



Министерство науки и высшего образования РФ  
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

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2022 г.

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

Студенту Сутугину Михаилу Владимировичу  
(фамилия, имя, отчество)

Группа ЗХЭн 17-02 (17-2)

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника  
(код) (наименование)

Тема выпускной квалификационной работы Реконструкция ОРУ 500 кВ ПС 500 кВ «Означенное»

Утверждена приказом по институту № 212 от 15.04.2022

Руководитель ВКР Коловский А. В., зав. кафедры «Электроэнергетика»  
(инициалы, фамилия, должность и место работы)

Исходные данные для ВКР: Схема подстанции ОРУ 500 кВ ПС 500 кВ Означенное, перечень и параметры оборудования ОРУ 500 кВ, Результаты замеров токов ЛЭП и трансформаторов ПС.

Перечень разделов ВКР:

1 Теоретическая часть.

1.1 Назначение ОРУ 500 кВ и схемы выполнения

1.2 Описание ОРУ 500 кВ (и его оборудования) ПС Означенное (до реконструкции)

1.3 Основное силовое оборудование ОРУ 500 кВ (Обор выключателей 500 кВ)

2. Аналитическая часть

2.1 Выбор выключателей 500кВ

2.2 Разбиение реконструкции ОРУ по этапам и описание работ.

2.3 Расчет нагрузок собственных нужд переменного тока открытой части ОРУ 500 кВ ПС Означенное

3 Практическая часть

3.1 Автоматизированная информационно измерительная система коммерческого учета электроэнергии

3.2 Оценка капитальных вложений по укрупненным стоимостным показателям

Перечень графического материала

1. Однолинейная схема ОРУ 500кВ ПС Означенное

2. План сетей электроснабжения потребителей собственных нужд открытой части ОРУ 500 кВ

3. Однолинейная схема электроснабжения потребителей собственных нужд открытой части ОРУ 500 кВ

Руководитель ВКР

/ А. В. Коловский

(подпись, инициалы и фамилия)

Задание принял к исполнению

/ М. В. Сутугин

(подпись, инициалы и фамилия студента)

« 26» января 2022г

« »

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	.....
1 Теоретическая часть.....	.....
1.1 Назначение ОРУ 500 кВ и схемы выполнения .....	.....
1.2 Описание ОРУ 500 кВ (и его оборудования) ПС Означенное (до реконструкции).....	.....
1.3 Основное силовое оборудование ОРУ 500 кВ (Обор выключателей 500 кВ).....	.....
2 Аналитическая часть.....	.....
2.1 Выбор выключателей 500кВ .....	.....
2.2 Разбиение реконструкции ОРУ по этапам и описание работ.....	.....
2.3 Расчет нагрузок собственных нужд переменного тока открытой части ОРУ 500 кВ ПС Означенное .....	.....
3 Практическая часть .....	.....
3.1 Проектирование Автоматизированная информационно измерительная система коммерческого учета электроэнергии .....	.....
3.2 Оценка капитальных вложений по укрупненным стоимостным показателям.....	.....
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	.....
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	.....

## ВВЕДЕНИЕ

Развитие экономики любой страны, на настоящем этапе развития цивилизации, невозможна без использования энергии. Электроэнергия получила наиболее широкое распространение благодаря возможности передачи на большие расстояния и легкости преобразования в любой другой вид энергии (механическая, тепловая, световая). Она вырабатывается на электростанциях и распределяется между потребителями посредством электрических сетей. Производительность и, в конечном счете, прибыль, в значительной степени зависит от стабильности подачи энергии. Прекращение подачи электроэнергии парализует все виды деятельности. Наличие энергии – одно из необходимых условий для решения практически любой задачи в современном мире.

Основной задачей энергосистемы является обеспечения потребителя не только качественной электроэнергией, но и необходимой надежностью электроснабжения. Электрические подстанции служат для преобразования класса напряжения и распределения электроэнергии.

В данной работе объектом исследования является электрическая двухтрансформаторная подстанция.

ПС 500 кВ Означенное расположена в 8 км к юго-западу от г. Саяногорск, в Бейском районе Республики Хакасия, и находится в ремонтно-эксплуатационном обслуживании филиала ПАО «ФСК ЕЭС» - Хакасское предприятие магистральных электрических сетей. ПС 500 кВ Означенное введена в эксплуатацию в 1984 году. Это один из крупнейших в регионе электросетевых объектов, обеспечивающий электроснабжение социальных и промышленных потребителей юга Красноярского края и Республики Хакасия, включая Саяногорский и Хакасский алюминиевые заводы. К шинам ПС 500 кВ Означенное подключены четыре ВЛ 500 кВ и десять ВЛ 220 кВ.

