

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Лысьвенский филиал федерального государственного автономного образовательного  
учреждения высшего образования  
«Пермский национальный исследовательский политехнический университет»

ПЦК «ЭД»

## ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ (РАБОТА)

на тему  
«Реконструкция высоковольтных ячеек типа КСО в РП-2 ООО «ММК-ЛМЗ» г. Лысьва»

обучающегося группы ЭС9-22-1СПО по специальности  
13.02.07 «Электроснабжение (по отраслям)»

**Козлов Павел Павлович**

Фамилия имя отчество студента

Руководитель работы: \_\_\_\_\_ \ Листопадова М.В. \

Консультант по  
организационно -экономической части: \_\_\_\_\_ \ Стругова Л.А. \

Консультант по  
охране труда \_\_\_\_\_ \Торощин А.К. \

Рецензент: \_\_\_\_\_ \ \_\_\_\_\_ \

Допуск к защите: \_\_\_\_\_ \Торощин А.К. \

Лысьва, 2026 г.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Лысьвенский филиал федерального государственного автономного образовательного  
учреждения высшего образования  
«Пермский национальный исследовательский политехнический университет»

ПЦК «ЭД»

### **ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ (РАБОТА)**

на тему «Реконструкция высоковольтных ячеек типа КСО ООО «ММК-ЛМЗ»  
обучающегося группы ЭС9-22-1 СПО по специальности  
13.02.07 «Электроснабжение (по отраслям)»  
Козлов Павел Павлович

Руководитель работы: Листопадова М.В. \ \_\_\_\_\_ \

Консультант по

организационно -экономической части: Стругова Л.А. \ \_\_\_\_\_ \

Консультант по

охране труда Торощин А.К. \ \_\_\_\_\_ \

Рецензент: \_\_\_\_\_ \ \_\_\_\_\_ \

Допуск к защите: \_\_\_\_\_ \ \_\_\_\_\_ \

Лысьва. 2026 г.

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                                         |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВВЕДЕНИЕ .....                                                                                          | 3  |
| 1 ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ .....                                                                         | 6  |
| 1.1 Обоснование выбора темы .....                                                                       | 6  |
| 1.2 Характеристика предприятия.....                                                                     | 7  |
| 1.3 Характеристика РП на ММК-ЛМЗ.....                                                                   | 9  |
| 1.4 Выбор высоковольтных выключателей .....                                                             | 13 |
| 1.5 Выбор комплекта адаптации.....                                                                      | 17 |
| 1.6 Масляный выключатель .....                                                                          | 18 |
| 2 КОНСТРУКТОРСКАЯ ЧАСТЬ .....                                                                           | 22 |
| 2.1 Расчетная часть РП-2 на старом оборудовании .....                                                   | 22 |
| 2.2 Расчет вакуумных выключателей на РП-2. ....                                                         | 24 |
| 2.3 Расчет кабеля на РП-2.....                                                                          | 27 |
| 2.4 Расчет токов КЗ .....                                                                               | 29 |
| 2.5 Расчет релейной защиты на фидерах РП-2.....                                                         | 35 |
| 3 ОХРАНА ТРУДА И ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ.....                                                             | 39 |
| 3.1 Идентификация основных опасных факторов при работе с<br>высоковольтными ячейками .....              | 39 |
| 3.2 Разработка мероприятий по защите персонала от случайного<br>прикосновения к токоведущим частям..... | 41 |
| 3.3 Выявление источников загрязнения.....                                                               | 45 |
| 3.4 Оценка классов опасности отходов, образующихся при обслуживании ..                                  | 48 |
| 4 ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....                                                               | 50 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....                                                                                        | 57 |
| СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....                                                                  | 58 |

## **ВВЕДЕНИЕ**

Электроэнергия – это то чем человек пользуется каждый день, и не задумывается как оно попадает к нему. Оно широко используется как в повседневной жизни, так и в инженерных расчетах. Обозначающее объем электрической энергии, поступающей от источника к потребителю через распределительную сеть.

На данный момент на территории Российской Федерации используется огромное количество распределительных устройств. Для поддержания работоспособности всех аспектов общественной жизни критически важна бесперебойная подача электроэнергии. Для стабильного и непрерывного электроснабжения потребителей используют распределительные пункты (РП) играют роль центрального звена.

