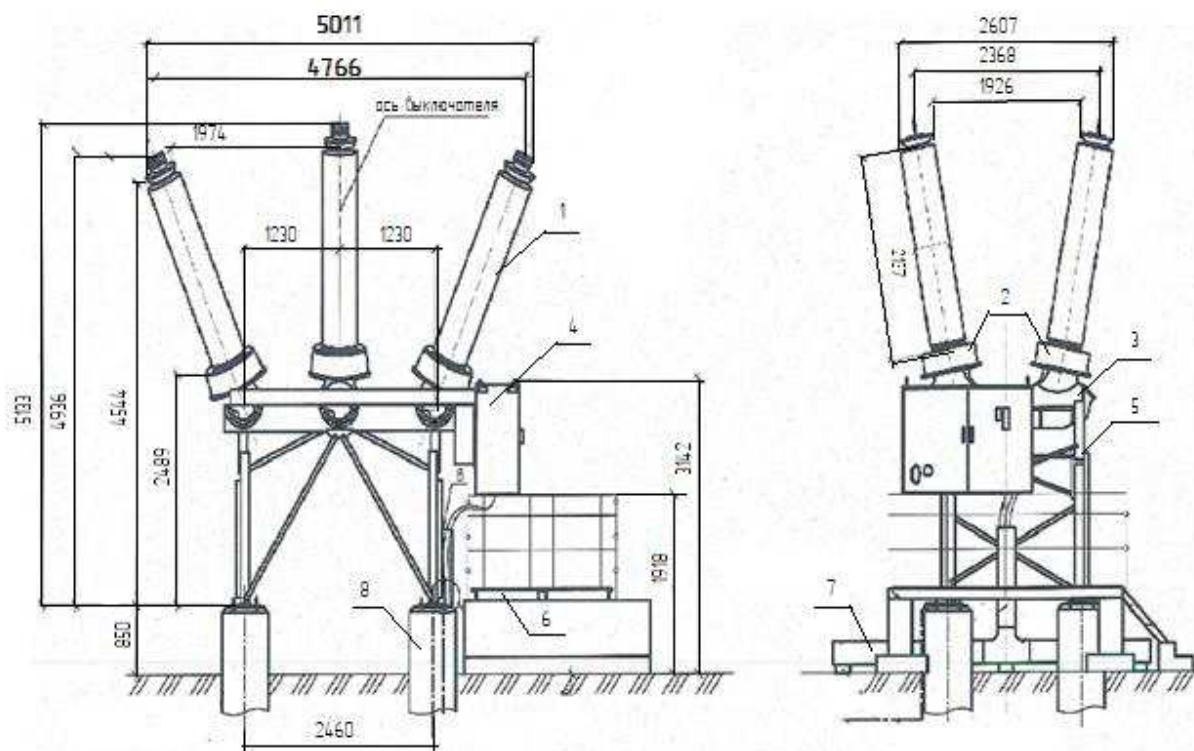


Рисунок 6.1-Схема установки выключателя 3AP1DT-245 (SIEMENS)

1-высоковольтный ввод; 2-трансформатор тока (SIEMENS); 3-бак выключателя; 4-привод выключателя; 5-рама выключателя; 6-площадка

обслуживания выключателя; 7-короб электротехнический стальной; 8- фундамент.

Разъединитель РГ 2-220.П/2000 УХЛ1, с электродвигательным приводом ПД-14УХЛ1, схема установки, с обозначением составных элементов представлен на рисунке 6.2.