## 1.1 Назначение ОРУ 500 кВ и схемы выполнения

Открытое распределительное устройство (ОРУ) — распределительное устройство, оборудование которой располагается на открытом воздухе. Все элементы ОРУ размещаются на бетонных или металлических основаниях. Расстояния между элементами выбираются согласно ПУЭ. На напряжении 110 кВ и выше под устройствами, которые используют для работы масло (масляные трансформаторы, выключатели, реакторы) создаются маслоприемники — заполненные гравием углубления. Эта мера направлена на снижение вероятности возникновения пожара и уменьшение повреждений при аварии на таких устройствах.

Сборные шины ОРУ могут выполняться как в виде жёстких труб, так и в виде гибких проводов. Жёсткие трубы крепятся на стойках с помощью опорных изоляторов, а гибкие подвешиваются на порталы с помощью подвесных изоляторов.

Территория, на которой располагается ОРУ, в обязательном порядке огораживается.

Преимущества:

- изготовление ОРУ не требует дополнительных затрат на строительство помещений;
- ОРУ позволяют использовать электрические устройства больших размеров, чем, собственно, и обусловлено их применение на высоких классах напряжений;
- ОРУ удобнее ЗРУ в плане расширения и модернизации;
- возможно визуальное наблюдение всех аппаратов ОРУ.

Недостатки:

- эксплуатация ОРУ затруднена в неблагоприятных климатических условиях, кроме того, окружающая среда сильнее воздействует на элементы ОРУ, что приводит к их раннему износу;
- ОРУ занимают намного больше места, чем ЗРУ.

Схемы выполнения ОРУ

Блок (линия-трансформатор) с выключателем

Треугольник

Четырехугольник

Трансформаторы – шины с присоединением линий через два выключателя

Трансформатор - шины с полуторным присоединением линий

Полуторная схема

## 1.2

### ИЗЪЯТ РАЗДЕЛ

#### 1.3 Оборудование ОРУ 500 кВ ПС 500 кВ Означенное (обзор выключателей)

Воздушные выключатели серий ВВБК-500

Общие сведения

Выключатели предназначены для выполнения коммутационных операций в нормальных и аварийных режимах в сетях переменного трехфазного тока с номинальным напряжением 500кВ. Частотой тока 50 Гц.

Структура условного обозначения

ВВБК-ХХ-Х/3150У1:

В-выключатель;

В-воздушный;

Б - с металлической гасительной камерой - баком;

К - крупномодульный;

Х - номинальное напряжение ,500 кВ;

Х - категория утечки внешней изоляции (А, Б);

Х - номинальный ток отключения , 50 кА;

3150 - номинальный ток, А;

У1 - климатическое исполнение и категория размещения.

Условия эксплуатации:

- Высота над уровнем моря не более 1000 м.
- Температура окружающего воздуха от 45 до минус 45°С.
- Тяжение проводов в горизонтальном направлении в плоскости параллельной - продольной оси выключателя для ВВБК-500А - 1500 Н.
- Скорость ветра до 15 м/с при гололеде толщиной корки льда до 20 мм.
- Допустимая скорость ветра до 40 м/с при отсутствии гололеда.
- Относительная влажность сжатого воздуха при заполнении дугогасительных камер не должна превышать 30% при избыточном давлении 4 МПа.

Выключатели соответствуют техническим условиям:

ВВБК-500А-50/3150 У1

ТУ16-520.203-83.

Технические характеристики

Выключатели серии ВВБК имеют в каждом разрыве двустороннее дутье. Благодаря повышению номинального давления до 4 МПа и усовершенствованию дугогасительной системы удалось значительно поднять номинальный ток отключения 50кА. Общий вид полюса выключателя ВВБК-500 приведен на рис. 1.