Распределительные пункты (РП) обеспечивают доставку электроэнергии, и их надежность напрямую влияет на стабильность и качество энергоснабжения. Особое значение имеют ячейки распределительных устройств на 6-10 кВ, где десятилетиями использовались масляные выключатели.

Фундаментом таких распределительных устройств являются высоковольтные ячейки оснащенными устаревшим коммутационными оборудованием: масляными выключателями, электромагнитными приводами и электромеханической релейной защитой.

Масляные выключатели широко используются однако их применение, обладают рядом критических недостатков. Значительный объём горючего масла создаёт повышенный риск возгораний и негативно влияет на окружающую среду. Так же, они требуют тщательного и постоянного контроля и регулярного замена масла, что приводит к высоким затратам на эксплуатацию и увеличивает время восстановления после аварий что явно угрожает безопасности персонала.

Их коммутационная износостойкость и быстродействие также оставляют желать лучшего. Из-за старения существующего оборудования и

ужесточения стандартов надёжности, безопасности и экономической эффективности энергоснабжения, назрела острая потребность в их обновлении. Сегодня эти недостатки представляют серьезную угрозу для бесперебойного и безопасного электроснабжения.

Поскольку устаревшие масляные выключатели постепенно вытесняются новыми, вакуумными или элегазовыми выключателями становятся предпочтительным выбором благодаря их характеристикам которые превосходят масляные выключатели : они обладают высокой устойчивостью к износу при коммутации и механическим нагрузкам, не представляют пожарной опасности и не загрязняют окружающую среду (так как не содержат масла), требуют минимальных затрат на обслуживание, быстро справляются с дугой и занимают мало места.

Замена устаревших масляных выключателей на современные вакуумные или же на элегазовые выключатели в распределительных пунктах (ячейках КСО) является обоснованным и необходимым шагом для замены старого коммутационного оборудования. Эта модернизация значительно улучшает надежность, безопасность и общую эффективность электроснабжения. Благодаря оснащению вакуумных выключателей с новой релейной защитой и автоматики (РЗА), повышается стабильность подачи электроэнергии и открываются возможности для внедрения цифрового управления и диагностики.

Необходимо рассмотреть данную ситуацию о замене старого оборудования в виде масляных выключателей на новые вакуумные выключатели. При этом будут рассмотрены, какие проблемы могут возникнуть с технической установкой и обоснованностью замены оборудования, а также и экономически целесообразным направлением модернизации распределительных пунктов.

Объект исследования –РП-2 ООО «ММК-ЛМЗ» г.Лысьва.

Предметом исследования является ячейки КСО-6/0.4кВ масляными выключателями серии ВМП–10–630–20К.

Цель работы: реконструировать ячейки КСО 6/0.4 кВ.

Задачи:

- проанализировать решение о реконструкции ячеек КСО в РУ 6 кВ подстанции и причины замены оборудования;
- выполнить расчеты, в соответствии с которыми выбрать выключатели и их комплект адаптации;
- изучить инструкцию по монтажу выключателей;
- выполнить расчет экономической эффективности реконструкции;
- проанализировать вопросы экологии на предприятии.

# **1 ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ**

## **1.1 Обоснование выбора темы**

Распределительные пункты (РП) напряжением 6-10 кВ, составляющие основу систем распределения электроэнергии в городских и промышленных сетях, в большинстве своем были введены в эксплуатацию 25-40 лет назад.

На сегодняшний день в энергетике используется много устаревшего морально и физически оборудования, выработавшего свой ресурс. Поэтому из-за недостаточности средств замены всего оборудования на новое принято решение не полностью реконструировать подстанции, а частично, то есть установить новое оборудования на старое место, что более бюджетно.

Реконструкционные работы будут проводиться на ячейках комплектных распределительных устройств (КСО), расположенных в распределительном устройстве (РУ) 6 кВ. Необходимость реконструкции возникла ввиду необходимости замены устаревших изношенных (в эксплуатации с 1980 г. при нормативном сроке службы – 25 лет) малообъемных масляных выключателей подвесного типа серии ВМП–10–630–20К.

В рамках модернизации электрооборудования производится замена масляных выключателей типа ВМПЭ–10, оснащенных приводами ПЭ–11, на современные аналоги в ячейках комплектных распределительных устройств (КРУ) серии КСО, эксплуатируемых в распределительных устройствах среднего напряжения (РУ-6 кВ). В конце XX века вакуумный выключатель ВВ/TEL стал прорывным решением в сегменте коммутационной аппаратуры 6-10 кВ.