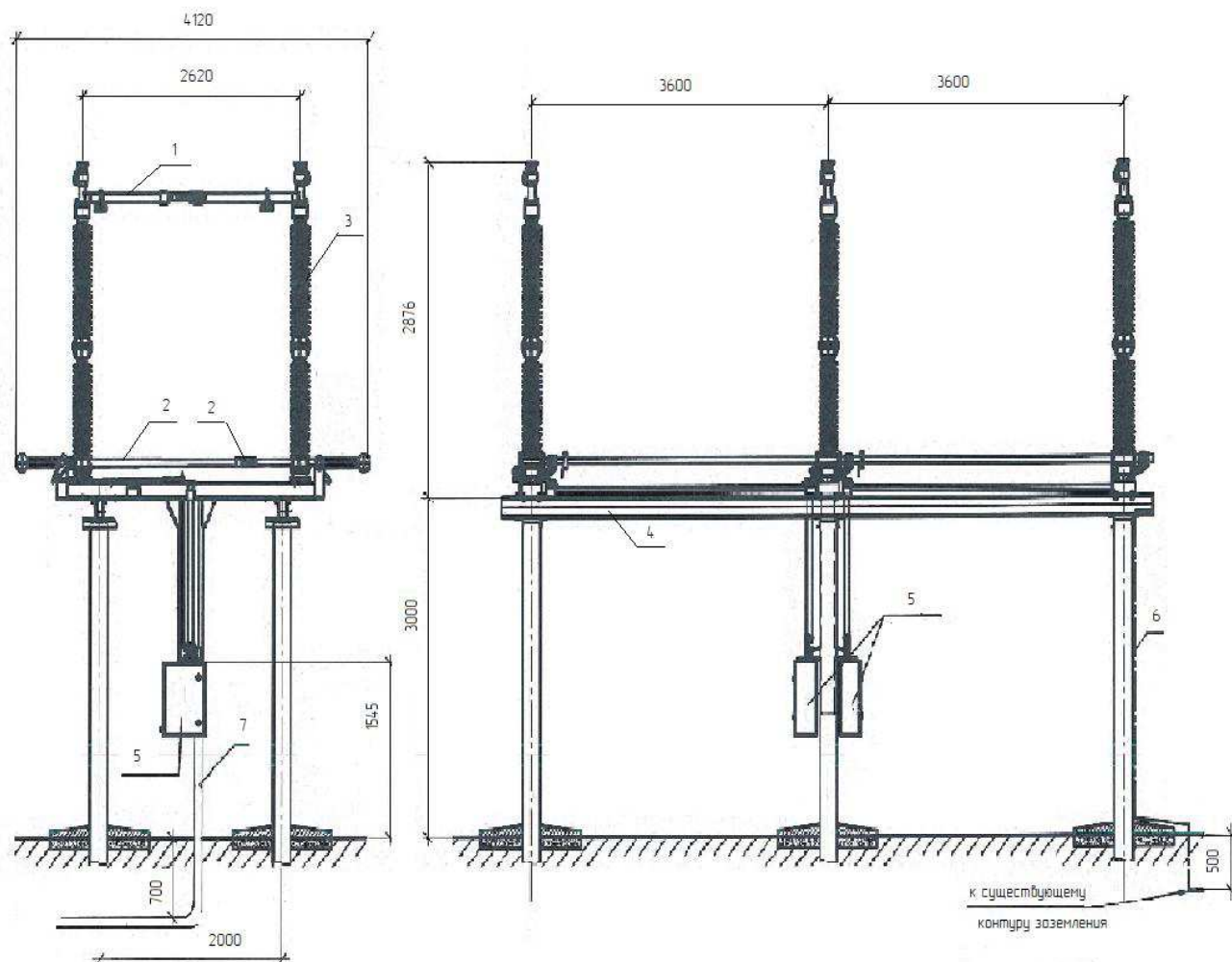


Рисунок 6.2-Схема установки разъединителя РГ 2-220.П/2000 УХЛ1, с электродвигательным приводом ПД-14УХЛ1

1-главные ножи разъединителя; 2-заземляющие ножи разъединителя; 3- опорно-стержневая изоляция; 4-рама разъединителя; 5-шкаф привода; 6- заземляющий спуск; 7-кабельканал.

Ёмкостной трансформатор напряжения тип VCU-245

На рисунке 6.3 представлена схема установки трансформатора напряжения с догрузочным резистором типа МР3021-Н-100/ $\sqrt{3}$ В-60ВА.

1-Трансформатор напряжения; 2- догрузочный резистор.