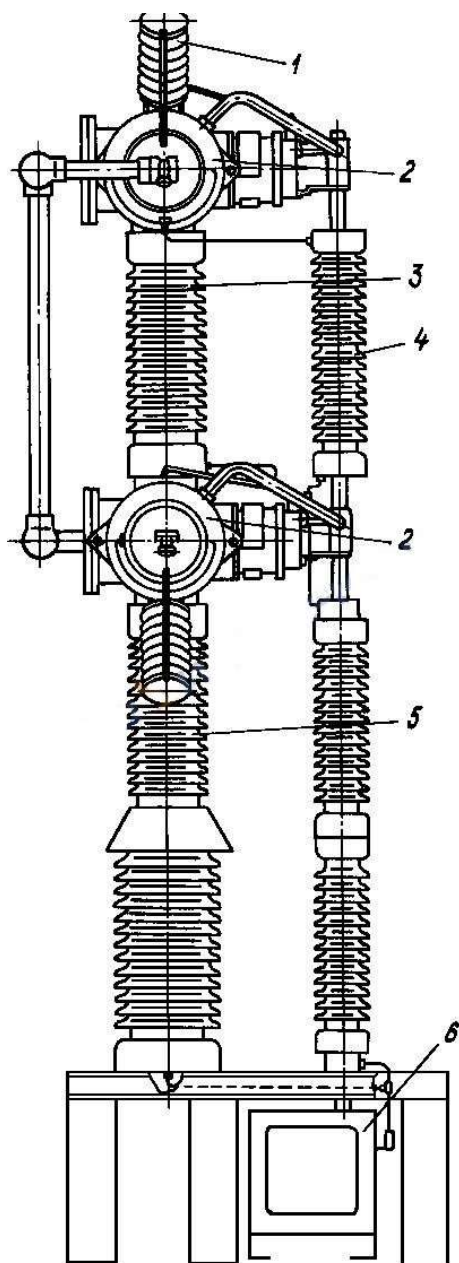


Рисунок 1– Общий вид полюса выключателя ВВБК-500

Полюс выключателя состоит из двух дугогасительных камер 2 с промежуточным изолятором 3 между ними, установленных на опорном изоляторе 5. На дугогасительных камерах установлены делительные конденсаторы 1 для выравнивания распределения напряжения по разрывам дугогасительных камер полюса в отключенном положении. Рядом с опорным изолятором расположена колонка управления 4, в которой стеклопластиковый воздухопровод постоянно подает сжатый воздух в

дугогасительные камеры. Внутри воздухопровода проходит стеклопластиковая тяга, являющаяся элементом механической системы управления и служащая для подачи управляющего воздействия от шкафа управления 6 полюса к блокам управления дугогасительных устройств. Внутренние полости изоляции выключателя, не находящиеся под постоянным давлением, вентилируются сжатым воздухом под большим избыточным давлением, поступающим через редукторный клапан распределительного шкафа. Продувка фиксируется с помощью указателя продувки. Дугогасительная камера имеет два главных и два вспомогательных разрыва. Главные контакты отключают основной ток. Они шунтированы встроенными в камеру резисторами для выравнивания распределения напряжения между разрывами в процессе отключения и для снижения скорости восстановления напряжения на главных контактах выключателя. Вспомогательные контакты отключают ток, проходящий через шунтирующие резисторы.

В шкафах управления расположены пневмопривод включения, соединенный с тягой, механизм защелки, удерживающий систему управления во включенном положении выключателя, электромагниты управления, подогреватели, контакты вспомогательных цепей и ряды зажимов. Управляются выключатели пополюсно и трехполюсно с помощью электромагнитов, воздействующих на клапанную систему. Габаритные размеры трехполюсного комплекта выключателя ВВБК-500 показаны на рис. 2.

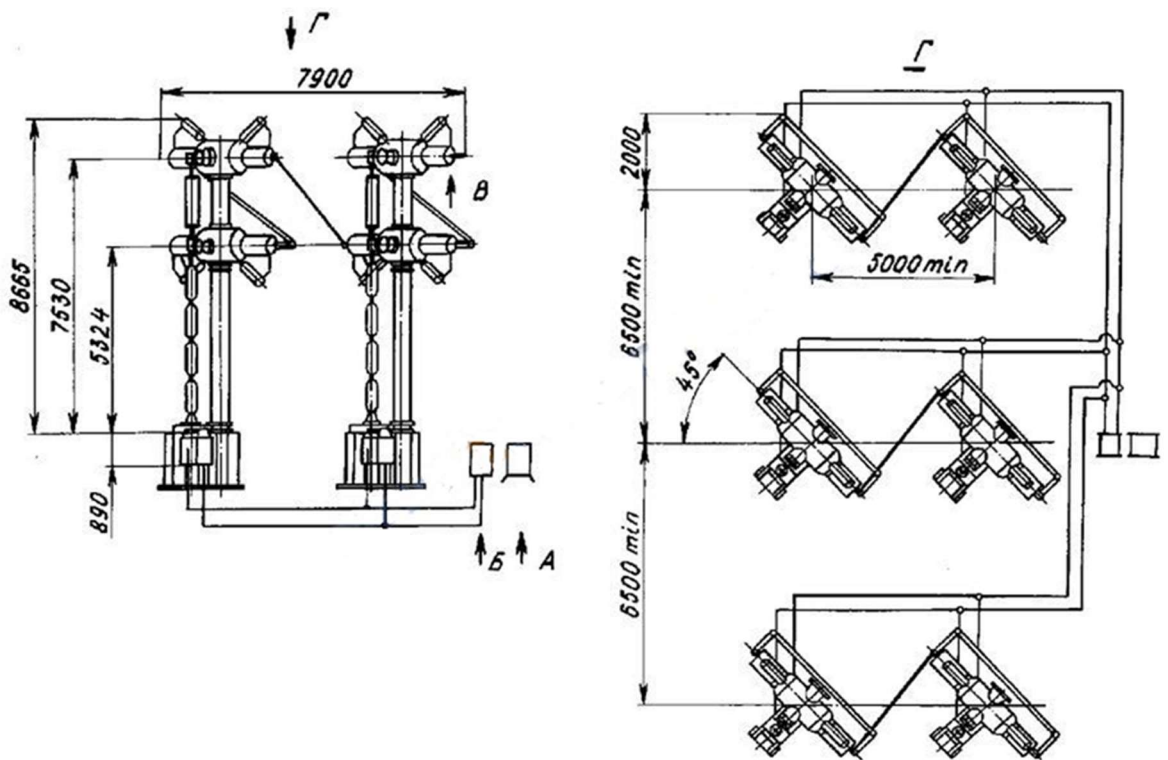


Рисунок 1—Габаритные размеры трехполюсного комплекта выключателя ВВБК-500

## 2.1 Выбор выключателей

Реконструкция ОРУ 500 кВ заключается в замене воздушных выключателей на элегазовые.