Внедрение вакуумного выключателя способствовало разработке современных комплектных распределительных устройств (КРУ и КСО) с повышенной надежностью, которые характеризуются полным отсутствием необходимости в обслуживании коммутационного аппарата в течение всего срока эксплуатации.

Конструктивная простота и универсальность вакуумных выключателей обеспечивают его легкую интеграцию в существующие КРУ и КСО, а также возможность создания новых устройств с уникальными потребительскими свойствами.

Широкое применение вакуумных выключателей на всех континентах, включая эксплуатацию в условиях экстремальных температур и влажности, подтверждает его соответствие самым строгим эксплуатационным требованиям.

Вакуумные выключатели являются эффективным решением как для модернизации действующих распределительных устройств, так и для новых объектов, поскольку его применение позволяет полностью исключить затраты на обслуживание, исключая необходимость проведения средних и капитальных ремонтов.

## **1.2 Характеристика предприятия**

Лысьвенский металлургический завод (ЛМЗ) — металлургический завод, основанный в 1785 году. Завод расположен в городе Лысьва Пермского края. ММК-ЛМЗ» производит оцинкованный прокат, оцинкованную жечь, автолист, оцинкованный прокат с покрытиями из полиэфирной эмали и полиуретана, со специальными покрытиями — антиграффити, антибактериальным, для производства водосточных систем, с декоративными рисунками. Для производства металлопродукции применяются холоднокатаный прокат и материалы самого высокого уровня качества от ведущих производителей.

Основные даты развития ООО «ММК-ЛМЗ»:

В 1785 году началось возведение чугунолитейного завода, разрешение на строительство которого было получено княгиней Шаховской в Пермской казённой палате. Этот год официально считается годом образования Лысьвы.

В 1851 году завод запустил листопрокатное производство.

В 1864 году собственником завода стал граф Пётр Павлович Шувалов, давший предприятию фамильный герб семьи – единорога. Изображение этого мифического животного стало фирменным клеймом завода и служило гарантом высокого качества лысьвенского листового железа как в России, так и за её пределами.

В 1898 Владельцем Лысьвенского горного округа стало акционерное общество закрытого типа, в котором из 1546 долей 504 принадлежали Павлу Петровичу Шувалову. Граф Павел Шувалов взялся за возрождение завода и улучшение материального положения рабочих, осуществил коренную реконструкцию Лысьвенского завода. Для реконструкции предприятия были приглашены высококвалифицированные специалисты, внедрялись новые технологии. Была построена железнодорожная ветка от ст. Лысьва (Калино) до Лысьвенского завода.

В 1902 году благодаря постройке железнодорожной ветки, соединившей Лысьву со станцией Калино Горнозаводской железной дороги, завод, производивший к тому времени железо из привозного чугуна, получил широкий выход на рынки страны.

В 1913 году завод начал выпуск эмалированной посуды.

В годы Великой Отечественной войны завод был единственным предприятием в стране, производящим стальные шлемы СШ-40 (солдатские каски). Всего за годы войны было изготовлено более 10 млн таких шлемов.

В 1998 Прокат с полимерными покрытиями использовался в строительстве для производства профнастила. Автолист поставлялся на Волжский автомобильный завод. Именно для «АвтоВАЗа» в 1998 году начали производить прокат с защитными покрытиями для семейства автомобилей ВАЗ-2110 шириной до 1100 мм.

В 2001–2003 гг. под потребности «АвтоВАЗа» проведена реконструкция агрегатов электролитического оцинкования, начато производство электрооцинкованного автомобильного листа шириной до 1600 мм.

В 2013 году на заводе начата реализация проекта строительства листопрокатного комплекса.

В декабре 2017 года Лысьвенский металлургический завод вошёл в состав Группы ПАО «ММК».

В декабре 2017 года завод вошёл в состав Группы ПАО «ММК».

В 2025 году освоено производство проката с полимерным покрытием с цифровой печатью под брендом SteelArt Design.

Деятельность:

Производство электролитически оцинкованного проката и проката с полимерными покрытиями на его основе. Электролитический способ оцинкования позволяет точно регулировать толщину осаждённого слоя цинка в большом диапазоне, создавать одностороннее или двустороннее покрытие.

