

## АННОТАЦИЯ

Выпускная квалификационная работа выполнена на 61 страницах, содержит 11 рисунков, 8 таблиц, 30 источников литературы, а также приложения на 8 страницах.

Ключевые слова: ЭНЕРГЕТИКА, ВЫСОКОВОЛЬТНЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ, ПОДСТАНЦИЯ, КОМПЛЕКТНОЕ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО.

Жедик М.С. Реконструкция комплектного распределительного устройства подстанции напряжением 110/10 кВ: выпускная квалификационная работа / М.С. Жедик; Рос. гос. проф.-пед. ун-т, Ин-т инж.-пед. образования, Каф. энергетики и транспорта. – Екатеринбург, 2018. – 61 с.

Краткая характеристика содержания ВКР:

1. Тема выпускной квалификационной работы «Реконструкция комплектного распределительного устройства подстанции напряжением 110/10 кВ». В работе рассмотрена реконструкция комплектного распределительного устройства подстанции напряжением 110/10 кВ.

2. Цель работы: разработать и рассчитать проект реконструкции комплектного распределительного устройства.

3. В ходе выполнения выпускной квалификационной работы выполнен анализ комплектного распределительного устройства, проведен анализ существующего оборудования, спроектирована замена выключателя в комплектном распределительном устройстве.

4. Разработанный проект реконструкции может быть использован в проектной и эксплуатационной практике.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 ОПИСАНИЕ ПОДСТАНЦИИ НАПРЯЖЕНИЕМ 110/10 кВ «АНДРОНОВО» И ЕЁ УСТРОЙСТВ .....	8
1.1 Описание комплектного распределительного устройства .....	8
1.2 Описание выключателя типа ВКЭ-10.....	11
1.2.1 Принцип работы выключателя типа ВКЭ-10.....	13
1.2.2 Устройство выключателя типа ВКЭ-10.....	14
1.3 Актуальность реконструкции .....	18
1.4 Рынок сбыта.....	19
1.5 Описание и технические характеристики предлагаемых на замену выключателей.....	19
1.5.1 Информация по выключателю типа ВВПУЗ-10 .....	19
1.5.2 Технические характеристики и принцип работы выключателя типа ВВ/TEL-10.....	23
1.5.3 Описание выключателя типа ВВПЭ-10.....	28
2 ПРОЕКТ РЕКОНСТРУКЦИИ КОМПЛЕКТНОГО РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА .....	32
2.1 Расчет токов короткого замыкания.....	32
2.2 Выбор электрических аппаратов для подстанции.....	35
2.2.1 Выбор оборудования 10 кВ.....	35
2.2.2 Расчет защитного заземления.....	36
2.3 Влияние реконструкции на окружающую среду.....	38
3 МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ .....	42
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ: .....	51

ПРИЛОЖЕНИЕ А .....	54
ПРИЛОЖЕНИЕ Б .....	55
ПРИЛОЖЕНИЕ В .....	57
ПРИЛОЖЕНИЕ Г .....	58
ПРИЛОЖЕНИЕ Д .....	59
ПРИЛОЖЕНИЕ Е .....	60
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж .....	61

## ВВЕДЕНИЕ

На территории Свердловской области компанию ОАО «МРСК Урала» представляет филиал «Свердловэнерго».

«Свердловэнерго» осуществляет передачу электроэнергии по распределительным сетям 0,4-110 кВ. Первоочередной задачей является обеспечение стабильности и развития распределительного электросетевого комплекса региона, а также подключение новых потребителей к распределительным электрическим сетям компании.

Всего в эксплуатации филиала «Свердловэнерго» находится 375 подстанций (ПС) 35-220 кВ суммарной мощностью 7279 МВА, 7823 штук трансформаторных подстанций (ТП) 10/0,4 кВ и 36 654 километров воздушных и кабельных линий электропередачи классом напряжения 0,4-110 кВ.

Талицкие электрические сети являются производственным отделением ОАО «Свердловэнерго».

В объем обслуживания ТалЭС входит:

- 35 подстанций 110\10 кВ установленной мощностью 424,9 МВт;
- 1651 ТП 6-10/0,38 кВ, установленной мощностью 410 МВА;
- 4 РП 10 кВ;
- 892,62 км ВЛ -110 кВ;
- 20,5 км ВЛ-35 кВ;
- 2780 км ВЛ 6-10 кВ;
- 3001 км ВЛ-0,38 кВ.

ТалЭС обеспечивают электроснабжение пяти юго-восточных административных районов Свердловской области на рынке электроэнергии напряжением от 110 кВ и ниже. Потребителями электроэнергии являются юридические и физические лица. Среди потребителей - юридических лиц преобладают небольшие предприятия социально-бытового профиля и сферы обслуживания 20 % (магазины, мастерские, мини пекарни, АЗС, торговые

палатки и др.), а также сельскохозяйственного 22 % и промышленного 47 % направлений (такие, как Талицкий биохимический завод, Юшалинский деревообрабатывающий комбинат, Луговской завод навесного оборудования). Население получает электроэнергию 11% через распределительные сети, принадлежащие ТалЭС. Доля оптовых перепродавцов составляет 25 % и бюджетных организаций 19%.

Численность персонала ТалЭС - 607 человек. Общая площадь обслуживаемой территории - 14650 км<sup>2</sup>.

Объем обслуживаемого оборудования:

- ВЛ 35 - 110 кВ - 908 км;
- ВЛ 0,4 - 10 кВ - 4345 км;
- ПС - 35 шт;
- ТП - 1470 шт.

Одной из обслуживаемых подстанции является ПС напряжением 110/10кВ «Андроново» Слободо-Туринского РЭС.

В настоящее время наиболее важной задачей электроэнергетики, является: обеспечивать бесперебойную, безопасную передачу и распределение электрической энергии, повышение надёжности и эффективности работы оборудования за счет его модернизации и автоматизации производственных процессов, развитие электрических сетей с учетом нужд потребителей. На некоторых электрических подстанциях до сих пор эксплуатируется старое или изношенное оборудование, за которым нужен постоянный контроль и уход, а значит и наличие персонала, что влечет за собой несчастные случаи и травматизм на производстве, что недопустимо в наше время.

Для увеличения безопасности, эффективности и надежности необходимо реконструировать старые энергообъекты или строить новые. Проектирование подстанции представляет собой сложный процесс выработки и принятия технических решений по составу электрооборудования. Поэтому строительство нового объекта очень дорогостоящее мероприятие, нежели реконструкция старого.

Реконструкция подразумевает проверку и замену изношенного оборудования на новое, если первое не подходит по современным характеристикам, а так же морально и физически устарело.

Одним из основных элементов подстанции является комплектное распределительное устройство (КРУ), оно обеспечивает приём и распределение электрической энергии. КРУ содержит набор выключателей, трансформаторы тока и напряжения, а так же устройства РЗА, переключатели, устройства учета и измерения электроэнергии.

Наиболее важным аппаратом комплектного распределительного устройства, бесспорно, является выключатели, они представляют собой коммутационный аппарат, состоящий из: контактной системы с дугогасительным устройством, токоведущих частей, корпуса, изоляционной конструкции, и привода. Выключатель предназначен для оперативных включений и отключений отдельных цепей или электрооборудования в нормальных или аварийных режимах при ручном, дистанционном или автоматическом управлении.

Ранее в комплектных распределительных устройствах широко применяли масляные выключатели, дугогашение в таком выключателе осуществлялось в масле. Поэтому, такие выключатели наиболее подвержены износу.

В комплектном распределительном устройстве на подстанции «Андроново» установлены маломасляные выключатели типа ВКЭ-10.

*Объектом* исследования является комплектное распределительное устройство.

*Предметом* исследования коммутационные аппараты комплектного распределительного устройства.

*Цель:* разработать и рассчитать проект реконструкции комплектного распределительного устройства.

*Задачи:*

– проанализировать литературу, посвященную электрической части комплектного распределительного устройства;

- рассчитать токи короткого замыкания;
- выбрать основное оборудование;
- произвести технико-экономическое сравнение вариантов реконструкций КРУ;
- рассчитать защитное заземление;
- повысить экологичность подстанции.

# **1 ОПИСАНИЕ ПОДСТАНЦИИ НАПРЯЖЕНИЕМ 110/10 кВ «АНДРОНОВО» И ЕЁ УСТРОЙСТВ**

Подстанция напряжением 110/10 кВ «Андроново» построена и введена в эксплуатацию в 1994 году. Из-за суровых климатических условий, некомпетентной технической эксплуатации, оборудование подстанции может выйти из строя или изнашиваться. Поэтому существует необходимость реконструкции данного энергообъекта, так как непригодное к эксплуатации оборудование является частой причиной несчастных случаев и выводу из строя всей подстанции, что недопустимо при наличии подключенных к ней потребителей второй категории надежности электроснабжения.

На подстанции используется комплектное распределительное устройство типа К-59, в него встроены следующие аппараты:

- выключатели типа ВКЭ-10;
- разрядники типа РВО-10;
- трансформаторы тока ТЛМ-10;
- предохранитель ПКТ-10;
- трансформатор напряжения НАМИ-10.

Полный список устройств подстанции и комплектного распределительного устройства, а так же схема первичных соединений представлены в приложении А.

## **1.1 Описание комплектного распределительного устройства**

Комплектное распределительное устройство типа К-59 предназначено для приема и распределения электрической энергии переменного трехфазного тока промышленной частоты 50 Гц и 60 Гц напряжением 6/10 кВ и комплектования распределительных устройств напряжением 6/10 кВ подстанций, включая комплектные трансформаторные подстанции напряжением 35/6-10 кВ, 110/6-10 кВ и 110/35/6-10 кВ (все остальные параметры и характеристики комплектного



распределительного устройства типа К-59 представлены в приложении В), в сетях с изолированной или заземленной через дугогасящий реактор нейтралью.

Таблица 1 – Основные показатели комплектного распределительного устройства типа К-59

Наименование	Значение показателя
	СЭЩ-59 ХЛ1
Номинальное напряжение, кВ	10,0
Наибольшее рабочее напряжение (линейное), кВ	12,0
Номинальный ток главных цепей шкафа, А: При частоте 50 Гц	630; 1000; 1600
Номинальный ток сборных шин, А: При частоте 50 Гц	1000**; 1600; 2000
Номинальный ток отключения выключателя, встроенного в КРУ, кА: При частоте 50 Гц	20
Ток термической стойкости, кА	20
Время протекания тока термической стойкости, с	3
Ток электродинамической стойкости, кА	51
Ток холостого хода при напряжении 12 кВ ТСН, А:	
а) разъединителем шкафа ТСН, А	2,0
б) разъединяющими контактами выкатных элементов, А	3,0
Габаритные размеры мм, не более	
Шкафов КРУ (ВхШхГ), мм	2200 x 750 x 1250
Блока шкафов КРУ в сборе:	
- высота, мм	3395
- высота без кронштейнов линии ввода, мм	2780
- ширина, мм	3200
-длина, мм	определяется количеством шкафов в составе КРУ

Классификация исполнений и характеристики шкафов комплектного распределительного устройства типа К-59 приведены в приложении Б.

Номинальное значение климатических факторов ГОСТ 15150-69 и ГОСТ 15543.1-89, при этом:

- 1) наивысшее рабочее значение температуры при эксплуатации не выше 40°С, при среднесуточной расчетной температуре не выше 35°С;
- 2) низшее рабочее значение температуры при эксплуатации комплектного распределительного устройства категории размещения 3 не ниже минуса 25°С;
- 3) тип атмосферы 2 по ГОСТ 15150-69.

Комплектное распределительное устройство категории размещения 1 пригодны для работы в условиях гололёда при толщине льда до 20 мм и скорости ветра до 34 м/сек, а при отсутствии гололёда-при скорости ветра 40 м/сек.

Комплектное распределительное устройство категории размещения 1 допускают тяжение проводов воздушной линии (ввода) с учётом влияния ветра и гололёда, не более 980 Н (100 кг) на фазу, а также возможность вывода линии под углом до 30°.

Комплектное распределительное устройство исполнения ХЛ1 удовлетворяют требованиям ГОСТ 17412-72.

Комплектное распределительное устройство СЭЩ-59, категории размещения 1 установленные на заглубленном фундаменте, устойчивы к землетрясению интенсивностью до 9 баллов, при этом допускается во время землетрясения ложное срабатывание релейной защиты и отключение высоковольтного выключателя.

Энергопотребление на обогрев шкафа не более 1,16 кВт.