На рисунке 6.4 представлена схема установки догрузочного резистора

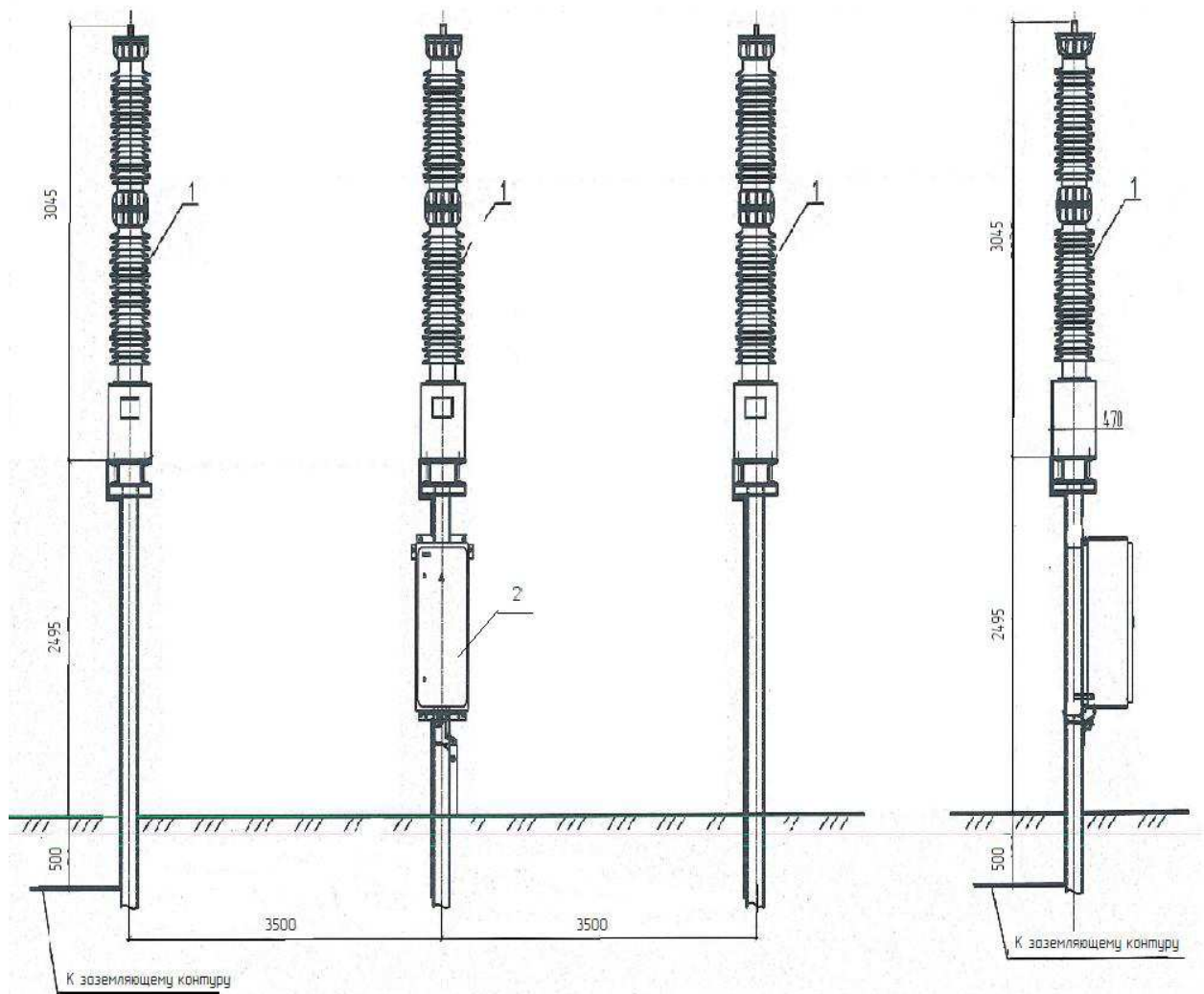


Рисунок 6.3 Схема установки трансформатора напряжения

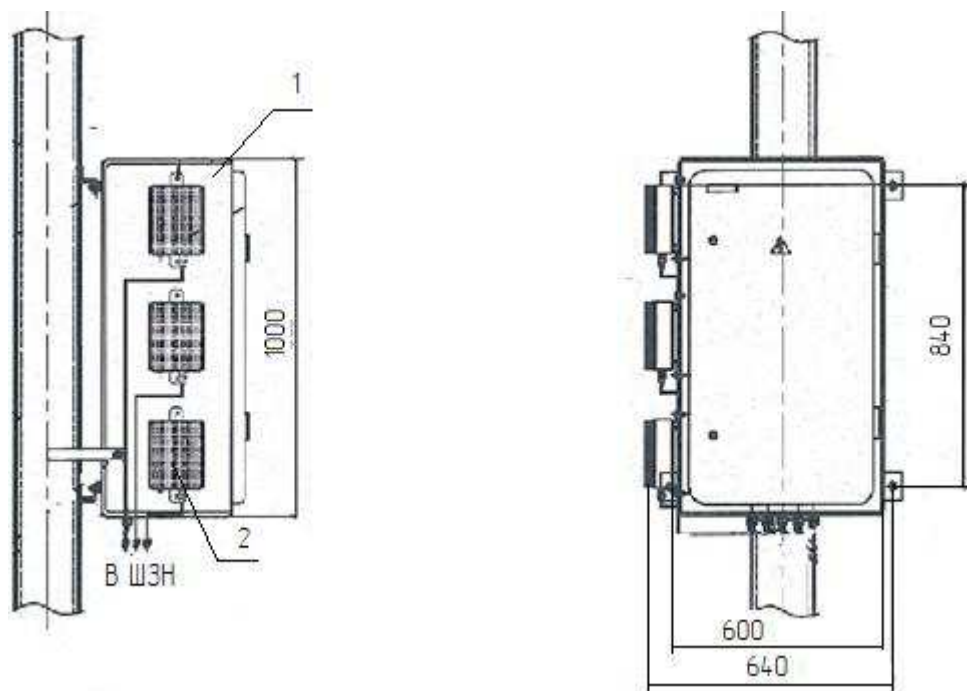


Рисунок 6.4-Схема установки догрузочного резистора

1-шкаф ШЗН; 2-резистор догрузочный.

Конденсаторы связи СМАВ-110/ $\sqrt{3}$ -6,4УХЛ1+СМАП-110/ $\sqrt{3}$ -6,4УХЛ1 установленные на отходящих линиях представлены на рисунке 6.5.