Производство металлопроката с декоративным покрытием — в ассортименте более 50 рисунков, например с имитацией дерева или камня.

Применение продукции в автомобильной промышленности, строительной индустрии, при производстве бытовой техники и на предприятиях общего машиностроения.

Продукция:

Оцинкованный прокат для бытовой техники и автомобильной промышленности.

Прокат с полимерным покрытием (матовый, текстурированный, гладкий, сморщенный, антиграффити, полиуретановый и антибактериальный).

Прокат с декоративным рисунком — многоцветным и объёмным изображением, нанесённым методом офсетной печати. В ассортименте — более 50 рисунков, например с имитацией дерева или камня.

### **1.3 Характеристика РП на ММК-ЛМЗ**

На данном заводе имеются четыре РП:

—РП-1,РП-2,РП-3 и РП КОС.

и два ВВОДА:

—п/с «Эмаль» ФСК ЕЭС, МЭС Урала;

—ГПП-1 ТЩ «ВАКС» ООО «ЛТЭ».

Каждое РП отвечает за свой участок в цехе РП-1 отвечает за агрегат №3 листового проката, РП-2 за агрегат №4 листового проката, РП-3 отвечает за агрегат №5 «авто-Лист» РП-2 отвечает за распределение электроснабжение 3 линии листового проката железа.

Всего на заводе работают два цеха участок «Листового проката №1» где расположен агрегат №32 и агрегат №5 «авто-Лист» и участок «Листового проката №2» где расположен агрегат №4 и №3.

На РП-2 находится 38 ячейка типа КСО и имеет 2 секции.

В первой секции шин находится 18 ячеек, по 18 масляных выключателей по два ввода, секционный выключатель и 13 трансформаторов напряжения (2 по 40 кВа , 9 по 1600 кВа и один на 1000 кВа), один разрядник, измерительный трансформатор НТМИ-1 и фильтрокомпенсирующее устройство (ФКУ-1).

Во второй секции шин находится 23 ячеек, по 23 масляных выключателей это два ввода, секционный выключатель, 13 трансформаторов напряжения( 2 по 40 кВа , 8 по 1600 кВа и 3 по 1000 кВа), один разрядник, измерительный трансформатор НТМИ-2, два резерва, трансформатор наружного освещения и фильтрокомпенсирующее устройство (ФКУ-1).

Во всех ячейках стоит масляный выключатель ВМП-10-630-20К.

На РП-2 стоят ячейки ксо двухсотой серии КСО-272

КСО-272 — камера сборная одностороннего обслуживания. Предназначена для работы в электрических установках трёхфазного переменного тока частотой 50 и 60 Гц напряжением 6 и 10 кВ.



Рисунок 1.1.3 – Внешний вид ячейки типа КСО серии 272

Таблица 1.3.1 – Технические характеристики ячейки КСО серии 272

| Параметры ячейки                  | значения                     |
|-----------------------------------|------------------------------|
| Номинальное напряжение            | 6; 10 кВ                     |
| Наибольшее рабочее напряжение     | 12 кВ                        |
| Номинальный ток главных цепей     | 400; 630; 1000; 1600; 2000 А |
| Номинальный ток сборных шин       | 630; 1000 А                  |
| Номинальный ток отключения        | 12,5; 20 кА                  |
| Ток термической стойкости         | 20 кА;                       |
| Ток электродинамической стойкости | 52 кА;                       |
| Номинальный ток главных цепей     | 400; 600 А                   |
| Номинальный ток отключения        | 630 А                        |

Номинальный ток трансформаторов тока 50; 75; 100; 150; 200; 300;  
400; 630; 800; 1000 А

Номинальное напряжение вспомогательных цепей:

— цепи защиты, управления и сигнализации;  
110; 220 В

— цепи трансформаторов напряжения;

— цепи трансформаторов собственных нужд;  
100 В

— освещение внутри камеры КСО;

— освещение снаружи камеры КСО.  
220; 380 В

24 В

220 В

Габаритные размеры ширина — 800 (1000) мм,

глубина — 1100 мм,

высота — 2100 (2340) мм

Условия эксплуатации

— Температура воздуха: от  $-45^{\circ}\text{C}$  до  $+40^{\circ}\text{C}$ ;

— Влажность: 75% при температуре  $+15^{\circ}\text{C}$ ;

— Тип атмосферы по ГОСТ 15150: II (промышленная);

— Окружающая среда: невзрывоопасная, без токопроводящей пыли, агрессивных газов и паров в концентрациях, разрушающих металлы и изоляцию.