Характеристики надёжности комплектное распределительное устройство:

– механический ресурс (ресурс по механической стойкости): количество циклов «включение – произвольная пауза – отключение» выключателя, встроенного в комплектное распределительное устройство: вакуумного – 25000 циклов, количество циклов «включение – отключение» разъёмных контактных соединений главных и вспомогательных цепей, перемещений выкатного элемента из контрольного положения в рабочее и обратно, открываний и закрываний защитных шторок, «включение-отключение» заземляющего разъединителя – по ГОСТ 14693-90, количество циклов «включение-отключение» разъёмных контактных соединений перемычки секционного разъединителя - 300 циклов;

– коммутационный ресурс (ресурс до коммутационной стойкости) выключателя, встроенного в КРУ, по ГОСТ Р 52565-2006;

– срок службы до среднего (капитального) ремонта - 8 лет;

- срок службы до списания - 30 лет;
- вероятность безотказной работы за наработку 40000 ч - 0,99.

Критерием отказа КРУ является нарушение работы высоковольтного оборудования, встроенного в КРУ, или релейной защиты и автоматики, или повреждение изоляции главных цепей, приведшие к недоотпуску электроэнергии потребителю.

## **1.2 Описание выключателя типа ВКЭ-10**

Выключатель маломасляный типа ВКЭ-10 – это быстродействующий коммутационный аппарат, предназначенный для коммутации электрических цепей в нормальных и аварийных режимах. Также для работы при автоматических повторных включений в сетях трехфазного переменного тока частоты 50 Гц с номинальным напряжением до 10 кВ. Выключатель применяется в КРУ-6(10)кВ типа К-102, КМ-1 или КРУН-5(10)кВ типа К-47, К-46, К-59.

В настоящее время в КРУ применяются следующие типоразмеры выключателя ВКЭ-10 с электромагнитным приводом:

- ВКЭ-10-20/630 У2;
- ВКЭ-10-20/1000 У2;
- ВКЭ-10-20/1600 У2;
- ВКЭ-10-31,5/630 У2;
- ВКЭ-10-31,5/1000 У2;
- ВКЭ-10-31,5/1600 У2.

Расшифровка наименования масляного выключателя – ВКЭ-10-20(31,5)/630(1000, 1600) У2:

- В – выключатель масляный;
- 20(31,5) – номинальный ток отключения, кА;
- К – колонковый;
- 630(1000, 1600) – номинальный ток, А;

Э – с электромагнитным приводом;

10 – номинальное напряжение, кВ;

У2 – климатическое исполнение.

Выключатель выполнен в климатическом исполнении «У» категории размещения 2 и предназначен для эксплуатации в помещениях, где колебания температуры и влажности несущественно отличаются от колебаний температуры и влажности на открытом воздухе, и имеется сравнительно свободный доступ наружного воздуха, в районах с умеренным климатом при следующих условиях:

- 1) окружающая среда – пожаровзрывобезопасная;
- 2) верхнее рабочее значение температуры окружающего воздуха – +40°C;
- 3) нижнее рабочее значение температуры окружающего воздуха – 25°C;
- 4) относительная влажность воздуха при температуре +20°C – 80%, верхнее значение 100% при +25°C (с конденсацией влаги);
- 5) увлажнение наружных изоляционных частей выключателя при наличии напряжения не допускается;
- 6) высота установки над уровнем моря – не более 1000 м;
- 7) рабочее положение в пространстве – вертикальное.

Основные технические данные выключателей типа ВК-10 и ВКЭ-10 приведены в таблице 2.

Выключатель выполняет следующие механические операции и циклы операций:

- включение (В);
- отключение (О);
- О – tАПВ – ВО – 180 с – ВО;
- О – 180 с – ВО – 180 с – ВО;
- О – tАПВ – ВО – 20 с – ВО.

Допускаемое для каждого выключателя число операций «О» и «В» приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Основные технические данные выключателей типа ВК и ВКЭ-10

Наименование параметра	Значения для выключателей	
	ВК-10	ВКЭ-10
Номинальное напряжение, кВ	10	10
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	12	12
Номинальный ток, А	630, 1000, 1600	630, 1000, 1600
Номинальный ток отключения, кА	20 и 31,5	20 и 31,5
Предельный сквозной ток, кА:		
Наибольший пик	52 и 80	52 и 80
Начальное действующее значение периодической составляющей	20 и 31,5	20 и 31,5
Ток термической стойкости	20 и 31,5	20 и 31,5
Время протекания тока термической стойкости, с	3	3
Ток включения, кА:		
Наибольший пик	52 и 80	52 и 80
Начальное действующее значение периодической составляющей	20 и 31,5	20 и 31,5
Собственное время отключения, с не более	0,05	0,05
Полное время отключения, с	0,07	0,07
Собственное время включения, с не более	0,075	0,25

### 1.2.1 Принцип работы выключателя типа ВКЭ-10

Выключатели относятся к жидкостным трехполюсным высоковольтным выключателям с малым объемом дугогасящей жидкости (трансформаторного масла). Они предназначены для коммутации высоковольтных цепей трехфазного переменного тока в номинальном режиме работы установки, а также для автоматического отключения этих цепей при коротких замыканиях и перегрузках, возникающих при аварийных режимах.

Принцип действия выключателей основан на гашении электрической дуги, возникающей при размыкании контактов, потоком газомасляной смеси, образующейся в результате интенсивного разложения трансформаторного масла под действием высокой температуры дуги. Этот поток получает определенное направление в специальном дугогасительном устройстве, размещенном в зоне горения дуги.

Управление выключателем дистанционно или вручную осуществляется электромагнитным приводом или двигательным пружинным приводом

косвенного действия. При этом оперативное включение происходит за счет энергии включающего электромагнита или за счет энергии, предварительно запасенной включающими пружинами привода. Отключение выключателя осуществляется за счет энергии, запасенной отключающей пружиной, выключателя при включении.

### **1.2.2 Устройство выключателя типа ВКЭ-10**

Выключатель состоит из следующих основных частей:

- основания;
- трех полюсов;
- электромагнитного или пружинного привода;
- фасадной перегородки;
- штепсельных разъемов;
- изоляционного кожуха , для выключателя на номинальный ток 630, 1000А (Io. ном = 31,5 кА) и номинальный ток 1600 А;
- пластины для подъема шторочного механизма в КРУ.

Основание состоит из рамы, к которой приварены боковые стойки для крепления привода и закреплены педаль для разблокировки выключателя в ячейке комплектного распределительного устройства, заземляющий контакт и корпус механизма полюсов. Рама установлена на колёсиках (приложение Г).

Корпус механизма полюсов выполнен моноблоком на все три полюса (приложение Г). Внутри корпуса на каждый полюс имеется механизм перемещения подвижного стержня, состоящий из двух рычагов: наружного и внутреннего, жестко закрепленных на общем валу. Вал механизма установлен на подшипниках скольжения и имеет прокладки с защитными шайбами. Наружные рычаги вала механизма полюса, связанные общей тягой, соединены с отключающей пружиной и с помощью регулируемой тяги с рычагом вала привода (приложение Д).

На раме также установлен масляный буфер, предназначенный для смягчения ударов в процессе отключения выключателя.

Полюс выключателя состоит из изоляционного цилиндра, на нижнем конце которого заармирован металлический фланец. Цилиндры закреплены на корпусе механизма.

Внутренний рычаг механизма корпуса изоляционной тягой шарнирно связан с подвижным стержнем. Для повышения стойкости к действию электрической дуги и увеличения срока службы верхний конец подвижного стержня снабжен контактом, облицованным дугостойкой металлокерамикой.

В цилиндре полюса установлен токоотвод (роликовое токосъемное устройство), который служит для передачи тока с подвижного на направляющие стержни и одновременно для направления подвижного стержня. Токоотвод имеет от четырех до восьми пар роликов в зависимости от номинального тока и номинального тока отключения выключателя.

Над токосъемным устройством установлен распорный цилиндр с прокладкой и дугогасительная камера поперечного масляного дутья. Над камерой установлен неподвижный розеточный контакт.

В крышке выключателя имеются отверстия для заливки масла, выхода газов и установки стекла маслоуказателя. Маслоуказатель служит для наблюдения за уровнем масла в полюсе и состоит из стекла маслоуказателя с двумя предельными рисками, поплавка со стержнем указателя, расположенного в трубе.

На токоведущих стержнях установлены втычные контакты розеточного типа.

Полюс выключателя на номинальный ток 630, 1000 А (Ю. ном = 31,5 кА) и на номинальный ток 1600 А отличается от полюса с номинальным током 630 А и 1000 А (Ю. ном = 20 кА) наличием в верхней части металлического ребристого кожуха, материалом крышки и отсутствием отражающего диска на трубе.

## **Конструкция электромагнитного привода**

Привод состоит из следующих основных частей:

- 1) корпуса привода коробчатой формы;
- 2) механизма включения;
- 3) электромагнита включения;
- 4) буферного устройства;
- 5) устройства отключения.

Буферное устройство состоит из буфера и стенки, к которой он закреплен двумя болтами. Буферное устройство предназначено:

- для ограничения угла поворота рычага первичного вала, шарнирно связанного с механизмом свободного расцепления, при включении выключателя валом привода;
- для смягчения ударов подвижных частей привода и выключателя при включении;
- для удержания выходного вала привода и вала выключателя во включенном положении через рычаг первичного вала и механизм свободного расцепления.

Механизм включения состоит из следующих основных частей:

- 1) рычага первичного вала;
- 2) механизма свободного расцепления;
- 3) рычага вала привода;
- 4) пружины.

Механизм включения служит:

- для передачи момента с первичного вала (развиваемого силой сердечника электромагнита включения) на выходной вал привода и на вал выключателя в процессе включения;
- удержания выходного вала привода, следовательно, и вала выключателя во включенном положении;
- отключения выключателя при воздействии рычага отключающего устройства на рычаг механизма свободного расцепления.



Механизм свободного расцепления служит для разобщения подвижных частей привода от подвижных частей выключателя в процессе включения выключателя.

Отключающее устройство с механизмом блокировки крепится к корпусу привода и состоит из:

- 1) блок-контактов включения и отключения;
- 2) блок-контактов положения выключателя;
- 3) отключающей пружины;
- 4) электромагнита отключения;
- 5) механизма блокировки.

Блок-контакты включения и отключения, устанавливаемые на кронштейне, закрепленном в корпусе привода, состоят из кулачков отключения и включения, установленных на валу привода; блок-контактов отключения; блок-контактов включения.

Блок-контакты положения выключателя состоят из переключателя типа ПКУЗ. В переключателе имеется по шесть замыкающих и по шесть размыкающих контактов. Переключаются блок-контакты посредством тяги, соединенной с валом привода.

Механизм блокировки крепится болтами к корпусу привода и обеспечивает невозможность:

- вкатывания включенного выключателя из разобщенного в контрольное и из контрольного положения в рабочее в КРУ;
- выкатывания включенного выключателя из рабочего положения в разобщенное в КРУ;
- включения выключателя в промежуточном положении между рабочим и разобщенным в КРУ.

Указателем включенного и отключенного положений выключателя служит указатель с надписями ВКЛ и ОТКЛ, который укреплен на выходном валу привода. В зависимости от положения привода и, соответственно, выключателя в окошке кожуха привода появляются соответствующие надписи.

### 1.3 Актуальность реконструкции

При плановом осмотре ПС 110/10 кВ «Андроново», обследование показало: высокую степень физического и морального износа выключателей (тип ВКЭ-10). Основным дефект в выключателе – течь масла по валу привода. Наличие течи приводит к необходимости усиленного контроля уровня масла в полюсах выключателей. В целях предотвращения отказа во время отключений, особенно аварийных (коммутация больших токов с образованием дуги на размыкающихся контактах) предлагается заменить данный выключатель.

Данный выключатель был введен в эксплуатацию на подстанцию «Андроново» в 1993 году, с тех пор прошло 25 лет, и в связи с длительным сроком эксплуатации появляется дефект - течь масла по валу привода.

В связи с этим было принято техническое решение о замене выключателя типа ВКЭ-10.

В результате реализации настоящего проекта будет обеспечено:

- увеличение надежности электроснабжения потребителей;
- снижение эксплуатационных затрат;
- снижение затрат на послеаварийное восстановление из-за отказов оборудования.

Принятые в проекте технологические решения, оборудования и материалы соответствуют современному уровню техники и технической политике ОАО «МРСК Урала».

Работы по замене выключателей включают в себя:

- демонтаж выкатных элементов с выключателями типа ВКЭ-10;
- монтаж новых выкатных элементов;
- установка ОПН-10 кВ;
- пуско-наладочные работы.

## **1.4 Рынок сбыта**

Подстанция напряжением 110/10 кВ «Андроново» является центром питания крупного территориального образования, включающего в себя ряд населённых пунктов с широкой инфраструктурой административно-бытового комплекса, а так же ряд социально значимых объектов, объектов сельскохозяйственного и промышленного назначения. К основным потребителям, надёжность электроснабжения которых зависит от реализации данного проекта, относятся следующие объекты:

- социально значимые объекты деревни «Андроново» (Больница, школа, пекарня, административные здания);
- быт деревни «Андроново»;
- быт деревни «Сладковское»;
- социально значимые объекты деревни «Сладковское» (Больница, школа, пекарня, административные здания);
- деревня «Макуй»;
- деревня «Томилово».