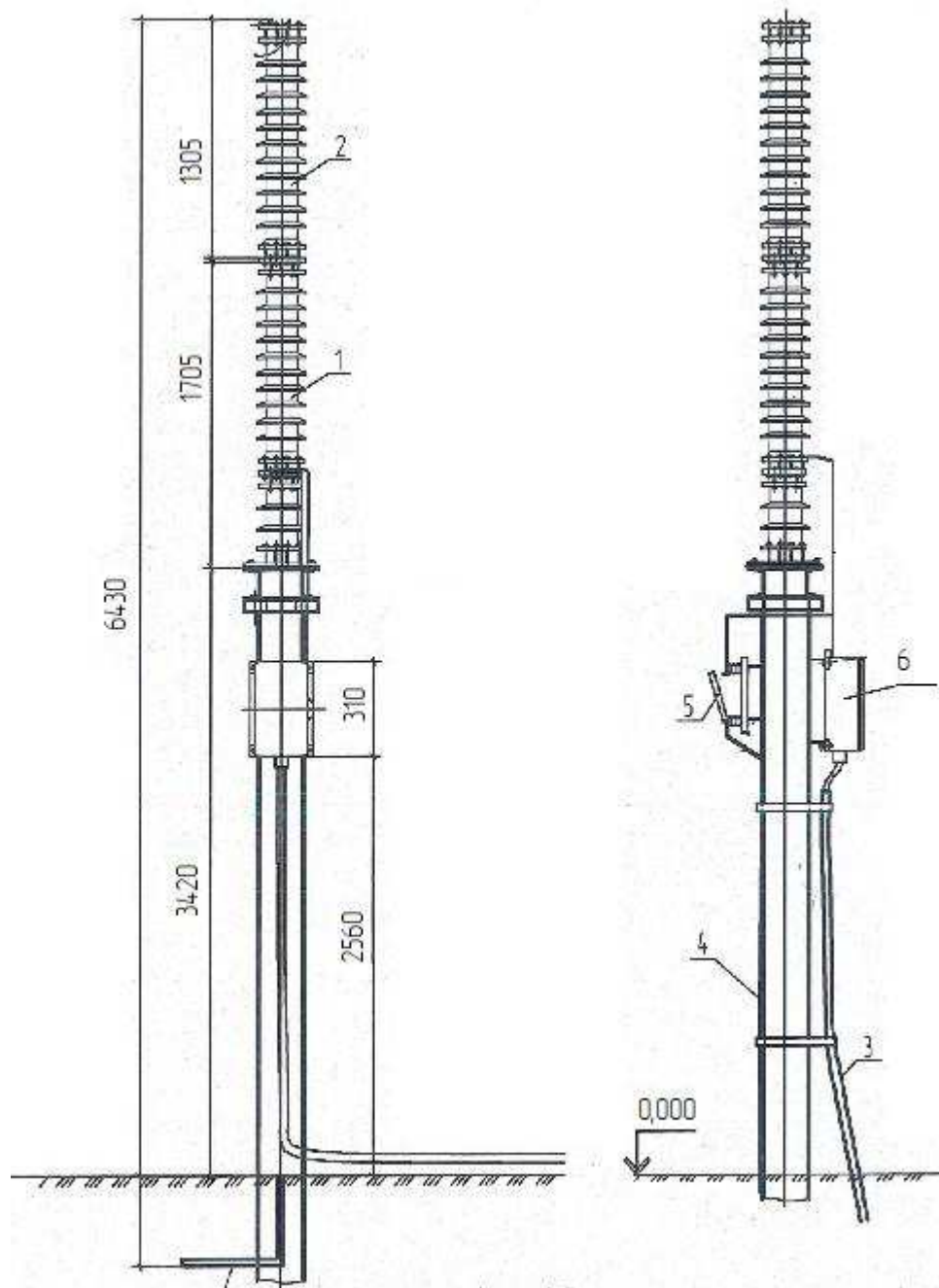


Рисунок 6.5-Конденсатор связи СМАВ-110/ $\sqrt{3}$ -6,4УХЛ1+СМАП-110/ $\sqrt{3}$ -6,4УХЛ1

1- конденсатор связи СМАП-110/ $\sqrt{3}$ -6,4УХЛ1; 2- конденсатор связи СМАВ-110/ $\sqrt{3}$ -6,4УХЛ1; 3-металлорукав; 4-полоса стальная сечением 40x5мм; 5-разъединитель РВО 10/400; 6-фильтр присоединения.

Высокочастотный заградитель ВЗ-1250-0,5 УХЛ1 и схема установки приведены на рисунке 6.6