С 2018 г АО ВО «Электроаппарат» по лицензионному соглашению с подразделением General Electric выпускает выключатели элегазовые колонковые на номинальное напряжение 500кВ серии GL-317. Серия выключателей GL зарекомендовала себя как лучшее сочетание технических характеристик и стоимости продукции. Выключатели в случае необходимости оснащаются предвключаемыми резисторами, уменьшающими аperiodическую составляющую тока короткого замыкания, и устройствами синхронной коммутации, позволяющими отключать токи конденсаторных батарей без перенапряжений.

Выключатель серии GL 317 предназначен для коммутации электрических цепей при нормальных и аварийных режимах, а также для работы циклах АПВ в сетях трехфазного переменного тока частоты 50 Гц с номинальным напряжением 500 кВ. Выключатели состоят из трех полюсов (колонн) с дугогасительными камерами в фарфоровых изоляторах, общей оцинкованной рамы. Выключатели изготавливаются в пополюсном исполнении (каждый полюс выключателя снабжен собственным пружинным приводом) для возможности установки устройств синхронной коммутации. Выключатель комплектуется общим на три полюса (фазы) шкафом управления и контроля, системой цифрового управления и мониторинга состояния согласно МЭК 61850 серии RPH. Дополнительно выключатели могут комплектоваться предвключаемыми резисторами требуемого номинала.

Выключатели выбирают по номинальным параметрам - напряжению, длительному номинальному току, отключающей способности, проверяют на термическую и динамическую стойкость. Условия проверки выключателя приведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1 – Условия проверки выключателя

Расчетные величины	Каталожные данные выключателя	Условия проверки
$U_{уст} = 500 \text{ кВ}$	$U_n = 500 \text{ кВ}$	$U_{уст} < U_n$

I <sub>нагр.мах</sub> = 2766 А - для ячейки №5 (В-1-546); I <sub>нагр.мах</sub> = 2764 А - для ячейки №2 (В-543-545); I <sub>нагр.мах</sub> = 2835 А - для ячейки №10 (В-1-544); I <sub>нагр.мах</sub> = 2774 А - для ячейки №9 (В-2-544); I <sub>нагр.мах</sub> = 1917 А - для ячейки №6 (В-2-546); I <sub>нагр.мах</sub> = 2357 А - для ячейки №7 (В-545); I <sub>нагр.мах</sub> = 2835 А - для ячейки №1 (В-543).	$I_{\text{НОМ.ВЫКЛ.}} = 3150 \text{ А}$	$I_{\text{нагр.мах}} < I_{\text{НОМ.ВЫКЛ.}}$
$I_{\text{по}}^{(3)} = 22,45 \text{ кА}$	$I_{\text{пр.с}} = 40 \text{ кА}$	$I_{\text{п.0}}^{(3)} < I_{\text{пр.с}}$
$i_{\text{уд}} = 57,75 \text{ кА}$	$i_{\text{пр.с}} = 100 \text{ кА}$	$i_{\text{уд}} < i_{\text{пр.с}}$
$I_{\text{пт}} = 22,0 \text{ кА}$	$I_{\text{отк.ном.}} = 40 \text{ кА}$	$I_{\text{пт}} < I_{\text{отк.ном.}}$
$\sqrt{2} \cdot I_{\text{пт}} + i_{\text{ат}} = 48,53 \text{ кА}$	$\beta_{\text{н}} = 0,56;$ $\sqrt{2} \cdot I_{\text{откл.ном.}} (1 + \beta_{\text{н}}) = 88,25 \text{ кА}$	$\sqrt{2} \cdot I_{\text{пт}} + i_{\text{ат}} < \sqrt{2} \cdot I_{\text{откл.ном.}} (1 + \beta_{\text{н}})$
$B_{\text{к}} = 47,88 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{\text{т}} = 40 \text{ кА}$ и $t_{\text{т}} = 3\text{с}; I_{\text{т}}^2 \cdot t_{\text{т}} = 4800 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_{\text{к}} < I_{\text{т}}^2 \cdot t_{\text{т}}$

Номинальное напряжение Выключателя должно быть больше или равно номинальному напряжению В месте установки:

$$U_{\text{НОМ. ВЫКЛ.}} > U_{\text{УСТ.}}$$

где  $U_{\text{НОМ. ВЫКЛ.}} = 500 \text{ кВ}$ ,  $U_{\text{УСТ.}} = 500 \text{ кВ}$ .