Предлагается замена масляного выключателя типа ВКЭ-10 на более современный типа ВВ/TEL-10, ВБПУЗ-10 или ВВПЭ-10.

## **1.5 Описание и технические характеристики предлагаемых на замену выключателей**

### **1.5.1 Информация по выключателю типа ВБПУЗ-10**

Вакуумные выключатели типа ВБУПЗ-10 с пружинно-моторными приводами (далее – выключатели) общего назначения для сетей с частыми коммутациями предназначены для работы в КСО и комплектных распределительных устройствах (КРУ) типа К-63 и др. внутренней установки на класс напряжения 10 кВ трехфазного переменного тока частоты 50 Гц.

Выключатели предназначены для коммутации высоковольтных цепей трехфазного переменного тока в номинальном режиме работы установки, а также для автоматического отключения этих цепей при коротких замыканиях и перегрузках, возникающих при аварийных режимах, технические характеристики выключателя представлены в таблице 3.

Таблица 3 - Технические характеристики выключателя серии ВБУПЗ-10

Параметр	Значения		
	ВБУПЗ-10-20/1600	ВБУПЗ-10-20/1000	ВБУПЗ-10-31,5/1600
Номинальное напряжение, кВ	10		
Номинальный ток, А	1000	1600	1600
Номинальный ток отключения, кА	20		31,5
Ток термической стойкости, Зс, кА	20		31,5
Ток электродинамической стойкости, кА	52		81
Токи включения, кА:			
— наибольший пик	52		81
— начальное значение периодической составляющей	20		31,5
Собственное время отключения, с, не более	0,03		
Полное время отключения, с, не более	0,05		
Собственное время включения, с, не более	0,05		

Выключатель типа ВБУПЗ-10 относится к высоковольтным вакуумным выключателям, гашение дуги в которых осуществляется вакуумными дугогасительными камерами.

Общий вид выключателя показан на рисунке 1. Выключатель состоит из следующих основных частей:

- основания, в состав которого входит рама, вал выключателя, отключающая пружина и масляный буфер;
- трёх полюсов с вакуумными дугогасительными камерами;
- пружинно-моторного привода.

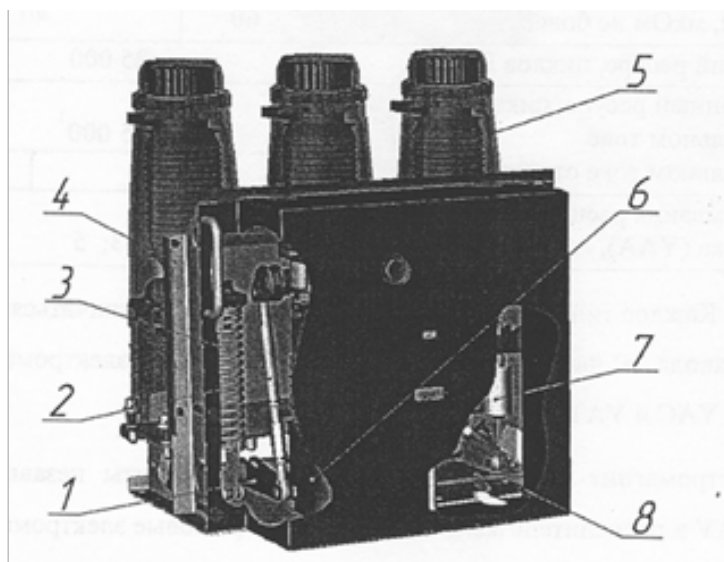


Рисунок 1 – Общий вид выключателя:

1 – вал; 2 – тяга; 3 – пружина; 4 – рама; 5 – полюс; 6 – привод; 7 –буфер; 8 – вал блокировки

Основание выключателя (рисунок 1) состоит из рамы, которая предназначена для закрепления полюсов и привода.

Для гашения удара подвижных частей при отключении на боковой стенке установлен масляный буфер, который состоит из поршня (рисунок 2), стакана, в верхней части которого установлены манжета с двумя кольцами, в нижней части установлены пружина и конус.

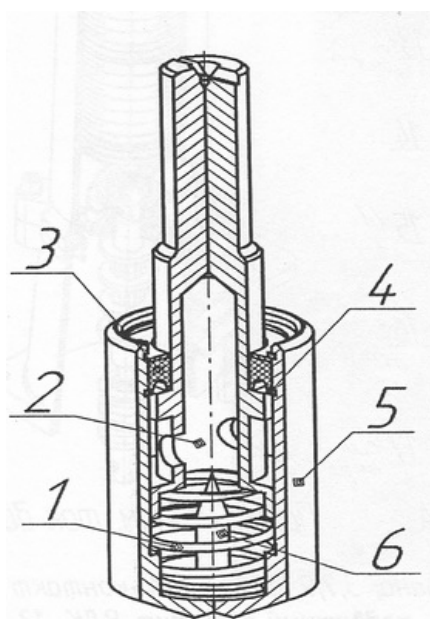


Рисунок 2 – Буфер:

1-пружина; 2-поршень; 3-манжета; 4-кольцо; 5-стакан; 6-конус

Полюс выключателя (рисунок 3) состоит из корпуса, в котором крепится винтами пластина и вакуумная дугогасительная камера. К подвижному контакту вакуумной дугогасительной камеры при помощи ушка присоединяется контакт гибкий, а к нему при помощи гайки крепится пластина. Ушко шарнирно соединено с изоляционной тягой и механизмом поджатия. Корпус и пластина винтами крепится к корпусу. На полюс номинального тока 1600А дополнительно установлен радиатор.

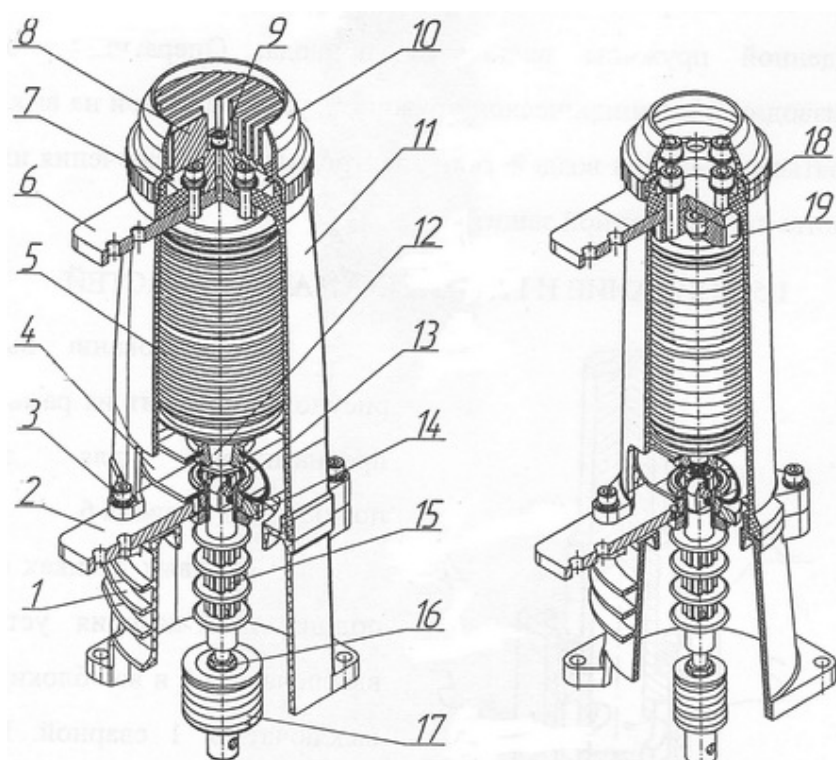


Рисунок 3 – Полюс:

1,10,11 – корпус; 2,6,19 – пластина; 3,7,9,18 – винт, 4 – контакт гибкий; 5 – ВДК; 8 – радиатор, 12 – подвижный контакт ВДК; 13 – ушко; 14,16 – гайка; 15 – изоляционная тяга; 17 – механизм поджатия

Принцип работы выключателя основан на гашении электрической дуги в вакууме, возникающей при размыкании контактов. Электрическая дуга, благодаря выбранной форме дугогасительных контактов, направляется в стороны от центра. Ввиду высокой электрической прочности вакуумного промежутка и отсутствия среды, поддерживающей горение дуги, электрическая дуга распадается и гаснет.

Оперативное включение производится за счет тягового усилия заведенной пружины включения привода. Оперативное отключение производится цилиндрической пружиной, установленной на выключателе и срабатывающей при воздействии электромагнита отключения или электромагнита дистанционной защиты.

### **1.5.2 Технические характеристики и принцип работы выключателя типа ВВ/TEL-10**

Вакуумный выключатель типа ВВ/TEL-10 предназначен для работы в комплексных распределительных устройствах (КРУ) и камерах стационарного обслуживания (КСО) внутренней и наружной установки, класса напряжения до 10 кВ трехфазного переменного тока 50 Гц для систем с изолированной и заземленной нейтралью.

В основе конструктивного решения вакуумного выключателя лежит использование пофазных электромагнитных приводов с «магнитной защелкой», механически связанных общим валом. Такая конструкция отличает его от других типов вакуумных выключателей.

Особенности выключателя типа ВВ/TEL-10:

- высокий механический ресурс;
- небольшое потребление энергии на отключение и включение;
- малые габариты и вес;
- управление, как от постоянного, так и от переменного тока.

Все технические характеристики выключателя типа ВВ/TEL-10 представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Технические характеристики выключателя типа ВВ/TEL-10

Параметр	Значение
Номинальное напряжение, кВ	10
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	12
Номинальный ток (I <sub>ном</sub> ), А	630; 1000
Номинальный ток отключения (I <sub>о. ном</sub> ), кА	12,5; 20
Сквозной ток короткого замыкания:	
- наибольший пик, кА, не более	32; 52
- начальное действующее значение периодической составляющей, кА	12,5; 20
Нормированное процентное содержание аperiodической составляющей, %	30; 30
Среднеквадратическое значение тока за время его протекания (ток термической стойкости), кА	12,5; 20
Время протекания тока (время короткого замыкания),	3
Собственное время отключения выключателя, с. не более (Без учета времени срабатывания блока управления)	0,015
Полное время отключения, с, не более	0,025
Собственное время включения, с, не более	0,07
Неодновременность замыкания и размыкания контактов, с, не более	0,004
Номинальное напряжение питания блока управления, В (постоянного и переменного тока)	220

Гашение дуги переменного тока осуществляется при разведении контактов в глубоком вакууме (остаточное давление порядка 10<sup>-6</sup> мм. рт. ст.).

В момент времени  $t_1$  начинается расхождение контактов вакуумной дугогасительной камеры и в межконтактном промежутке зажигается электрическая дуга. Падение напряжения на дуге чрезвычайно мало и обычно не превышает 30В. В момент времени  $t_2$  перехода тока через естественный ноль межконтактный промежуток заполнен ионизированными парами металла, образовавшимися в течение горения дуги  $t_1 - t_2$ . Однако, в силу отсутствия среды, препятствующей разлету этих паров, их уход из промежутка осуществляется за чрезвычайно малое время 10<sup>-5</sup> с, после чего вакуумный выключатель готов выдержать восстанавливающееся напряжение.

Поскольку электрическая прочность вакуумного промежутка чрезвычайно высока (30 кВ/мм), отключение гарантированно происходит при зазорах более 1 мм.



Высоковольтные выключатели предназначены для установки их в комплектных распределительных устройствах, КСО и закрытых распределительных устройствах.

В основу работы высоковольтных выключателей типа ВВ/TEL заложен принцип гашения дуги переменного тока в вакуумной дугогасительной камерой (рисунок 4). Корпус вакуумной дугогасительной камеры состоит из двух керамических изоляторов и медного экрана припаиваемого к изоляторам. Внутри корпуса находятся неподвижный и подвижный контакты, соединенные с выводами. Внутри корпуса создается глубокий вакуум (остаточное давление порядка  $10^{-6}$  миллиметров ртутного столба), в котором и происходит гашение дуги переменного тока при разведении контактов. В момент расхождения контактов вакуумной дугогасительной камеры в межконтактном промежутке зажигается электрическая дуга. Носителями заряда при горении дуги являются пары металла. Падение напряжения на дуге чрезвычайно мало и обычно не превышает 30 В. Из-за практического отсутствия среды в межконтактном промежутке конденсация паров металла (переход вещества в твердое состояние из газообразного) в момент перехода тока через ноль осуществляется за чрезвычайно малое время ( $10^{-5}$ с), после чего происходит быстрое восстановление электрической прочности вакуумной дугогасительной камеры и высоковольтный выключатель готов выдержать восстанавливающееся напряжение. Поскольку электрическая прочность вакуумного промежутка чрезвычайно высока и составляет более 30 кВ/мм, отключение гарантированно происходит при зазорах более 1мм. Для того чтобы подвижный контакт мог перемещаться без нарушения герметичности вакуумной дугогасительной камеры имеется сиффон, который припаивается к изолятору и выводу.