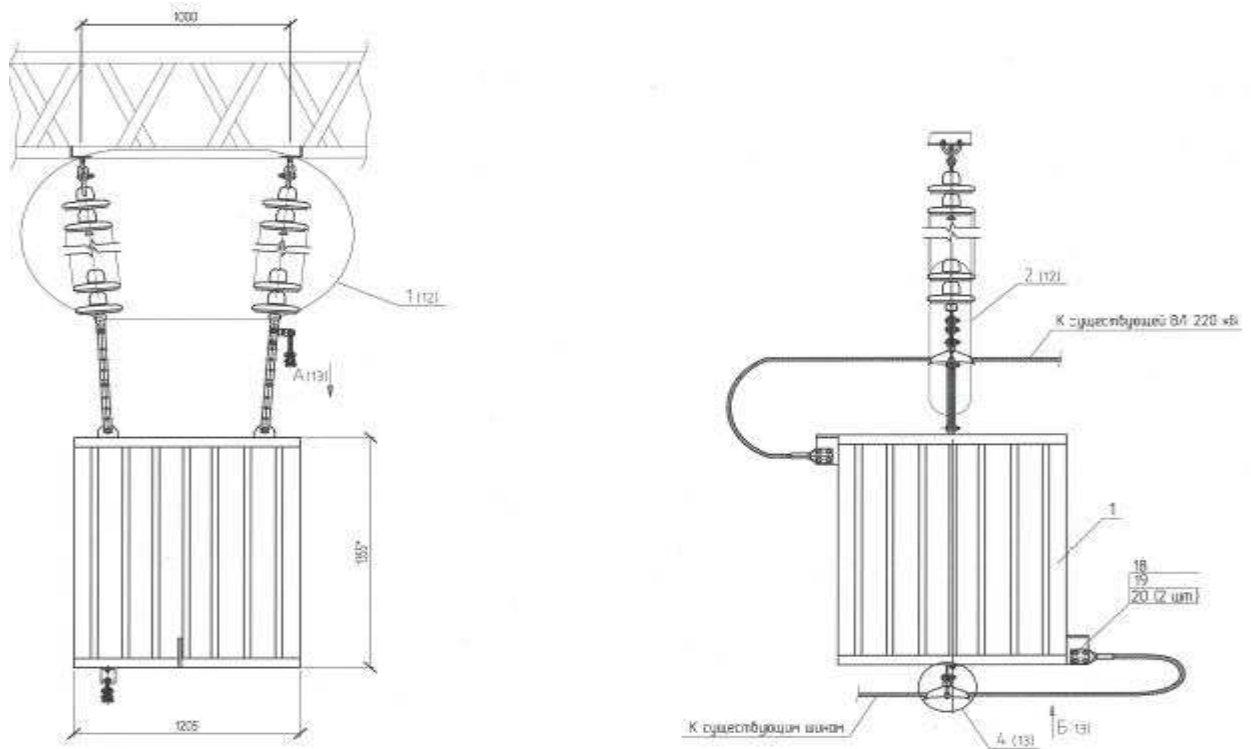


Рисунок 6.6-Схема установки ВЗ

Фильтр присоединения ФПМ-РС-3200, устанавливаемый на конденсаторе связи, приведен на рисунке 6.7.

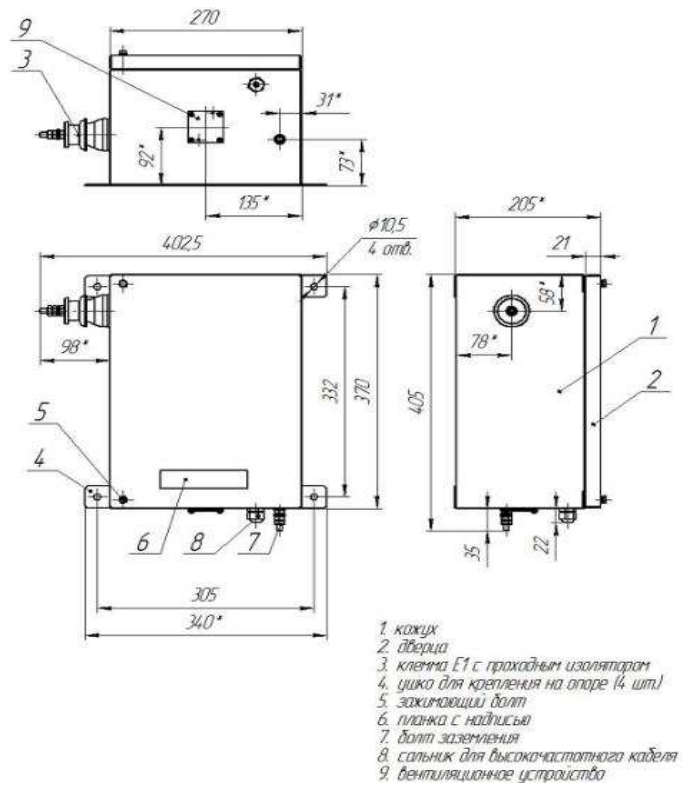


Рисунок 6.7-Фильтр присоединения ФПМ-РС-3200

Ограничитель перенапряжения ОПН-220/156-10/650 (II) 2 УХЛ1, установленный на ПС вместо устаревших разрядников, представлен на рисунке 6.8.