Выбор Выключателя по первичному току.

При Выборе Выключателя по первичному току  $I > I$  Выбирается Величина из ряда номинальных значений первичного тока. В соответствии с томом П5000280-345/11-ИОС1.01, выполненного по титулу "Реконструкция подстанции 500 кВ Означенное", максимальный ток нагрузки рассматриваемых ячеек составляет:

$I_{\text{нагр.мах}} = 2766 \text{ А}$  - для ячейки №5 (В-1-546);  
 $I_{\text{нагр.мах}} = 2764 \text{ А}$  - для ячейки №2 (В-543-545);  
 $I_{\text{нагр.мах}} = 2835 \text{ А}$  - для ячейки №10 (В-1-544);  
 $I_{\text{нагр.мах}} = 2774 \text{ А}$  - для ячейки №9 (В-2-544);  
 $I_{\text{нагр.мах}} = 1917 \text{ А}$  - для ячейки №6 (В-2-546);  
 $I_{\text{нагр.мах}} = 2357 \text{ А}$  - для ячейки №7 (В-545);  
 $I_{\text{нагр.мах}} = 2835 \text{ А}$  - для ячейки №1 (В-543).

Расчет динамического действия тока короткого замыкания.

Расчет ударного тока короткого замыкания производится по формуле:

$$i_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{по}} \cdot k_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot 22,45 \cdot 1,819 = 57,75 \text{ кА}$$

где  $I_{\text{по}} = 22,45 \text{ кА}$  - начальное значение периодической составляющей тока короткого замыкания на стороне 500 кВ;  $k$ - ударный коэффициент, определяемый выражением

$$k_{\text{уд}} = 1 + e^{-\frac{0,01}{T}} = 1 + e^{-\frac{0,01}{0,05}} = 1,819$$

где  $T_q$  – постоянная Времени затухания аperiodической составляющей тока КЗ.

Для обеспечения динамической стойкости выключатель должен иметь достаточную величину предельного сквозного тока (действующее и амплитудное значение), т. е.:

$$I_{\text{по}}^{(3)} = 22,45 \text{ кА} < I_{\text{пр.с.}}$$

$$i_{\text{уд}} = 57,75 \text{ кА} < i_{\text{пр.с.}}$$

Расчет периодической и аperiodической составляющих тока короткого замыкания.

Отключающая способность Выключателя характеризуется номинальным током отключения  $I_{откл.ном.}$  и амплитудным значением полного отключаемого тока короткого замыкания  $\sqrt{2} \cdot I_{откл.ном.} \cdot (1 + \beta_n)$ , т. е. учитывается периодическая и апериодическая составляющие. Здесь  $\beta$  – номинальное содержание апериодической составляющей тока отключения, отн. ед. Проверка производится по следующим условиям:

$$I_{пт} = 22,0 \text{ кА} \leq I_{откл.ном.}, \quad \sqrt{2} \cdot I_{пт} + i_{ат} = 48,53 \leq \sqrt{2} \cdot I_{откл.ном.} (1 + \beta_n),$$

где  $I_{пт}$  - периодическая составляющая тока короткого замыкания к моменту размыкания дугогасительных контактов выключателя, кА,  $i_{ат}$  - апериодическая составляющая тока короткого замыкания к моменту размыкания дугогасительных контактов выключателя, кА,

Расчет периодической и апериодической составляющей тока КЗ для времени  $t > 0$ .

Расчетное время, для которого требуется определить токи КЗ:

$$T = t_{св} + 0,01 = 0,02 + 0,01 = 0,03 \text{ с},$$

где  $t_{св} = 0,02$  с - собственное время отключения выключателя;  $0,01$  с - минимальное время действия отключения релейной защиты.

Периодическая составляющая тока КЗ:

$$I_{пт} = \alpha \cdot I_{по}^{(3)} = 0,98 \cdot 22,45 = 22,0 \text{ кА},$$

где  $I_{по}^{(3)} = 22,45$  кА - начальное значение периодической составляющей тока короткого замыкания на стороне 500 кВ (согласно расчетам токов короткого замыкания);  $\alpha = (0,97 + 0,98)$  - коэффициент определяется методом типовых кривых.

Апериодическая составляющая тока КЗ:

$$i_{aT} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{по}}^{(3)} \cdot e^{-\frac{T}{T_a}} = \sqrt{2} \cdot 22,45 \cdot e^{-\frac{0,03}{0,05}} = 17,42 \text{ кА},$$

где  $I_{\text{по}}^{(3)} = 22,45$  кА - начальное значение периодической составляющей тока короткого замыкания на стороне 500 кВ;  $T_a$ - постоянная времени затухания аperiodической составляющей тока КЗ;  $T = 0,03$  с - расчетное время отключения тока КЗ.

Расчет термического действия тока короткого замыкания.