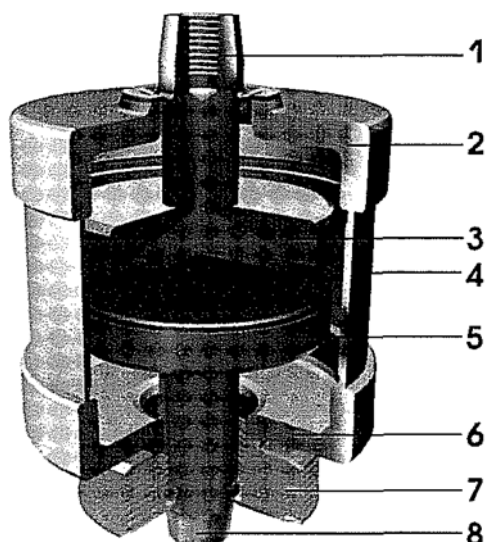


Рисунок 4 – Вакуумная дугогасительная камера (ВДК):

1, 8-выводы; 2, 6- изоляторы; 3-неподвижный контакт; 4-экран, 5-подвижный контакт; 7-сильфон

Высоковольтный выключатель состоит из трех полюсов, установленных на общем металлическом основании (рисунок 5).

Все три полюса имеют одинаковую конструкцию (рисунок 6).

В качестве привода каждого полюса используется приводной электромагнит, состоящий из катушки, якоря, кольцевого магнита, отключающей пружины и пружины поджатия. Приводные электромагниты всех трех полюсов смонтированы внутри металлического основания высоковольтного выключателя (рисунок 6). Катушки приводных электромагнитов электрически соединены между собой параллельно и используются для включения и отключения выключателя. Якоря приводных электромагнитов полюсов механически соединены с общим валом.

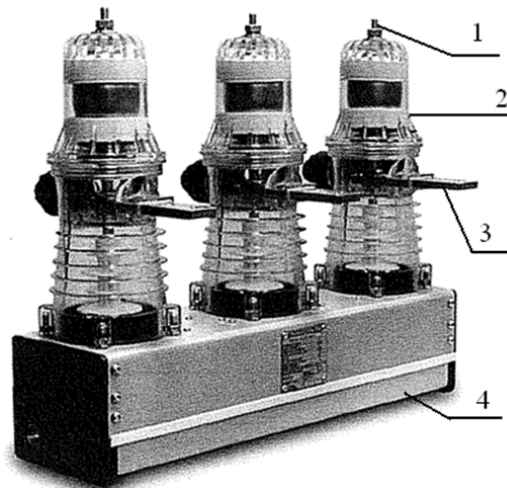


Рисунок 5 – Вакуумный выключатель ВВ/ТЕL-10:

1, 3-токоведущие выводы; 2-полус; 4- основание

**Включение выключателя:**

– в исходном состоянии контакт и ВДК разомкнуты и удерживаются в таком состоянии под воздействием на подвижный контакт отключающей пружины через тяговой изолятор;

– при подаче сигнала «ВКЛ» БУ вакуумный выключатель формирует импульс напряжения положительной полярности, который прикладывается к катушкам приводных электромагнитов. Протекающие через катушки токи создают магнитные потоки в зазорах между якорями и кольцевыми магнитами всех трех полюсов. Под воздействием электромагнитных сил якоря начинают втягиваться внутрь электромагнитов, то есть начинают двигаться вверх и через пружины поджатия заставляют двигаться тяговые изоляторы и подвижные контакты вакуумной дугогасительной камеры, сжимая при этом отключающие пружины каждого полюса. После замыкания контактов и вакуумной дугогасительной камеры якоря продолжают двигаться ещё 2мм до упора, сжимая пружины и создавая необходимое поджатие между этими контактами. Общий ход якорей составляет 8мм, а ход подвижных контактов 6мм. При этом кольцевые магниты запасают магнитную энергию. После снятия напряжения с катушек якоря остаются и удерживаются в верхнем (высоковольтный выключатель включен) положении кольцевыми магнитами за счет запасенной

ими магнитной энергии. Таким образом ВВ становится на, так называемую, магнитную защелку, при этом не потребляя энергию управления для удержания контактов и в замкнутом положении.

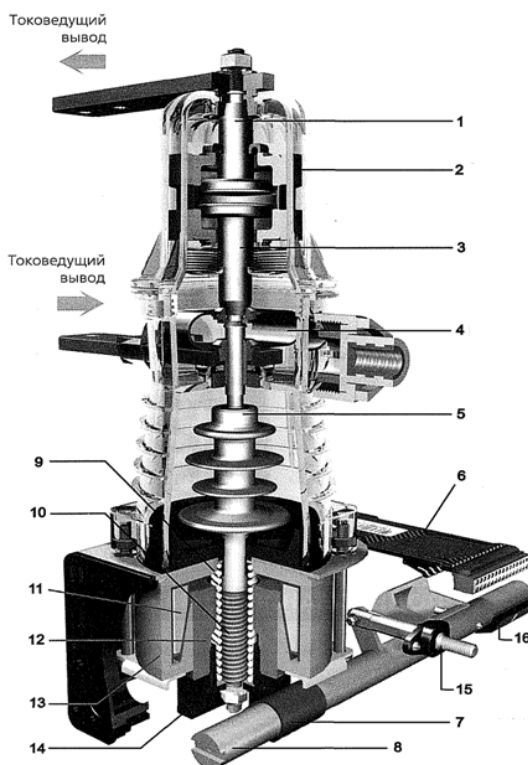


Рисунок 6 – Полюс вакуумного выключателя:

1-неподвижный контакт ВДК; 2-ВДК; 3-подвижный контакт ВДК; 4-гибкий токосъем; 5-тяговый изолятор; 6-вспомогательные контакты; 7-кулачок; 8-вал; 9-отключающая пружина; 10-пружина поджатия; 11-катушка; 12-якорь; 13-кольцевой магнит; 14-втулка якоря; 15-толкатель; 16-указатель вкл./откл. положения

### 1.5.3 Описание выключателя типа ВВПЭ-10

Выключатели вакуумные серии ВВПЭ-10 с электромагнитным приводом предназначены для включения и отключения электрических цепей в нормальном режиме работы, а также при перегрузках и коротких замыканиях. Выключатели приспособлены для встраивания в шкафы комплектных распределительных устройств (КРУ) выкатного типа номинального напряжения 10 кВ трехфазного переменного тока частоты 50 Гц. Основные технические данные выключателя типа ВВПЭ-10 представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Основные технические данные выключателя типа ВВПЭ-10

Параметр	Значения
Номинальное напряжение, кВ	10
Номинальный ток, А	630; 1000; 1600
Номинальный ток отключения, кА	20; 31,5
Нормированные параметры тока включения, кА наибольший пик	52; 80
Предельный сквозной ток, кА - начальное эффективное значение периодической составляющей - амплитуды	20 52
Предельный ток термической стойкости, кА	20; 31,5
Время протекания предельного тока термической стойкости, с	3
Максимальная величина отключаемого тока одиночных конденсаторных батарей, А	350
Минимальная бестоковая пауза при АПВ, с	0,3
Собственное время отключения, не более, с	0,06
Полное время отключения выключателя, не более, с	0,08
Собственное время включения выключателя, не более, с	0,2
Ресурс по механической стойкости, циклов, не менее:	25000
Габаритные размеры, мм, (высота ширина глубина)	960; 670; 630

Принцип действия выключателя основан на гашении электрической дуги, возникающей между контактами камеры в вакууме. Ввиду высокой электрической прочности вакуумного промежутка и отсутствия среды, поддерживающей горение дуги, время горения дуги минимально.

Управление выключателем осуществляется электромагнитным приводом постоянного тока. При этом оперативное включение происходит за счет энергии включающего электромагнита, отключение за счет энергии отключающих пружин самого выключателя, которые срабатывают при воздействии отключающего электромагнита на защелку привода, удерживающую выключатель во включенном положении.

В сварной раме выключателя размещены: электромагнитный привод постоянного тока (рисунок 7), главный вал с рычагами кинематической связи и тяга, соединяющая валы выключателя и привода. Внутри рамы установлены отключающие пружины, буферные устройства.

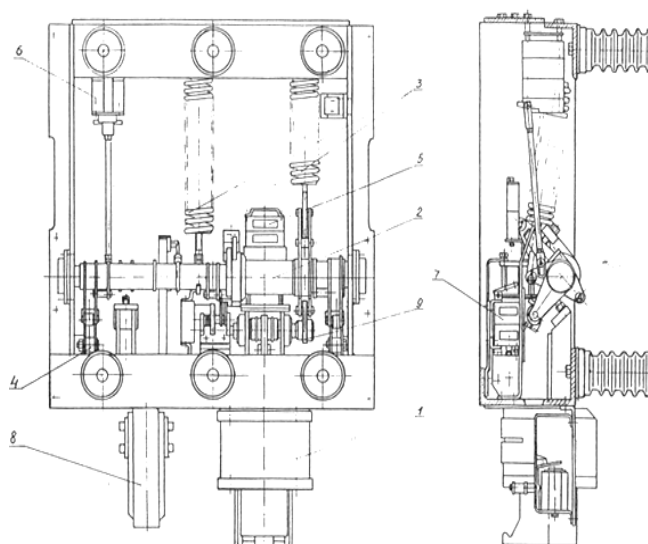


Рисунок 7 – Рама выключателя типа ВВПЭ-10:

1-привод; 2-вал; 3-пружины отключающие; 4-буферное устройство; 5,6,7-контакты  
вспомогательных цепей и управления

Общий вид буферного устройства приведен на рисунке 8, а буфера на  
рисунке 9.

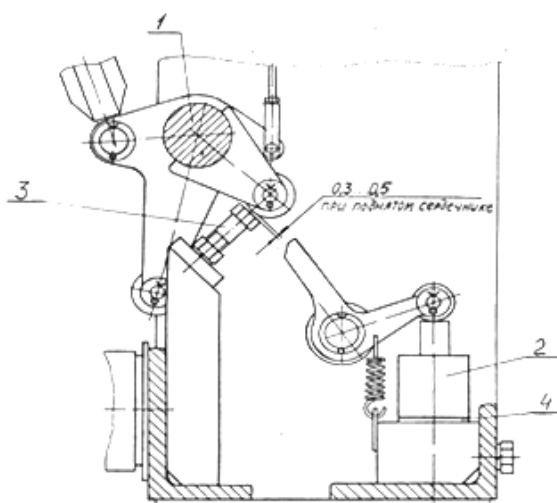


Рисунок 8 – Устройство буферное:

1-вал; 2-буфер; 3-болт; 4-прокладка

На боковых стенках рамы имеются специальные болты для  
присоединения заземляющих шин.

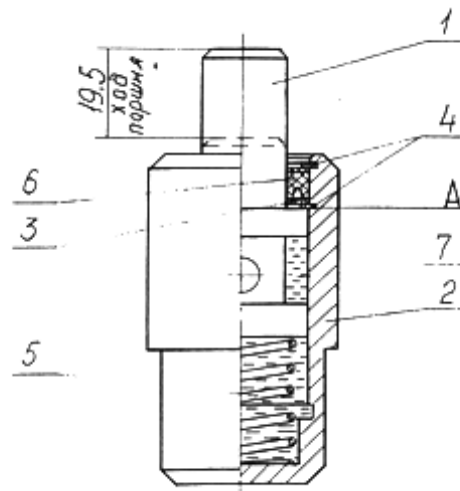


Рисунок 9–Буфер:

1-поршень; 2-стакан; 3-шайба; 4-кольцо; 5-пружина; 6-монжета; 7-масло; А-урвень масла

В раме установлены сигнальные контакты вспомогательных цепей КСБ, контакты цепей управления КБВ и КБО (рисунок 7), контактор, который крепится к нижней части рамы.

Концы проводов вспомогательных цепей выведены в верхнюю часть рамы. В раме имеются отверстия для опорного крепления выключателя к выкатной части комплектного распределительного устройства, крепления и фиксации элементов выкатной части комплектного распределительного устройства.

Дугогасительная камера включает в себя непосредственно вакуумную камеру: контактную колодку с гибкой связью, которые соединены с подвижным контактом камеры: узел поджатия, состоящий из пружины, втулки, тяги, крышки, оси.

В процессе включения выключателя после замыкания контактов камеры при дальнейшем ходе благодаря пазу в тяге происходит деформация пружины, которая создает контактное нажатие.