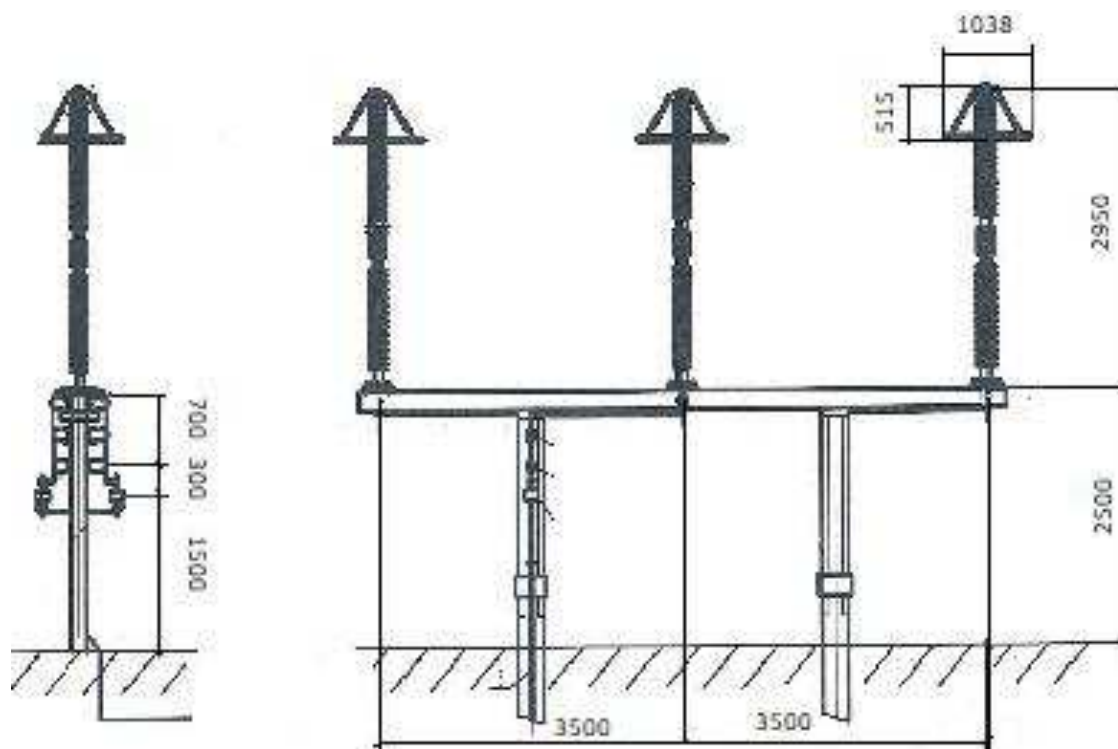


Рисунок 6.8-Схема установки ограничителя перенапряжения

7 Оценка стоимости реконструкции ПС

Общая характеристика района размещения ПС1. Общая характеристика района размещения подстанции 220 кВ.

ПС 220/110/35/10 кВ Сора расположена в республике Хакасия, Усть-Абаканский район, 800 м северо-восточнее станции Ербинская.

В настоящее время площадка существующей подстанции ПС 220/110/35/10 кВ Сора представляет собой территорию, застроенную зданиями и сооружениями действующей ПС. Рельеф рассматриваемого участка ровный, спланирован при застройке.

Грунты - щебень с примесью сумеси и почвы.

Установлены два элегазовых выключателя ЗАР1DT-245 (SIEMENS)

В ходе реконструкции были выполнено:

- демонтаж ОД КЗ-220 кВ 1(2)АТ;
- демонтаж Рк-220 кВ 1(2)АТ;
- новое ОРУ-220 по схеме №220-4Н «Два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий».
- противоаварийную автоматику.

Расчет затрат на реконструкцию ПС 220 кВ в базисных ценах 2000 г. и ценах на 2 квартал 2020 года представлены в таблице 16.

Таблица 16 Затрат на реконструкцию ПС 220 кВ в базисных ценах 2000 год

№ п/п	Составляющие затрат	Расчет затрат	Величина затрат, тыс. руб.
1	Демонтаж ОРУ-220 кВ: -2 отделителя; -2 короткозамыкателя.	2,56×2 2,56×2	5,12 5,12
2	ОРУ-220 кВ Установлены: -2 выключателя, -2 разъединителя, -2 ТН, -12 ОПН-220 кВ, -4 КС, -4 ВЧЗ,	27400×2	54800
3	Установлена ПА	1164	1164
4	Постоянная часть затрат	46541×0,6	27924,6
	итого		83898,9
5	Стоимость строительства ПС (с учетом затрат сопутствующего строительству 32,3%*)	83898,9×1,323	110998,165
	Всего:		110998,165

Составляющие стоимости реконструкции ПС 220 кВ:

- строительно-монтажные работы - 19%;
- оборудование - 60%;
- пусконаладочные работы - 4%;
- прочие затраты - 17%;

В ценах на 2 квартал 2020 г. стоимость строительства ПС 220 кВ составит:

- строительно-монтажные работы

$110998,165 \times 8,1 \times 0,19 = 170826,2$ тыс. руб.

где 8,1 - индекс изменения сметной стоимости строительно-монтажных работ по видам строительства, определяемых с применением федеральных единичных расценок на 2 квартал 2020 года (Приложение 1 к письму Минстроя России от 21 мая 2020 г №19271-ИФ/09- прочие объекты без учета НДС).

- оборудование

$110998,165 \times 0,6 \times 4,91 = 327000,6$ тыс. руб.,

где 4,91 - индекс изменения сметной стоимости оборудования на 2 квартал 2020 года (Приложение 3 к письму Минстроя России от 28 мая 2020 г. № 20259-ИФ/09- электроэнергетика без учета НДС).

- пусконаладочные работы

$110998,165 \times 0,04 \times 19,68 = 87377,75$ тыс. руб.,

где 19,68 - индекс изменения сметной стоимости строительно-монтажных работ по видам строительства, определяемых с применением федеральных единичных расценок на 2 квартал 2020 года (Приложение 1 к письму Минстроя России от 21 мая 2020 г №19271-ИФ/09- пусконаладочные работы без учета НДС).

- прочие затраты

$110998,165 \times 0,17 \times 9,7 = 183035,97$ тыс. руб.,

где 9,7 - индекс изменения сметной стоимости прочих работ и затрат на 2 квартал 2020 года (Приложение N 2 к письму Минстроя России от 28.05.2020 №20259-ИФ/09- электроэнергетика без учета НДС).

Всего: $170826,2 + 327000,6 + 87377,75 + 183035,97 = 768240,52 \times 1 \times 1,09 = 837382,2$ тыс. руб.