Для проверки на термическую стойкость определяем тепловой импульс короткого замыкания, характеризующего количества тепла, выделяющегося в аппарате за время  $t$ :

$$W_k = I_{\text{по}}^2 \cdot (t_{\text{откл}} + T_a) = 22,45^2 \cdot (0,045 + 0,05) = 47,88 \text{ кА}^2\text{с}$$

где  $I_{\text{по}}^2 = 22,45$  кА - начальное значение периодической составляющей тока короткого замыкания на стороне 500 кВ;  $t_{\text{откл}} = 0,045$  с - полное время отключения выключателя,  $T_a$ - постоянная времени затухания аperiodической составляющей тока к. з..

Выбранный выключатель проходит по всем условиям проверки.

## 2.2 Выбор трансформаторов тока 500 кВ

Выбор измерительных трансформаторов тока (ТТ) выполняется в соответствии с требованиями ГОСТ 7746-2001 "Трансформаторы тока. Общие технические условия".

ТТ выбирают по номинальным параметрам:

- номинальному напряжению;
- первичному и вторичному токам;
- по классу точности.

Проверяют на термическую и динамическую стойкость.

Таблица 3.1 – Условия проверки трансформатора тока



Расчетные Величины	Каталожные данные ИТТ	Условия Выбора
$U_{уст} = 500 \text{ кВ}$	$U_n = 500 \text{ кВ}$	$U_{уст} < U_{ном.тт}$
Инагр.мах = 2766 А - для ячейки №5 (В-1-546); Инагр.мах = 2764 А - для ячейки №2 (В-543-545); Инагр.мах = 2835 А - для ячейки №10 (В-1-544); Инагр.мах = 2774 А - для ячейки №9 (В-2-544); Инагр.мах = 1917 А - для ячейки №6 (В-2-546); Инагр.мах = 2357 А - для ячейки №7 (В-545); Инагр.мах = 2835 А - для ячейки №1 (В-543).	$I_{ном.тт} = 3000 \text{ А}$	$I_{нагр.мах} < I_{тт}$
-	$I_{2н} = I \text{ А}$	5А или 1А В зависимости от длины соединительных проводов
-		В зависимости от назначения
$S_2$	$S_{2н}$	$S_2 < S_{2н}$
$I_{уд} = 57,75 \text{ кА}$	$I_{ст} = 100 \text{ кА}$	$I_{уд} < i_{ст}$
$B_k = 47,88 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_T = 40 \text{ кА}$ и $t_T = 3 \text{ с}$ ; $I_T^2 \cdot t_2 = 4800 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_T < I_T^2 \cdot t$

Номинальное напряжение трансформаторов тока должно быть больше или равно номинальному напряжению В месте установки:

$$U_{ном.тт} > U_{уст} ,$$

где  $U_{ном.тт} = 500 \text{ кВ}$ ,  $U_{уст.} = 500 \text{ кВ}$ .

Выбор трансформаторов тока по первичному и Вторичному токам

Первичный номинальный ток трансформатора тока выбирается В зависимости от  $I_{нагр.мах}$ .

При Выборе ТТ по первичному току  $I_{ном.тт} > I_{ном.мах}$ . выбирается величина из ряда номинальных значений первичного тока. В соответствии с томом П5000280-345/11-И0С1.01, Выполненного по титулу “Реконструкция подстанции 500 кВ Означенное” (Замена Выключателей 500 кВ”” (положительное заключение ФАУ “ГЛАВГОСЭКСПЕРТИЗА РОССИИ” №165-13/КРЭ-1837/04), максимальный ток нагрузки рассматриваемых ячеек составляет:

$$I_{нагр.мах} = 2766 \text{ А} - \text{ для ячейки №5 (В-1-546);}$$

$I_{\text{нагр.мах}} = 2764 \text{ А}$  - для ячейки №2 (В-543-545);

$I_{\text{нагр.мах}} = 2835 \text{ А}$  - для ячейки №10 (В-1-544);

$I_{\text{нагр.мах}} = 2774 \text{ А}$  - для ячейки №9 (В-2-544);

$I_{\text{нагр.мах}} = 1917 \text{ А}$  - для ячейки №6 (В-2-546);

$I_{\text{нагр.мах}} = 2357 \text{ А}$  - для ячейки №7 (В-545);

$I_{\text{нагр.мах}} = 2835 \text{ А}$  - для ячейки №1 (В-543).

Значение вторичного тока принимается равным 1 А.

Расчет динамического действия тока короткого замыкания.

Расчет ударного тока короткого замыкания производится по формуле:

$$i_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{по}} \cdot k_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot 22,45 \cdot 1,819 = 57,75 \text{ кА}$$

где  $I_{\text{по}} = 22,45 \text{ кА}$  - начальное значение периодической составляющей тока короткого замыкания на стороне 500 кВ;  $k$ - ударный коэффициент, определяемый выражением

$$k_{\text{уд}} = 1 + e^{-\frac{0,01}{T}} = 1 + e^{-\frac{0,01}{0,05}} = 1,819$$

где  $T_q$  – постоянная времени затухания аperiodической составляющей тока КЗ.