## 2 ПРОЕКТ РЕКОНСТРУКЦИИ КОМПЛЕКТНОГО РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА

При реконструкции системы электроснабжения учитываются как продолжительные, так и аварийные режимы. Один из аварийных режимов это - короткое замыкание. Коротким замыкание (КЗ) называют всякое случайное или преднамеренное, не предусмотренное нормальным режимом работы, электрическое соединение различных точек электроустановки между собой или землёй, при котором токи в ветвях электроустановки резко возрастают, превышая наибольший допустимый ток продолжительного режима. Короткие замыкания бывают: трёхфазными, двухфазными и однофазные. Электрооборудование, устанавливаемое в системах электроснабжения, должно быть устойчивым к токам короткого замыкания и выбираться с учётом величин этих токов. Для предотвращения короткого замыкания и уменьшения их последствий необходимо правильно вычислить величины токов короткого замыкания и по ним выбрать необходимую аппаратуру, защиту и средства для ограничения токов короткого замыкания.

### 2.1 Расчет токов короткого замыкания

Питание потребителей осуществляется от системы бесконечной мощности. Параметры необходимые для расчета токов короткого замыкания:

Задаемся базисной мощностью и базисным напряжением.

$$S_{\sigma} = S_{\text{ном}} = 7800 \text{ МВА.}$$

За базисное напряжение принимаем среднее напряжение той ступени, где находится точка короткого замыкания:

$$U_{\sigma 1} = 110 \text{ кВ;}$$

$$U_{\sigma 2} = 10 \text{ кВ.}$$



Составляем расчетную схему подстанции (рисунок 10):

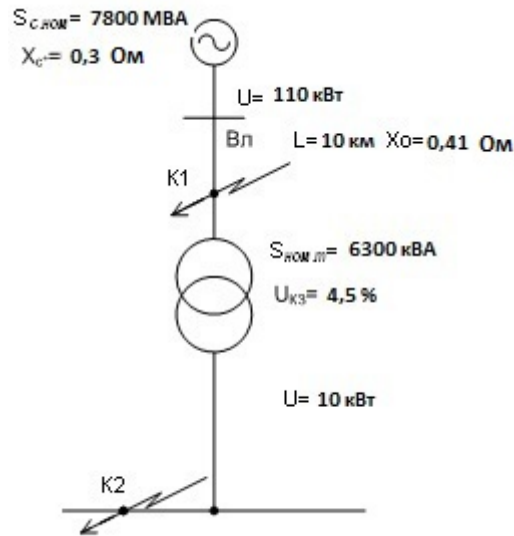


Рисунок 10 - Расчетная схема подстанции

Составляем схему замещения сопротивления энергосистемы для каждой точки (рисунок 11):

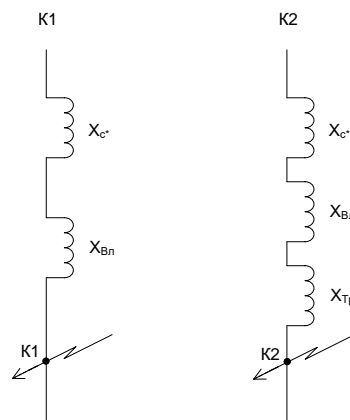


Рисунок 11 - Схема замещения сопротивление энергосистемы

Определяем сопротивление всех элементов схемы замещения сопротивление энергосистемы:

$$x_{эс*} = \frac{S_p}{S_{с.ном}} \cdot x_{c*} = \frac{7800}{7800} \cdot 0,3 = 0,3 \text{ Ом.} \quad (1)$$

Сопротивление линии:

$$x_{Л*} = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{U_{61}^2} = 0,410 \cdot 10 \cdot \frac{7800}{110^2} = 2,64 \text{ Ом.} \quad (2)$$

Сопротивление двухобмоточного трансформатора:

$$x_{ТП*} = \frac{S_6}{S_{HT}} \cdot \frac{u_k}{100} = \frac{7800}{6,3} \cdot \frac{4,5}{100} = 55,71 \text{ Ом.} \quad (3)$$

Определяем результирующее сопротивление.

Первая схема замещения точка К1:

$$x_{рез1} = x_{ЭС*} + x_{Л*} = 0,3 + 2,64 = 2,94 \text{ Ом.} \quad (4)$$

Вторая схема замещения точка К2:

$$x_{рез2} = x_{ЭС*} + x_{Л*} + x_{ТП*} = 0,3 + 2,64 + 55,71 = 58,65 \text{ Ом.} \quad (5)$$

Определяем базисный ток на ВН:

$$I_{61} = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_{61}} = \frac{7800}{\sqrt{3} \cdot 110} = 122,8 \text{ кА.} \quad (6)$$

Определяем базисный ток на НН:

$$I_{62} = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_{62}} = \frac{7800}{\sqrt{3} \cdot 10} = 1350,99 \text{ кА.} \quad (7)$$

Определяем периодическую составляющую токов короткого замыкания:

$$I_1'' = \frac{I_{61}}{x_{рез1}} = \frac{122,8}{2,94} = 41,76 \text{ кА;} \quad (8)$$

$$I_2'' = \frac{I_{62}}{x_{рез2}} = \frac{1350,99}{58,65} = 23,03 \text{ кА.} \quad (9)$$

Определяем ударный ток короткого замыкания:

$$i_{y\partial 1} = \sqrt{2} \cdot k_{y\partial} \cdot I_1'' = \sqrt{2} \cdot 1,71 \cdot 41,76 = 100,98 \text{ кА;} \quad (10)$$

$$i_{y\partial 2} = \sqrt{2} \cdot k_{y\partial} \cdot I_2'' = \sqrt{2} \cdot 1,36 \cdot 23,03 = 44,29 \text{ кА,} \quad (11)$$

где  $k_{уд}$  – ударный коэффициент;

$k_{уд} = 1,71$  – при КЗ за ВЛ 110кВ;

$k_{уд} = 1,36$  – при КЗ в распределительных сетях 6-10 кВ.

## 2.2 Выбор электрических аппаратов для подстанции

### 2.2.1 Выбор оборудования 10 кВ

Данные для выбора аппаратов:

$$I_1^{\text{II}} = 41,76 \text{ кА};$$

$$I_2^{\text{II}} = 23,03 \text{ кА};$$

$$i_{\text{уд1}} = 100,98 \text{ кА};$$

$$i_{\text{уд2}} = 44,29 \text{ кА}.$$

Рассчитаем максимальный длительный ток:

$$I_{\text{max1}} = 1,4 \cdot 6,3 \cdot 10^3 / (\sqrt{3} \cdot 110) = 46,29 \text{ А}; \quad (12)$$

$$I_{\text{max2}} = 1,4 \cdot 6,3 \cdot 10^3 / (\sqrt{3} \cdot 10) = 509,23 \text{ А}. \quad (13)$$

Определим тепловой импульс тока короткого замыкания:

$$W_k = I''^2 \cdot (t_{\text{откл.}} + T_a); \quad (14)$$

$$W_{k1} = 41,76^2 \cdot (1,32 + 0,03) = 2354,26 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

$$W_{k2} = 23,03^2 \cdot (1,32 + 0,03) = 716,01 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Рассмотрим все предложенные выключатели и выберем тот, характеристики которого подходят под реконструируемое комплектное распределительное устройство и наши расчетные данные (таблица 6).

Таблица 6 - Выбор выключателя 10кВ

Расчетные данные	Параметр	ВБУПЗ-10	ВВ/ТЕL-10	ВВПЭ-10
$U_{\text{уст}}=10\text{кВ}$	Номинальное напряжение, кВ	10	10	10
$I_{\text{max2}}=509,23\text{А}$	Номинальный ток, А	630/1000	630/1000	630/1000
$I_{\text{уд2}}=44,29\text{кА}$	Ток динамической стойкости, кА	52	52	52
–	Собственное время отключения, с не более	0,03	0,0125	0,06
–	Полное время отключения, с не более	0,05	0,025	0,08
–	Цена, руб.	122700	130000	135000

Выбираем выключатель для комплектного распределительного устройства. Все представленные выключатели соответствуют нашим

расчетным данным, поэтому будем выбирать по остальным параметрам, а это - цена, габариты, опыт использования на подстанциях, технические характеристики и степень сложности в эксплуатации. Выключатель ВБУПЗ-10 не подходит для нашего проекта, по габаритам, поэтому выбираем выключатель из двух оставшихся, это ВВ/TEL-10 и ВВПЭ-10. Из них выберем ВВ/TEL-10, так как его собственное и полное время отключения меньше конкурентов, что очень важно при аварийных отключениях. Так же его цена значительно ниже и данный выключатель показал себя с самой наилучшей стороны в рабочем режиме. Кроме того, выключатель ВВ/TEL-10 ценится за легкость в эксплуатации. Поэтому выбранный нами коммутационный аппарат является лидером для реконструкции подстанции напряжением 110/10 кВ «Андроново» и удовлетворяет всем критериям и технической политике ОАО «МРСК Урала».

### **2.2.2 Расчет защитного заземления**

При расчёте заземляющего устройства определяются тип заземлителей, их количество и место размещения, а также сечение заземляющих проводников. Этот расчёт производится для ожидаемого сопротивления заземляющего устройства в соответствии с существующими требованиями ПУЭ.

Грунт, окружающий заземлители, не является однородным. Наличие в нём песка, строительного мусора и грунтовых вод оказывает большое влияние на сопротивление грунта. Поэтому ПУЭ рекомендуют определять удельное сопротивление  $\rho$  грунта путём непосредственных измерений в том месте, где будут размещаться заземлители. При этом необходимо учитывать сезонные колебания грунта. При отсутствии данных измерения для расчётов пользуются примерными значениями удельных сопротивлений грунтов.

Исходные данные для расчёта:

- длина контура по периметру – 60 метров;
- длина кабеля 10 кВ – 1 км;

- грунт суглинок –  $\rho = 100$ , расчётный коэффициент  $\psi_2 = 1,5$ ;
- количество заземлителей  $n = 24$  штук.

Требуется рассчитать заземляющее устройство для подстанции напряжением 110/10 «Андроново».

Расчёт:

Ток однофазного замыкания на землю в сети 110 кВ составит:

$$I_3 = U \times (35 L_{\text{каб}}) / 350, \quad (15)$$

где  $I_3$  - ток однофазного замыкания на землю, А;

$U$ - напряжение номинальное, кВ;

$L_{\text{каб}}$  – длина кабеля, км.

$$I_3 = 110 \times (35 \times 1) / 350 = 11 \text{ А.}$$

Сопротивление заземляющего устройства для сети 110 кВ при общем заземлении:

$$R_3 = U_3 / I_3, \quad (16)$$

где  $R_3$  - сопротивление заземляющего устройства, Ом;

$U_3$  – напряжение на заземляющем устройстве, В.

$$R_3 = 125 / 0,63 = 11,36 \text{ Ом.}$$

Сопротивление заземляющего устройства для сети более 1000В с глухозаземлённой нейтралью должно быть не более 10Ом. Принимаем наименьшее сопротивление заземляющего устройства при общем заземлении 10 Ом.

Расчёт удельного сопротивления грунта:

$$\rho = \rho \times \psi_2, \quad (17)$$

где  $\rho$  – удельное сопротивление грунта, Ом×см.

$\psi_2$  - расчётный коэффициент (среднее значение).

$$\rho = 100 \times 1,5 = 150 \text{ Ом} \times \text{м.}$$

Выбираем в качестве заземлителей электрод из угловой стали размером 50×50×5, длиной 2,5 м  $R_{0,y} = 0,0034 \rho$ .

$$R_{\text{пр}} = 0,0034 \rho \times \psi_2; \quad (18)$$

$$R_{\text{пр}} = 0,0034 \times 1 \times 10^4 \times 1,5 = 51 \text{ Ом.}$$

Учитывая коэффициент экранирования  $\eta = 0,59$  сопротивление заземляющего устройства без учёта протяжённого заземлителя составит:

$$R'_{и} = R_{пр}/(n \times \eta), \quad (19)$$

где  $n$  – число стержней заземлителей, штук;

$\eta$  - коэффициент экранирования.

$$R'_{и} = 51 / (38 \times 0,59) = 2,46 \text{ Ом.}$$

Так как  $R'_{и} = 2,46$  Ом меньше предельной величины 4 Ом, то число стержней заземлителей 38 штук выбрано правильно и учитывать сопротивление протяжённого заземлителя не следует.

### **2.3 Влияние реконструкции на окружающую среду**

Реконструируемая подстанция предназначена для получения и передачи электрической энергии потребителям посредством воздушных и кабельных линий электропередач. Подстанция располагается в сельской местности, то есть, существует непосредственный контакт и неблагоприятное влияние на окружающую среду. В общем виде образующиеся при работе подстанции загрязнения классифицируются как:

- материальные (жидкие вещества и твердые отходы);
- энергетические (шум, электромагнитное поле).

В процессе эксплуатации электроэнергетических установок открытых распределительных устройств (ОРУ) и воздушных линий электропередачи (ВЛ) высокого напряжения (110 кВ и выше) отличается ухудшение здоровья персонала, что выражается в повышенной утомляемости, вялости, болях в сердце, головных болях. Интенсивное электромагнитное поле промышленной частоты вызывает у работающих нарушение работы центральной нервной и сердечнососудистой систем (продолжительность пребывания ремонтного персонала в электромагнитном поле приведено в таблице 7). Эффект воздействия электромагнитного поля на человека принято оценивать

количеством электромагнитной энергии, поглощаемой человеком при нахождении его в поле.