Для расчета полной стоимости ПС к сумме стоимостных показателей ее основных элементов, добавляются затраты, сопутствующие строительству, которые исчисляются от этой суммы и составляют:

1,0 -5,0% - подготовительные работы

$837382,2 \times 0,04 = 33495,3$ тыс. руб;

1,0-4,0% - благоустройство

$837382,2 \times 0,04 = 33495,3$ тыс. руб;

3,9 % - временные здания и сооружения, при реконструкции и расширении применяется коэффициент 0,8, что составит 3,12%

$837382,2 \times 0,0312 = 26126,3$ тыс. руб.;

7,5-8,5% - проектно-изыскательские работы и авторский надзор

$837382,2 \times 0,08 = 66990,6$ тыс. руб.;

2,6-3,18% - содержание службы заказчика-застройщика, строительный контроль $837382,2 \times 0,026 = 21772$ тыс. руб.;

7,0-8,5% - прочие работы и затраты (производство работ в зимнее время, пусконаладочные работы, средства на покрытие затрат строительных организации по добровольному страхованию работников и имущества, затраты по перевозке рабочих, затраты связанные с командированием рабочих для строительства, средства на премирование за ввод объекта в эксплуатацию, средства на проведение подрядных торгов)

$837382,2 \times 0,07 = 58616,7$ тыс. руб.;

3% - непредвиденные затраты

$837382,2 \times 0,03 = 25122$ тыс. руб.

Полная стоимость ПС:

$837382,2 + 33495,3 + 33495,3 + 26126,3 + 66990,6 + 21772 + 58616,7 + 25122 =$
 $= 1103000,4$ тыс.руб.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результатом бакалаврской работы является проект реконструкции ОРУ-220 кВ ПС «Сора», замена ОД КЗ-220 кВ на элегазовые выключатели, с добавлением сопутствующей периферии. Для повышения надёжности электроснабжения региона.

В ВКР описывается характеристика объекта, анализ надёжности работы ПС. На основании статистики рабочих токов, проведен расчет токов короткого замыкания.

Произведен сравнительный анализ всего высоковольтного оборудования, предполагаемого для установки, как на замену, так и для вновь устанавливаемого.

Выбраны новые устройства релейной защиты и автоматики. Комплексы ВЧ связи.

Проведена оценка стоимости реконструкции ПС. В результате установка нового оборудования обеспечит более надежное электроснабжение питающихся от него потребителей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Выключатели элегазовые серии ВГТ-УЭТМ® на 220 кВ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://dv-electro.ru/images/opros/VGT-35,110,220.pdf> (дата обращения 20.04.2020).
2. Выключатель элегазовый колонковый ВГТ-220 (У1, УХЛ1) (трехполюсное/однополюсное исполнение) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://zeto.ru/products_and_services/high_voltage_equipment/elegazovye-kolonkovye-vyklyuchateli-tipa-vgt-220 (дата обращения 20.04.2020).
3. ГОСТ Р 52726-2007 Разъединители и заземлители переменного тока на напряжение свыше 1 кВ и приводы к ним. Общие технические условия (с Поправкой).
4. Кокин С.Е. Проектирование подстанций распределительного электросетевого комплекса [Текст] : учебное пособие для студентов, обучающихся по направлению подготовки 13.03.02 - "Электроэнергетика и электротехника" / С. Е. Кокин, С. А. Дмитриев ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Национальный исследовательский университет "МЭИ". - Москва : Издательство МЭИ, 2018. - 231 с.
5. Кокин С.Е. Схемы электрических соединений подстанций [Текст] : учебное пособие / Кокин С.Е., Дмитриев С.А., Хальясмаа А.И., - 2-е изд., стер. - М.:Флинта, Изд-во Урал. ун-та, 2017. - 100 с.
6. Кулеева Л.И. Проектирование подстанции [Текст]: учебное пособие / Л.И. Кулеева, С.В. Митрофанов, Л.А. Семенова. - Электрон. текстовые данные. - Оренбург: Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2016. - 111 с.
7. Латушкина, Л. Л. Переходные процессы в электроэнергетических системах. Расчет токов короткого замыкания :учеб. пособие для выполнения курсовой работы / Л. Л. Латушкина. А. С. Дулесов; Сиб. федер.ун-т, ХТИ филиал СФУ. – Абакан: Ред.-изд. сектор ХТИ – филиала СФУ, 2013. – 147 с.
8. Назарычев, А.Н. Реконструкция открытых распределительных устройств подстанций 220 кВ на основе применения вакуумных выключателей и компактных блочно-модульных конструкций / Д.А. Андреев, И.Н. Сулыненков, Д.Л. Панков, Т.А. Жулина // Вестник ИГЭУ. – Вып. 2. – 2011.
9. Немировский, А.Е. Электрооборудование электрических сетей, станций и подстанций [Текст]: учебное пособие / А.Е. Немировский, И.Ю. Сергиевская, Л.Ю. Крепышева. - М: "Инфра-Инженерия", 2018. - 148 с.
10. Новые компактные распределительные устройства 110 и 220 кВ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://smartenergo.net/products/vysokovoltное-oborudovanie-dlya-oru/183.html> (дата обращения 20.04.2020).
11. Ополева, Г. Н. Схемы и подстанции электроснабжения : справочник / Г. Н. Ополева. – М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2010. – 480 с.
12. Ополева, Г.Н. Электроснабжение промышленных предприятий и городов [Текст] : учеб. пособие / Г. Н. Ополева. - Москва : Форум : ИНФРА-М, 2018. - 416 с.
13. ОРУ 220 кВ. Открытое распределительное устройство [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://tes.ru/solutions_oru/oru-220/ (дата обращения

20.04.2020).