Для обеспечения динамической стойкости трансформаторов тока должно быть выполнено условие

$$I_{\text{уд}} < i_{\text{ст.}}$$

где  $i_{\text{ст}}$  - ток электродинамической стойкости трансформатора тока.

Расчет термического действия тока короткого замыкания.

Для проверки на термическую стойкость определяем тепловой импульс короткого замыкания, характеризующего количества тепла, выделяющегося в аппарате за время  $t$ :

$$W_k = I_{\text{по}}^2 \cdot (t_{\text{откл}} + T_a) = 22,45^2 \cdot (0,045 + 0,05) = 47,88 \text{ кА}^2\text{с}$$

где  $I_{по}^2 = 22,45$  кА - начальное значение периодической составляющей тока короткого замыкания на стороне 500 кВ;  $t_{откл} = 0,045$  с - полное время отключения выключателя,  $T_a$  - постоянная времени затухания аperiodической составляющей тока к. з..

Выбранный трансформатор тока проходит по Всем условиям проверки.

### 2.3 Определение расчетной нагрузки для реконструируемой части ОРУ 500 кВ.

Расчёт нагрузки в летний период:

$$S_{л} = \sqrt{(\sum P_{лпр}^2 + \sum Q_{лпр}^2)} = \sqrt{(0,8^2 + 0^2)} = 0,8 \text{ кВА}$$

Расчет нагрузки в зимний период:

$$S_{з} = \sqrt{(\sum P_{зпр}^2 + \sum Q_{зпр}^2)} = \sqrt{(16,7^2 + 0^2)} = 16,7 \text{ кВА}$$

Питание проектируемых нагрузок собственных нужд переменного тока предполагается от существующих 1, 2 секций ЩСН, запитанных соответственно от трансформаторов СН ТСН-1, ТСН-2, (ТМГ-1000-10/0,4

Согласно контрольным замерам загрузка 1ТСН в зимний период составляет не более 520 кВА, 2ТСН - 390 кВА.

При подключении проектируемых нагрузок к существующей сети СН общая нагрузка а зимний период состоит:

$$520 + 16,7 = 536,7 \text{ кВА} < 1000 \text{ кВА}$$

Вывод: при подключении проектируемых нагрузок замена существующих ТСН на ТСН большей мощности не требуется.

Наименование нагрузки	Установочная мощность		$\eta$	$\cos\phi$	$\text{tg}\phi$	Расчётная нагрузка на трансформатор					
	Мощность единицы и кол-во	Общая мощность				Летом			Зимой		
						Коэффициент спроса а	$P_{л} = \frac{P_{\text{а}}}{\eta}$	$Q_{л} = P_{л} \cdot \text{tg}\phi$	Коэффициент спроса а	$P_{з} = \frac{P_{\text{а}}}{\eta}$	$Q_{з} = P_{з} \cdot \text{tg}\phi$
кВт	кВт				кВт		кВт			кВт	кВт

Проектируемые нагрузки СН

Обогрев приводов выключателей	0,6×7	4,2	1	1	0	1	0,6	-	1	4,2	-	
Обогрев шкафов управления выключателей	0,845×7	5,9	1	1	0	1	0,2	-	1	5,9	-	
Питание эл.двигателей приводов выключателей	3,9×7	27,3	Периодическая нагрузка									
Обогрев шкафов и ящиков наружной установки	0,5×10+0,4×7	7,8	1	1	0					7,8	-	
Питание цепей ОБР	0,1×2+0,02	0,2	1	1	0					0,2		
Итого:							0,8			18,1		

### Собственные нужды.

На подстанции установлены два масляных трансформатора собственных нужд для питания общеподстанционных нагрузок переменного тока - 1ТСН и 2ТСН напряжением 10/0,4 кВ, мощностью 1000 кВА, подключенные к 1 и 2 секциям РУСН 10 кВ с питанием от 1АТ и 2АТ соответственно. Для питания зданий Вспомогательного назначения установлена КТПН 10/0,4 кВ с

Двумя трансформаторами 3ТСН и 4ТСН мощностью 1000 кВА каждый, подключенные к 1 и 2 секциям СШ 10 кВ.

В работе проектируется замена существующих Воздушных Выключателей 500кВ на элегазовые, что не приведет к увеличению загрузки щита собственных нужд. Поэтому замена трансформаторов собственных нужд не требуется.

Питание цепей обогрева, приборов выключателей, вновь устанавливаемого оборудования предусматривается с существующего щита собственных нужд.

Оперативный ток подстанции постоянный 220 В. Щит постоянного тока запитан от аккумуляторной батареи.

В состав СОПТ Входит следующее оборудование:

- две аккумуляторных батареи типа VartaVb2308 емкостью 400 Ахч, состоящих из 104 элементов;
- три зарядно-подзарядных устройства типа НРТ100 202 ХЕ;

- две секции щита постоянного тока (ЩПТ).