Таблица 7 – Продолжительность пребывания ремонтного персонала в электромагнитном поле

Напряженность электромагнитного поля, кВ/м.	Продолжительность пребывания, мин.
5 - 10	не более 180
10 - 15	не более 90
15 - 20	не более 10
20 - 25	не более 5

Из материальных отходов наибольшую опасность представляет трансформаторное масло, которое содержит полихлорбифенилы представляющие собой стойкие органические загрязнители, то есть химические вещества, которые являются устойчивыми, способными к биоаккумуляции, и которые оказывают неблагоприятное действие на здоровье человека и окружающую среду. Полихлорбифенилы очень инертны, высокостабильны, обладают ярко выраженными липофильными свойствами, способны накапливаться в живых организмах и окружающей среде, активно передаются по пищевым цепям. При продвижении по такой цепи доля высокохлорированных (более устойчивых) полихлорбифенилы увеличивается, возрастают и аккумулируемые концентрации. Пути поступления этих токсинов в водоемы традиционны - подземные, промышленные, бытовые воды, поверхностный сток, судоходство, атмосферный перенос. В водоеме незначительные количества полихлорбифенилов вместе с испарениями понимаются в воздух и повторно включаются в перенос. Основная их часть сорбируется на взвешенных частицах, оседает на дно, поглощается растительностью и гидробионтами, в них накапливается и метаболизируется, нанося ущерб экосистеме. Аккумулируясь в малых количествах, полихлорбифенилы негативно воздействуют на физиологические показатели и репродукцию водных организмов. Повышения уровня их накопления в гидробионтах может привести к более серьезным последствиям, вызывая, в конечном счете, гибель отдельных особей, видов, и даже целых сообществ.

Совокупность описанных свойств относит полихлорбифенилы к наиболее опасным токсинам, требующим постоянного контроля в различных объектах окружающей среды, в том числе в водоемах.

Норма ПДК для трансформаторного масла в рабочей зоне составит  $5\text{мг/м}^3$ .

С целью повышения экологичности трансформаторной подстанции, большой объем материальных отходов, которой составляет отработанное трансформаторное масло, производится замена минерального трансформаторного масла на термостойкое кремнийорганическое масло, например такое как: Пента-ТРСМ-110. Оно химически инертно, совместимо со многими конструкционными материалами, взрывобезопасно, трудногорюче, продукты горения не содержат ядовитых веществ. Это масло не токсично, не содержит депрессантов, антиоксидантов, термостабилизаторов и других опасных и токсичных компонентов. При попадании на грунт со временем разлагается на песок, углекислый газ и воду. При попадании в организм не накапливается и не оказывает вредного воздействия. Применив это масло можно уже не строить и обслуживать маслоприемные устройства, препятствующие попаданию масла в грунт.

В связи с установкой вакуумных выключателей – увеличился срок службы высоковольтного оборудования и его экологичность. Так как вакуум не является канцерогенным веществом и не наносит вреда атмосфере и окружающей среде, в отличие от ранее применяемого трансформаторного масла, которое требует утилизации, переработки и различных мер по очистке сточных вод при попадании в них масла. Также применение вакуумных выключателей снижает потребление электроэнергии на подогрев.

Установка вакуумных выключателей взамен маломасляных, привела к увеличению срока службы высоковольтного оборудования. Эти выключатели абсолютно пожаро - и - взрывобезопасны, сохраняют свою работоспособность при практически любых температурах окружающей среды. Это самые «чистые»



типы выключателей – никаких проблем с загрязнением и выделением небезопасных для экологии веществ, они практически бесшумны в работе.

В результате проведенных мер проект можно считать экологичным.

### 3 МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Техническая эксплуатация и обслуживание электрических подстанции невозможно без знания принципов действия различных трансформаторов, порядка их выбора и защиты от аварийных режимов.

Для проверки и закрепления результатов обучения по различным дисциплинам существует дидактический тест. Дидактические тесты представляют собой тесты развития, интеллекта, общей результативности, школьной успеваемости, специальные тесты, определяющие профессиональную пригодность и функциональные возможности.

Тестовые задания имеют ряд преимуществ перед другими формами проверки знаний учащихся. Способствует этому:

- объективность, так как уровень усвоения знаний определяется только по количеству правильных ответов;
- применение тестов уменьшает конфликтность в отношениях между участниками процесса обучения, так как оценка ставится только за полученные правильные ответы;
- снижается волнение со стороны обучающихся при выполнении теста, что делает работу рациональнее и спокойнее.

Тесты и тестирование характеризует также высокая экономичность и автоматизация контроля знаний учащихся.

В данной выпускной квалификационной работе был разработан дидактический тест по теме «Трансформаторы и выключатели» МДК 01.01 Устройство и техническое обслуживание электрических подстанций для проверки и закреплению полученных обучающимися знаний. Бланк ответов и ключ ответов к дидактическому тесту находятся в приложении Е и Ж.

## АННОТАЦИЯ

дидактического теста

для проведения контрольного опроса обучающихся  
по теме «Трансформаторы и выключатели» МДК 01.01 Устройство и  
техническое обслуживание электрических подстанций.

Дидактический тест содержит 17 тестовых заданий.

Время, отводимое для выполнения теста, – 30 минут.

Проверка тестового задания осуществляется с помощью утверждённого  
ключа.

Оценка тестовых заданий производится в соответствии с утверждёнными  
критериями (таблица 8):

Таблица 8 – Соотношение процента правильных ответов с оценкой по  
общепринятой шкале

Процент правильных ответов	Оценка по общепринятой шкале
90-100%	отлично
60-89%	хорошо
30-59%	удовлетворительно
0-29%	неудовлетворительно

## ИНСТРУКЦИЯ

по выполнению дидактического теста

по теме «Трансформаторы и выключатели» МДК 01.01 Устройство и техническое обслуживание электрических подстанций.

Для обучающихся разработан дидактический тест для проведения контрольного опроса. Обучающиеся должны выполнить предложенные вам тестовые задания за 30 минут и внести ответы в бланк ответа.

Предварительно вам необходимо заполнить справочные позиции бланка.

При внесении в бланк ответов на тестовые задания вы должны соблюдать правила заполнения бланка ответов в зависимости от вида тестового задания.

При выполнении заданий с формулировкой **«Выберите номер правильного варианта ответа»** вы должны выбрать один правильный ответ из предложенных и проставить его номер в соответствующую позицию в бланке ответа.

При выполнении заданий с формулировкой **«Установите соответствие»** вы должны найти такие однозначные связи между позициями первого и второго столбиков, чтобы одной позиции первого столбика соответствовала только одна позиция второго, а повтор используемых позиций категорически запрещён. Установленное соответствие внести в бланк ответа.

При выполнении заданий с формулировкой **«Установите правильную последовательность»** необходимо расставить предложенные позиции в нужной последовательности и отразить ее в бланке ответа.

При выполнении заданий с формулировкой **«Дополните»** вы должны определить пропущенную информацию и внести ее в соответствующую позицию бланка ответа.

## ДИДАКТИЧЕСКИЙ ТЕСТ

для проведения контрольного опроса обучающихся  
по теме «Трансформаторы и выключатели» МДК 01.01 Устройство и  
техническое обслуживание электрических подстанций.

1. Дополнить

\_\_\_\_\_ - ЭТО СТАТИЧЕСКОЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ УСТРОЙСТВО, ПРЕДНАЗНАЧЕННОЕ ДЛЯ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ПОСРЕДСТВОМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ ОДНОЙ ИЛИ НЕСКОЛЬКИХ СИСТЕМ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА В ОДНУ ИЛИ НЕСКОЛЬКО ДРУГИХ СИСТЕМ, БЕЗ ИЗМЕНЕНИЯ ЧАСТОТЫ.

2. Дополнить

\_\_\_\_\_ - ВАРИАНТ ТРАНСФОРМАТОРА, В КОТОРОМ ПЕРВИЧНАЯ И ВТОРИЧНАЯ ОБМОТКИ СОЕДИНЕНЫ НАПРЯМУЮ, И ИМЕЮТ ЗА СЧЁТ ЭТОГО НЕ ТОЛЬКО ЭЛЕКТРОМАГНИТНУЮ СВЯЗЬ, НО И ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ, А ОБМОТКА ИМЕЕТ НЕСКОЛЬКО ВЫВОДОВ ПОДКЛЮЧАЯСЬ К КОТОРЫМ, МОЖНО ПОЛУЧАТЬ РАЗНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ.

3. Дополнить

\_\_\_\_\_ - ДЕТАЛЬ ИЛИ КОМПЛЕКТ ДЕТАЛЕЙ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ ПРОХОЖДЕНИЯ С ОПРЕДЕЛЕННЫМИ ПОТЕРЯМИ МАГНИТНОГО ПОТОКА, ВОЗБУЖДАЕМОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ, ПРОТЕКАЮЩИМ В ОБМОТКАХ УСТРОЙСТВ.

4. Дополнить

\_\_\_\_\_ - СОВОКУПНОСТЬ ВИТКОВ, ОБРАЗУЮЩИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ ЦЕПЬ, В КОТОРОЙ СУММИРУЮТСЯ ЭДС, НАВЕДЁННЫЕ В ВИТКАХ.

5. Дополнить

\_\_\_\_\_ - ЯВЛЕНИЕ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА, ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ИЛИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ВО ВРЕМЕНИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ИЛИ ПРИ ДВИЖЕНИИ МАТЕРИАЛЬНОЙ СРЕДЫ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ.

6. Дополнить

\_\_\_\_\_ - ПЕРЕДАЧА ЭНЕРГИИ ИЛИ СИГНАЛА МЕЖДУ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ЦЕПЯМИ БЕЗ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО КОНТАКТА МЕЖДУ НИМИ.

7. Дополнить

\_\_\_\_\_ - КОММУТАЦИОННЫЙ АППАРАТ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫЙ ДЛЯ ОПЕРАТИВНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ И ОТКЛЮЧЕНИЙ ОТДЕЛЬНЫХ ЦЕПЕЙ ИЛИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ В ЭНЕРГОСИСТЕМЕ В НОРМАЛЬНЫХ ИЛИ АВАРИЙНЫХ РЕЖИМАХ ПРИ РУЧНОМ, ДИСТАНЦИОННОМ ИЛИ АВТОМАТИЧЕСКОМ УПРАВЛЕНИИ.

8. Дополнить

\_\_\_\_\_ - СПЕЦИАЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО, ПРИМЕНЯЮЩЕЕСЯ В ПРИСПОСОБЛЕНИЯХ ДУГОГАШЕНИЯ В РАЗЛИЧНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КОММУТАЦИОННЫХ АППАРАТАХ ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ГОРЕНИЯ И БЫСТРОГО ГАШЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ДУГИ.

9. Выберите номер правильного варианта ответа

ТРАНСФОРМАТОРЫ, ИСПОЛЬЗУЮЩИЕСЯ ДЛЯ ПИТАНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЕЙ БЫТОВЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ, НАЗЫВАЮТСЯ

- 1) измерительные трансформаторы;
- 2) силовые трансформаторы;
- 3) трансформаторы тока;
- 4) сварочные трансформаторы.

10. Выберите номер правильного варианта ответа  
ТРАНСФОРМАТОР, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫЙ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ  
ВИДОВ СВАРКИ, НАЗЫВАЕТСЯ

- 1) трансформатор тока;
- 1) силовой трансформатор;
- 2) автотрансформатор;
- 3) сварочный трансформатор.

11. Выберите номер правильного варианта ответа  
ЗАКОН, ЛЕЖАЩИЙ В ОСНОВЕ ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ  
ТРАНСФОРМАТОРА, НАЗЫВАЕТСЯ

- 1) закон Ома;
- 2) закон Кирхгофа;
- 3) закон самоиндукции;
- 4) закон электромагнитной индукции.

12. Выберите номер правильного варианта ответа  
ЭЛЕКТРОУСТАНОВКА, СЛУЖАЩАЯ ДЛЯ ПРИЁМА И  
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ОДНОГО КЛАССА  
НАПРЯЖЕНИЯ, НАЗЫВАЕТСЯ

- 1) выключатель;
- 2) трансформатор;
- 3) разъединитель;
- 4) распределительное устройство;

13. Выберите номер правильного варианта ответа  
**КОММУТАЦИОННЫЙ АППАРАТ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫЙ ДЛЯ ОПЕРАТИВНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ И ОТКЛЮЧЕНИЙ ОТДЕЛЬНЫХ ЦЕПЕЙ ИЛИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ В ЭНЕРГОСИСТЕМЕ В НОРМАЛЬНЫХ ИЛИ АВАРИЙНЫХ РЕЖИМАХ, НАЗЫВАЕТСЯ**

- 1) разъединитель;
- 1) предохранитель;
- 2) трансформатор;
- 3) выключатель.