14. Основы составления главных схем электрических подстанций : учебное пособие / М. Ю. Николаев, В. Н. Горюнов, С. Ю. Прусс [и др.] ; Минобрнауки России, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Омский государственный технический университет". - Омск : Изд-во ОмГТУ, 2019. - 93 с.

15. Платонова, Е. В. Электроэнергетические системы сети: метод. указания к курсовому проектированию / Е. В. Платонова. – Абакан: Сиб. федер. ун-т; ХТИ – филиал СФУ, 2015. – 61 с.

16. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации [Текст]. – М. : ЭНЕРГИЯ, 2013. – 348 с.

17. Правила устройства электроустановок [Текст] : утверждены Министерством энергетики Российской Федерации : все действующие разделы шестого и седьмого изданий. - Москва : Проспект, 2019. - 831 с.

18. Разъединители наружной установки 220 кВ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.electroshield.ru/catalog/razyediniteli-i-vla/razediniteli-naruzhnoy-ustanovki-220-kv/> (дата обращения 20.04.2020).

19. Разъединители наружной установки серии РГ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://zeto.ru/products_and_services/high_voltage_equipment/rg-220-kv (дата обращения 20.04.2020).

20. Разъединители переменного тока на напряжение 220 кВ серии РН. Руководство по эксплуатации 0ГК.412.235 РЭ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://demsli.by/sites/default/files/demslifels/re_rn220_elsh.ru.pdf (дата обращения 20.04.2020).

21. Разъединители серии РГП на напряжение 220 кВ. Руководство по эксплуатации ИВЕЖ.674214.038-01 РЭ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.elec.ru/viewer?url=/files/127/000000087/attfile/rukovodstvo-po-ekspluatatsii-razedinitelej-serii-rgp-na-napryazhenie-220-kv.pdf> (дата обращения 20.04.2020).

22. Разъединители типа РПД(РПДО)-УЭТМ на напряжение 220 кВ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://dv-electro.ru/raz-ediniteli-i-vyklyuchатели-nagruzki/raz-ediniteli-220-kv> (дата обращения 20.04.2020).

23. Распределительные устройства 220 кВ на базе компактного модуля ЗАО «ЗЭТО» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://ruexport.org/rus_export_catalog/18108/893.html?printable

24. РД 153-34.0-20.527-98. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования; дата введ. 23.03.1998 [Текст]. – М.: Издательство МЭИ, 2013. – 131 с.

25. Рекомендации по технологическому проектированию подстанций переменного тока с высшим напряжением 35 - 750 кВ [Текст]. - М. : ЭНАС, 2017. - 80 с.

26. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д.Л. Файбисовича. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : ЭНАС, 2012. – 376 с.

27. СТО 56947007-29.240.124-2012. Укрупнённые стоимостные показатели линий электропередачи и подстанций напряжением 35-1150 кВ». – Стандарт организации ОАО «ФСК ЕЭС», Дата введения - 2012-07-09.

28. СТО 56947007-29.240.30.010-2008. Схемы принципиальные

электрические распределительных устройств подстанций 35-750 кВ. Типовые решения. – Стандарт организации ОАО «ФСК ЕЭС», Дата введения - 2007-12-20.

29. Трансформатор напряжения элегазовый ЗНОГ-220 (У1, УХЛ1). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://zeto.ru/products_and_services/high_voltage_equipment/transformatory-napryazeniya-izmeritelnye-elegazovye (дата обращения 20.04.2020).

30. Трансформатор тока ТОГФ-220 с азотной изоляцией [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://zaokurs.ru/uploads/files/89/togf-220sazotnoyizolyacieu.pdf> (дата обращения 20.04.2020).

31. Трансформатор тока ТРГ-УЭТМ 110/220 кВ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://dv-electro.ru/izmeritelnye-transformatory/transformatory-110-220-kv> (дата обращения 20.04.2020).

32. Трансформаторы напряжения ЗНГ-УЭТМ®-220 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.uetm.ru/katalog-produktsii/item/znguetm220/> (дата обращения 20.04.2020).

33. Электрические станции и подстанции. Проектирование электрической части подстанции: метод. указания к выполнению курсового проектирования / сост. П. В. Валь ; Сиб. федер. ун-т, ХТИ – филиал СФУ. – Абакан : Ред.-изд. сектор ХТИ – филиала СФУ, 2014. – 38 с.

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Хакасский технический институт – филиал ФГАОУ ВО
«Сибирский федеральный университет»
институт
«Электроэнергетика»
кафедра

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
Г.Н. Чистяков
подпись инициалы, фамилия
«27» 06 2020 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»
код- наименование направления

Реконструкция ОРУ-220 кВ ПС «Сора».
тема

Руководитель	<u>Е.В. Платонова</u> подпись, дата	доцент каф. ЭЭ, к.т.н. должность, ученая степень	<u>Е.В. Платонова</u> инициалы, фамилия
Выпускник	<u>Вильф 26.06.2020г.</u> подпись, дата		<u>В.В. Ильичев</u> инициалы, фамилия
Нормоконтролер	<u>Кы</u> 26.06.2020 подпись, дата		<u>И.А. Кычакова</u> инициалы, фамилия

Абакан 2020