Питание электромагнитов управления проектируемых Выключателей 500 кВ предусматривается по существующей схеме, без реконструкции СОПТ.

Проектом не предусмотрена замена АБ, питающих кабелей, вводных и секционных автоматических Выключателей В системе оперативного постоянного тока 500 кВ Означенное.

#### **2.4 Разбиение реконструкции ОРУ по этапам**

Реконструкция ПС 500 кВ Означенное производится в семь этапов. Ниже приведены этапы реконструкции ПС 500 кВ Означенное.

I этап:

Производится замена воздушного выключателя «В-1-546» в ячейке №5 ОРУ 500 кВ. Производится реконструкция автоматики управления выключателем "В-1-546" с установкой микропроцессорных шкафов автоматического управления выключателем (МП АУВ) и интеграция в АСУТП нового оборудования.

II этап:

Производится замена воздушного выключателя «В-543/545» в ячейке №2 ОРУ 500 кВ и реконструкция автоматики управления данным выключателем с установкой микропроцессорных шкафов автоматического управления выключателем (МП АУВ) и интеграция в АСУТП нового оборудования.

III этап:

Производится замена воздушного выключателя «В-1-544» в ячейке №10 ОРУ 500 кВ и реконструкция автоматики управления данным выключателем с установкой микропроцессорных шкафов автоматического управления выключателем (МП АУВ) и интеграция в АСУТП нового оборудования.

IV этап:

Производится замена воздушного выключателя «В-2-544» в ячейке №9 ОРУ 500 кВ и реконструкция автоматики управления данным выключателем с установкой микропроцессорных шкафов автоматического управления выключателем (МП АУВ) и интеграция в АСУТП нового оборудования.

V этап:

Производится замена воздушного выключателя «В-2-546» в ячейке №6 ОРУ 500 кВ и реконструкция автоматики управления данным выключателем с установкой микропроцессорных шкафов автоматического управления выключателем (МП АУВ) и интеграция в АСУТП нового оборудования.

VI этап:

Производится замена воздушного выключателя «В-545» в ячейке №7 ОРУ 500 кВ и реконструкция автоматики управления данным выключателем с установкой микропроцессорных шкафов автоматического управления выключателем (МП АУВ) и интеграция в АСУТП нового оборудования.

VII этап:

Производится замена воздушного выключателя «В-543» в ячейке №1 ОРУ 500 кВ и реконструкция автоматики управления данным выключателем с установкой микропроцессорных шкафов автоматического управления выключателем (МП АУВ) и интеграция в АСУТП нового оборудования.

Вновь устанавливаемое оборудование ОРУ 500 кВ устанавливается на новых фундаментах и на новых стойках.

Имеющиеся в ячейках стойки и фундаменты, на которых установлены существующие выключатели, а также иные неиспользуемые строительные конструкции подлежат демонтажу.

Размещение проектируемого высоковольтного оборудования в ОРУ обеспечивает нормативные расстояния от токоведущих частей и возможность проведения ремонта, технического обслуживания и проведение профилактических работ без снятия напряжения соседних присоединений.

На ОРУ 500 кВ в I - VII этапах предусмотрены следующие решения:

- демонтаж существующих воздушных выключателей 500 кВ типа ВВБК-500-50/3150У1- 21 фаза;

- демонтаж существующих трансформаторов тока 500 кВ типа ТФРМ-500Б-У1 – 21 фаза;

- демонтаж проводов, присоединенных к существующему оборудованию 500 кВ;

- монтаж элегазовых выключателей 500 кВ типа GL317 - 21 фаз.;

- монтаж трансформаторов тока 500 кВ типа СА-525 - 21 фаз.;

- монтаж провода типа АС 500/64 для подключения выключателей 500 кВ к ошиновке ячеек. Тип провода выбран аналогично существующей ошиновке соответствующих ячеек;

Проектируемые выключатели устанавливаются на места существующих выключателей, подлежащих демонтажу.

При определении параметров вновь устанавливаемого высоковольтного оборудования учтены «Общие технические требования к подстанциям нового поколения»:

- применение современного основного электротехнического оборудования, имеющего повышенную эксплуатационную надежность.



Министерство науки и высшего образования РФ  
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  
Коловский А.В. Коловский  
подпись инициалы, фамилия  
« 28 » июня 2022 г.

### БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»  
код – наименование направления

Реконструкция ОРУ 500 кВ ПС «Означенное»  
тема

Руководитель Коловский 28.09 зав.кафедры доцент, к.т.н.  
подпись, дата должность, ученая степень

А.В. Коловский  
инициалы, фамилия

Выпускник Сутугин 28.06.2022  
подпись, дата

М.В. Сутугин  
инициалы, фамилия

Нормоконтролер Кычак И.А. 28.06.22  
подпись, дата

И.А. Кычак  
инициалы, фамилия