14. Установите соответствие

ВИД ТРАНСФОРМАТОРА	ХАРАКТЕРИСТИКА ТРАНСФОРМАТОРА
1. Автотрансформатор	А. Трансформатор, первичная обмотка которого электрически не связана со вторичными обмотками. Такие трансформаторы предназначены для повышения безопасности электросетей.
2. Силовой трансформатор	В. Трансформатор, первичная обмотка которого питается от источника тока. Типичное применение — для снижения тока первичной обмотки до удобной величины, используемой в цепях измерения, защиты, управления и сигнализации
3. Трансформатор тока	С. Вариант трансформатора, в котором первичная и вторичная обмотки соединены напрямую, и имеют за счёт этого не только электромагнитную связь, но и электрическую.
4. Разделительный трансформатор	Д. Трансформатор, предназначенный для преобразования электрической энергии в электрических сетях и в установках, предназначенных для приёма и использования электрической энергии.



## 15. Установите соответствие

ВИД ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ	ХАРАКТЕРИСТИКА ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ
1. Воздушный выключатель	А. Коммутационный аппарат, предназначенный для оперативных включений и отключений отдельных цепей или электрооборудования в энергосистеме, в нормальных или аварийных режимах, при ручном или автоматическом управлении. Дугогашение в таком выключателе происходит в масле.
2. Масляный выключатель	В. Это разновидность высоковольтного выключателя, коммутационный аппарат, использующий шестифтористую серу в качестве среды гашения электрической дуги.
3. Элегазовый выключатель	С. Высоковольтный выключатель, в котором вакуум служит средой для гашения электрической дуги.
4. Вакуумный выключатель	Д. Высоковольтный выключатель, у которого гашение электрической дуги и перемещение контактов производится потоком сжатого воздуха.

## 16. Установите правильную последовательность

### АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ:

- 1) определение периодической составляющей тока;
- 2) расчет остаточных напряжений при трехфазном КЗ;
- 3) расчет параметров и преобразования схемы замещения;
- 4) определение ударного тока КЗ.

## 17. Установите правильную последовательность

### АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ЗАЗЕМЛЕНИЯ:

- 1) расчет количества заземлителей;
- 2) анализ грунта;
- 3) выбор заземляющего устройства;
- 4) выбор материала заземлителей.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной выпускной квалификационной работе были рассмотрены вопросы реконструкции комплектного распределительного устройства типа К-59 подстанции напряжением 110/10 кВ «Андроново», которая снабжает электроэнергией жителей близлежащих деревень, а так же социально значимые объекты.

Актуальность реконструкции комплектного распределительного устройства на ПС напряжением 110/10 кВ «Андроново» заключается в замене маломасляных выключателей на более современные, в связи с моральным и физическим износом оборудования. Для проведения реконструкции мною были проанализированы материалы, необходимые для реконструкции.

На подстанции производим выбор нового электрооборудования для надежной работы системы. Все электрические устанавливаемые аппараты проверены по условиям электродинамической стойкости. При этом электрические аппараты в системе электроснабжения надежно работают как в нормальном длительном режиме, так и в условиях аварийного кратковременного режима, простоты и компактны в конструкции, удобны и безопасны в эксплуатации. Комплектное распределительное устройство 10 кВ укомплектовываем вакуумными выключателями ВВ/TEL-10/630, производства «Таврида электрик».

В экологической части выявили материальные и химические загрязнения. Произвели ряд мероприятий по их утилизации и восстановлению.

Благодаря реконструкции КРУ ПС напряжением 110/10 кВ «Андроново» была повышена эффективность, автономность и экология подстанции. Таким образом, цели были достигнуты, а задачи выполнены.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

1. Акимова Н. А. Монтаж, техническая эксплуатация и ремонт электрического и электромеханического оборудования / Н. А. Акимова, Н. Ф. Котеленец, Н. И. Сентюрихин; ред. Н. Ф. Котеленец. - 6-е изд., стер. - Москва: Академия, 2009. - 304 с. - (Среднее профессиональное образование).
2. Богатырев Л. Л. Релейная защита электроэнергетических систем: учебное пособие / Л. Л. Богатырев. – Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ–УПИ, 2006.
3. Вавин В. Н. Релейная защита трансформатора / В. Н. Вавин. - Москва: Энергоатомиздат, 2008. – 462 с.
4. Высоковольтный выключатель [Электронный ресурс] / Википедия – открытая энциклопедия. – Режим доступа : [https://ru.wikipedia.org/wiki/Высоковольтный\\_выключатель](https://ru.wikipedia.org/wiki/Высоковольтный_выключатель). (дата обращения 28.05.18)
5. ГОСТ 15150-69 - Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов;
6. ГОСТ 15543.1-89 - Изделия электротехнические. Общие требования в части стойкости к климатическим внешним воздействующим факторам
7. ГОСТ 17412-72 - Изделия электротехнические для районов с холодным климатом. Технические требования, приемка и методы испытаний;
8. ГОСТ 14693-90 - Устройства комплектные распределительные негерметизированные в металлической оболочке на напряжение до 10 кВ. Общие технические условия;
9. ГОСТ Р 52565-2006 - Выключатели переменного тока на напряжения от 3 до 750 кВ. Общие технические условия;
10. ГОСТ 15150-69 Исполнения для различных климатических районов;
11. ГОСТ 17516.1 - 90 Требования к механическим воздействиям;
12. ГОСТ 9541-75 Пластины стеклянные для защиты от излучения. Технические условия.

13. Дуюнов А. В. Синхронные генераторы для автономных установок / А. В. Дуюнов, С. И. Пижанков, С. Н. Левачков // Электрик. – 2004. – № 12. – С. 2-4.

14. Комплектное распределительное устройство [Электронный ресурс] / Википедия – открытая энциклопедия. – Режим доступа : [https://ru.wikipedia.org/wiki/Распределительное\\_устройство#Устройство\\_КРУ](https://ru.wikipedia.org/wiki/Распределительное_устройство#Устройство_КРУ). (дата обращения 26.05.18)

15. Лapidус А. Электростанция - это просто / А. Лapidус // Наука и жизнь. - 2010. - № 12. - С. 96-102.

16. Мандрыкин С. А. Эксплуатация и ремонт электрооборудования электрических станций и сетей / С. А. Мандрыкин, А. А. Филатов. - 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Энергоатомиздат, 2008. - 344 с.

17. Масляные выключатели ВМТ-110Б, ВКЭ-10. Инструкция по эксплуатации [Электронный ресурс] / Highvoltageagent эксплуатация высоковольтного оборудования – Режим доступа: <http://highvoltageagent.pro/maslyanyie-vyiklyuchateli-vmt-110b-vke-10-instruktsiya-projectsii/> (дата обращения 04.06.18)

18. Макаров Е. Ф. Обслуживание и ремонт электрооборудования электростанций и сетей / Е. Ф. Макаров. - Москва: ИРПО : Академия, 2007.- 448 с.

19. Мусаэлян Э. С. Наладка и испытание электрооборудования электростанций и подстанций / Э. С. Мусаэлян. - 3-е изд., перераб. и доп. - Москва: Энергоатомиздат, 2006. - 504 с.

20. Неклепаев Б. Н. Электрическая часть электростанций и подстанций : справочные материалы для курсового и дипломного проектирования / Б. Н. Неклепаев, И. П. Крючков. – Москва: Энергоатомиздат, 2006. – 456 с.

21. Осипов В. И. Охрана труда при эксплуатации и ремонте теплоэнергетических установок / В. И. Осипов, А. А. Воронина. - Москва: Высшая школа, 1989. - 151 с.

22. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок. - Москва: Энергоиздат, 2005.

23. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей. - Москва: Энергоатомиздат, 2006.

24. Правила устройства электроустановок / Министерство топлива и энергетики Российской Федерации. - 6-е изд., перераб. и доп. с изм. - Москва: Главгосэнергонадзор России, 2006. - 608 с.

25. Распределительное устройство [Электронный ресурс] / Википедия – открытая энциклопедия. – Режим доступа : [https://ru.wikipedia.org/wiki/Распределительное\\_устройство](https://ru.wikipedia.org/wiki/Распределительное_устройство). (дата обращения 26.05.18)

26. Ситников В. Ф. Основные направления развития электроэнергетики России в период до 2020 г. / В. Ф. Ситников, В. И. Чемоданов [и др.] // Электрические станции. - 2007. - № 5. - С. 8-12.

27. Электротехнический справочник. Т. 1, кн. 1 / под ред. П. Г. Грудинского [и др.]. - Из. 4-е, перераб. - Москва: Энергия, 2006. - 880 с.

28. Электротехнический справочник. Т. 2, кн. 1 / под ред. П. Г. Грудинского [и др.]. - Из. 4-е, перераб. - Москва: Энергия, 2007. - 488 с.

29. Электрическая подстанция. [Электронный ресурс] / Википедия – открытая энциклопедия. – Режим доступа : [https://ru.wikipedia.org/wiki/Электрическая\\_подстанция](https://ru.wikipedia.org/wiki/Электрическая_подстанция). (дата обращения 28.05.18)

30. ВВ/TEL вакуумный выключатель руководство по эксплуатации [Электронный ресурс] / Таврида электрик Международный электротехнический холдинг – Режим доступа: [http://www.tavrida.com/upload/iblock/409/ter\\_vcb15\\_ld1\\_2\\_-shell2\\_ft2\\_user\\_manual.pdf](http://www.tavrida.com/upload/iblock/409/ter_vcb15_ld1_2_-shell2_ft2_user_manual.pdf) (дата обращения 04.06.18)



## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

<b>Классификация исполнений и характеристики шкафов КРУ</b>	
Наименование показателей	Исполнение, значение показателей
Уровень изоляции по ГОСТ 1516.3	Нормальная изоляция, уровень «б»
Вид изоляции	Воздушная
Испытательное напряжение промышленной частоты в условиях выпадения росы на поверхности изоляции шкафов КРУ категории размещения 1,кВ	28
Сопротивление изоляции полностью собранных главных цепей КРУ, МОм, не менее	1000
Внешняя изоляция КРУ категории размещения 1 с воздушным выводом.	КРУ с нормальной внешней изоляцией - категория А по ГОСТ 9920; КРУ с усиленной внешней изоляцией – категория Б по ГОСТ 9920
Наличие изоляции токоведущих частей	С неизолированными шинами
Наличие выкатных элементов в шкафах	С выкатными элементами, без выкатных элементов
Вид линейных высоковольтных подсоединений	Кабельные, воздушные (КРУ категории размещения 1) Шинные (КРУ категории размещения 3)
Условия обслуживания	С двусторонним обслуживанием
Степень защиты по ГОСТ 14254	КРУ исполнения ХЛ1 – пылезащищенное исполнение IP54; при открытых дверях релейных шкафов и нахождении выдвижного элемента в контрольном положении -IP00

## Продолжение приложения Б

Вид основных шкафов	С выключателями высокого напряжения; с разъемными контактными соединениями; с трансформаторами напряжения; с силовыми трансформаторами; комбинированные ( с трансформаторами напряжения и разрядниками); со статическими конденсаторами для защиты вращающихся машин; с силовыми трансформаторами; с вакуумными контакторами.
Наличие дверей в отсеке выдвижного элемента шкафа	Шкафы КРУ без дверей
Наличие теплоизоляции в шкафах КРУ категории размещения 1	Исполнение ХЛ1: с теплоизоляцией.
Наличие закрытого коридора управления для КРУ категории размещения 1.	КРУ с коридором управления
Вид управления	Местное, дистанционное
Количество кабелей в кабельном отсеке максимальным сечением 3х185 мм <sup>2</sup> , не более	4



## ПРИЛОЖЕНИЕ В

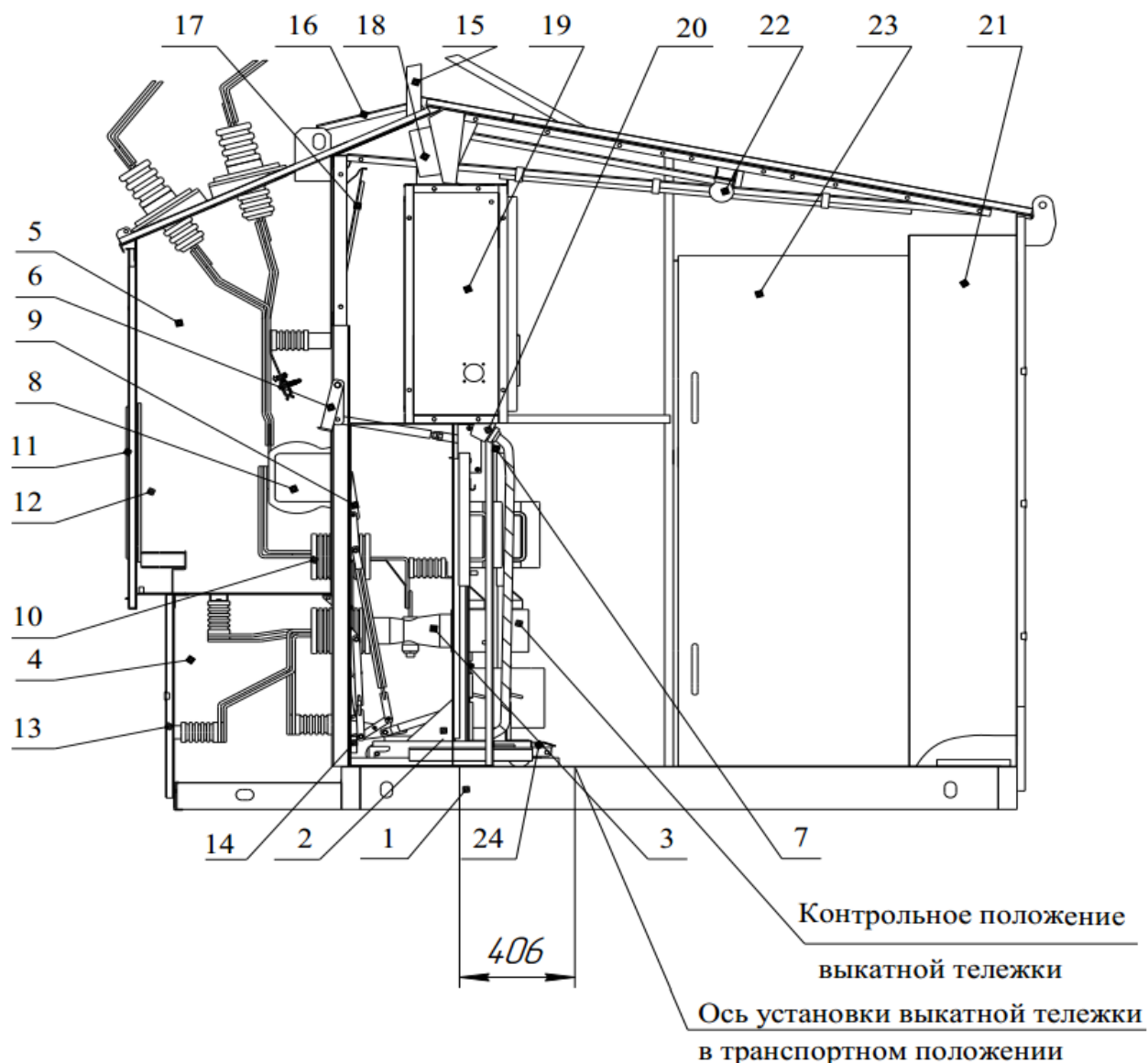


Рисунок 1 – Комплектное распределительное устройство 10 кВ типа К-59:  
 1 – основание; 2 – тележка выкатная; 3 – выключатель высоковольтный; 4 – отсек сборных шин; 5 – отсек ввода; 6 – заземляющий разъединитель; 7 – привод заземляющего разъединителя; 8 – трансформатора тока; 9 – шторы защитные; 10 – изоляторы проходные с неподвижными разъединяющими контактами; 11 – дверь люка отсека ввода; 12 – перегородка предохранительная; 13 – стенка съемная; 14 – электронагреватель; 15 – кронштейн вводы; 16 – клапан разгрузочный; 17 – клапан дифференциальный; 18 – перегородка вентиляционная; 19 – шкаф релейный; 20 – разъем штепсельный; 21 – блок релейных шкафов; 22 – узел освещения; 23 – дверь; 24 – педаль фиксатора положения выкатной тележки.

## ПРИЛОЖЕНИЕ Г

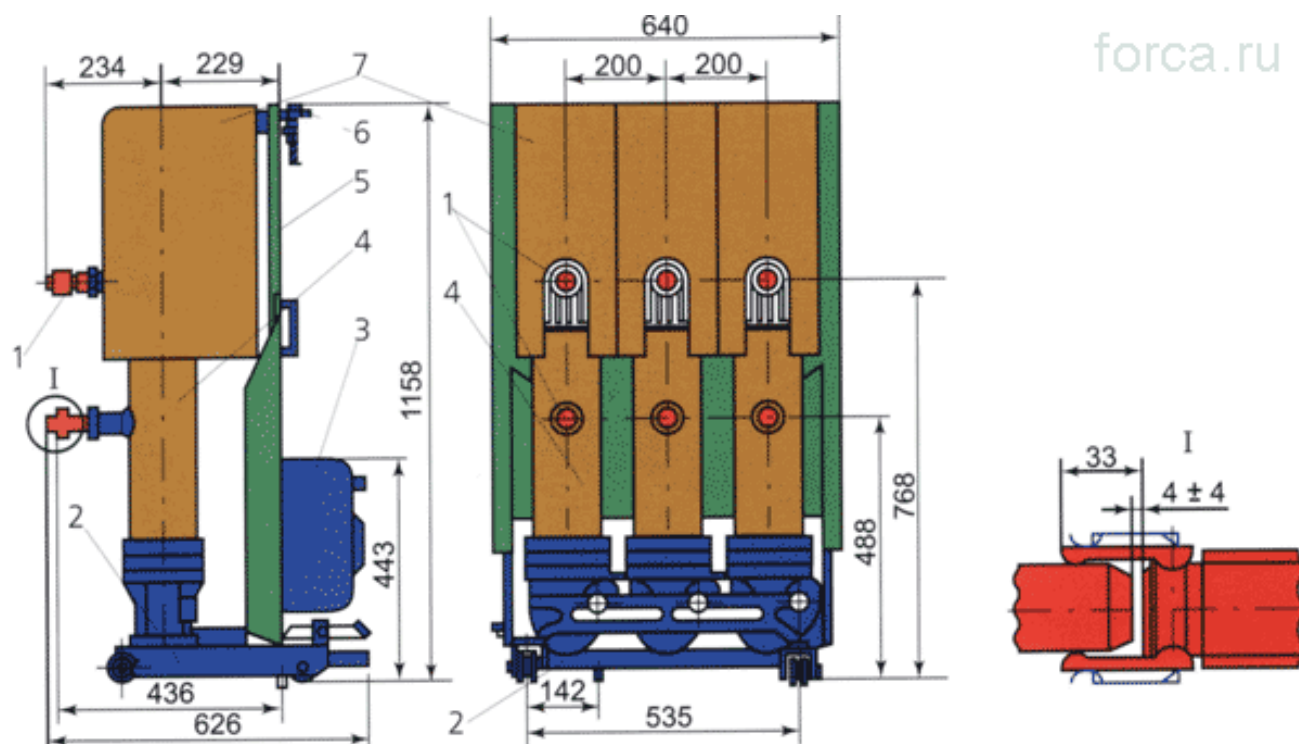


Рисунок 2 – Общий вид выключателя типа ВК-10:

1 - разъемный контакт выдвижного элемента; 2 - рама тележки; 3 - привод; 4 - полюс выключателя; 5 - фасадная перегородка; 6 - штепсельный разъем; 7 - изоляционный кожух.

## ПРИЛОЖЕНИЕ Д

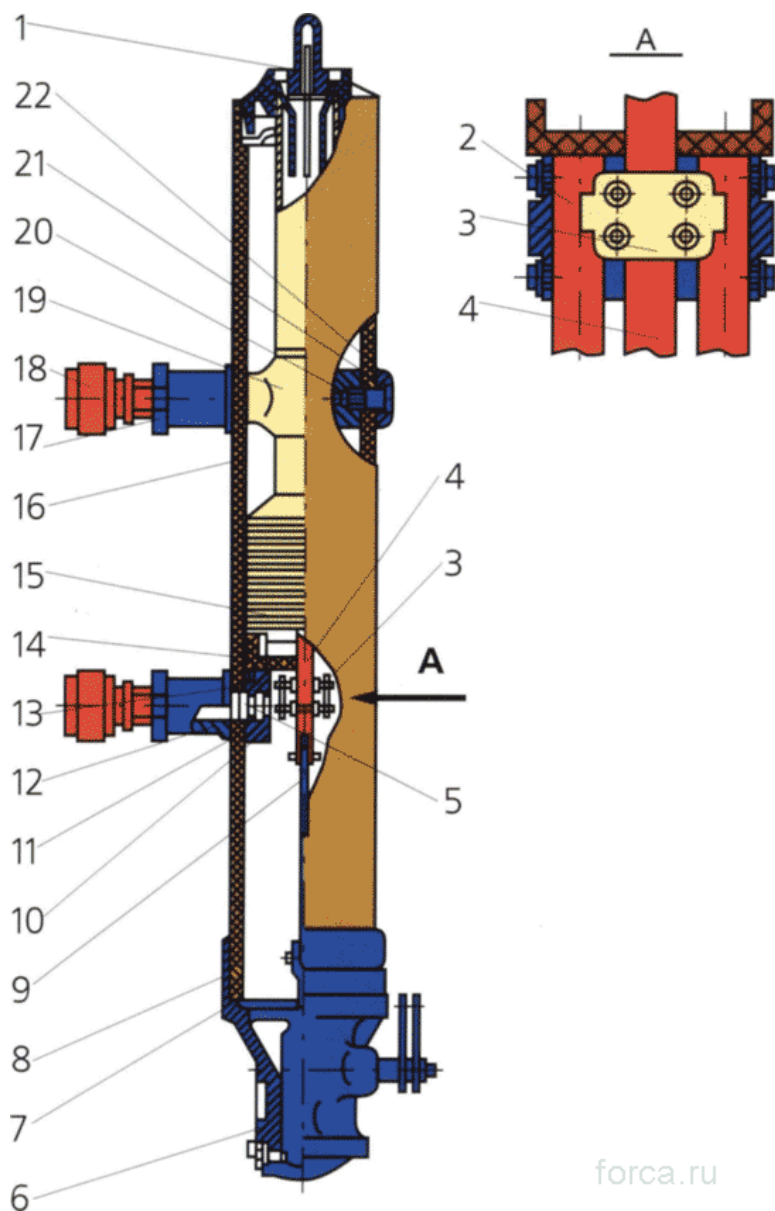


Рисунок 3 – Полнос выключателя типа ВК-10:

1 - маслоуказатель; 2 - направляющий стержень; 3 - токоотвод; 4 - подвижный стержень; 5 - стержень токоведущий; 6 - корпус приводного механизма; 7 - прокладка; 8 - фланец; 9 - тяга изоляционная; 10 - обойма; 11 и 13 - прокладки; 12 - втулка; 14 - распорный цилиндр; 15 - дугогасительная камера; 16 - изоляционный цилиндр; 17 - гайка; 18 - контакт выдвижного элемента; 19 - контакт розеточный; 20 - винт; 21 - прокладка; 22 - шайба.

## ПРИЛОЖЕНИЕ Е

### БЛАНК ОТВЕТА

для проведения контрольного опроса обучающихся  
по теме «Трансформаторы и выключатели» МДК 01.01 Устройство и  
техническое обслуживание электрических подстанций.

ФИО студента \_\_\_\_\_

Группа \_\_\_\_\_

Дата \_\_\_\_\_

#### Ответы

1. \_\_\_\_\_
2. \_\_\_\_\_
3. \_\_\_\_\_
4. \_\_\_\_\_
5. \_\_\_\_\_
6. \_\_\_\_\_
7. \_\_\_\_\_
8. \_\_\_\_\_
9. \_\_\_\_\_
10. \_\_\_\_\_
11. \_\_\_\_\_
12. \_\_\_\_\_
13. \_\_\_\_\_
14. 1.\_\_\_\_ 2.\_\_\_\_ 3.\_\_\_\_ 4.\_\_\_\_
15. 1.\_\_\_\_ 2.\_\_\_\_ 3.\_\_\_\_ 4.\_\_\_\_
16. \_\_\_\_\_
17. \_\_\_\_\_

Подпись студента \_\_\_\_\_

Оценка \_\_\_\_\_

Проверил \_\_\_\_\_  
(должность) (подпись) (ФИО)

## ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

### КЛЮЧ ОТВЕТА

для проведения контрольного опроса обучающихся  
по теме «Трансформаторы и выключатели» МДК 01.01 Устройство и  
техническое обслуживание электрических подстанций.

ФИО студента \_\_\_\_\_

Группа \_\_\_\_\_

Дата \_\_\_\_\_

#### Ответы

1. Трансформатор
2. Автотрансформатор
3. Магнитопровод
4. Обмотка
5. Электромагнитная индукция
6. Гальваническая развязка
7. Высоковольтный выключатель
8. Дугогасительная камера
9. 2
10. 4
11. 4
12. 4
13. 4
14. 1.В 2.Д 3.С 4.А
15. 1.Д 2.А 3.В 4.С
16. 3, 1, 4, 2.
17. 2, 4, 3, 1.

Подпись студента \_\_\_\_\_

Оценка \_\_\_\_\_

Проверил \_\_\_\_\_  
(должность) (подпись) (ФИО)