— Конструктивные особенности:

— Каркас выполнен из оцинкованной стали с заклёпочными соединениями.

— Органы управления, связь и блокировки размещены на панелях.

— Реализованы механические и электрические замки, исключающие ошибочные операции (например, запрет переключения разъединителей под нагрузкой, взаимная блокировка «заземляющий нож — разъединитель»).

— Доступ в камеру обеспечивают две двери: верхняя — в зону высоковольтного выключателя, трансформатора напряжения или предохранителя, нижняя — в зону кабельных присоединений, силового трансформатора или разъединителей.

— Между дверью с аппаратурой вспомогательных цепей и высоковольтным выключателем размещена фальшпанель, предотвращающая доступ в зону высокого напряжения.

— В камерах есть устройство для установки лампы внутреннего освещения (лампа накаливания 36 В), обеспечивающее возможность безопасной замены перегоревшей лампы без снятия напряжения.

— Все металлические элементы, которые могут находиться под напряжением, заземлены.

#### **1.4 Выбор высоковольтных выключателей**

Высоковольтные выключатели — это коммутационные аппараты, предназначенные для включения, отключения электрических цепей в нормальных режимах и для автоматического отключения поврежденных элементов системы электроснабжения при КЗ и других аварийных режимах. Высоковольтные выключатели имеют дугогасительные устройства и поэтому способны отключать не только токи нагрузки, но и токи КЗ. Высоковольтные выключатели выбирают в зависимости от места установки, способа обслуживания и назначения.

Вакуумные выключатели имеют простую конструкцию, высокую надёжность, малые размеры, большую коммутационную износостойкость,

полностью пожаро и взрывобезопасны, экологически чисты, не создают шума при операциях, требуют малых эксплуатационных расходов. Выключатели предназначены для коммутации электрических цепей при нормальных и аварийных режимах в сетях трёхфазного переменного тока с изолированной, компенсированной или заземлённой нейтралью.

На сегодняшний момент налажен промышленный выпуск высоконадежных быстродействующих вакуумных выключателей, способных отключать большие токи в электрических сетях среднего (6, 10, 35 кВ) и высокого напряжения (до 220 кВ).

На данную электроустановку РП-2 будет установлен вакуумный выключатель ВВЭ-10-20-630-УЗ

Расшифровка маркировки ВВЭ-10-20/630 УЗ:

В — Выключатель;

В — Вакуумный (тип дугогасительной камеры);

Э — Электромагнитный (тип привода, хотя часто устанавливается и пружинный);

10 — Номинальное напряжение, кВ;

20 — Номинальный ток отключения, кА;

630 — Номинальный ток, А;

УЗ — Климатическое исполнение У (умеренный климат) и категория размещения 3 (эксплуатация в закрытых помещениях).

Эксплуатационные особенности:

Буква "Э" в маркировке указывает на наличие встроенного электромагнитного привода. Это означает, что включение происходит за счет энергии электромагнита, в отличие от пружинных приводов, которые требуют предварительного взвода как в масляных выключателях типа ВМП-10-630-20К.

Для этого типа выключателей регламентирована периодичность обслуживания. Каждые 10 000 операций рекомендуется проводить текущий ремонт.

При эксплуатации необходимо контролировать износ контактов в вакуумных дугогасительных камерах (КДВ). Критический износ составляет 3 мм — при достижении этого значения камера подлежит замене.

Общие сведения:

Принцип функционирования выключателей серии ВВ/TEL основан на гашении дуги переменного тока в вакууме. Когда контакты размыкаются в глубоком вакууме (с остаточным давлением около  $10^{-6}$  мм рт. ст.), дуга, переносящая заряд в виде металлических паров, быстро исчезает.

Это связано с тем, что в межконтактном пространстве практически нет среды, и пары металла мгновенно конденсируются при переходе тока через нулевое значение (за  $10^{-5}$  с). В результате вакуумная дугогасительная камера (ВДК/TEL) быстро восстанавливает свою электрическую прочность.

Благодаря высокой диэлектрической прочности вакуума (свыше 30 кВ/мм), ток надежно отключается при размыкании контактов на расстояние более 1 мм.

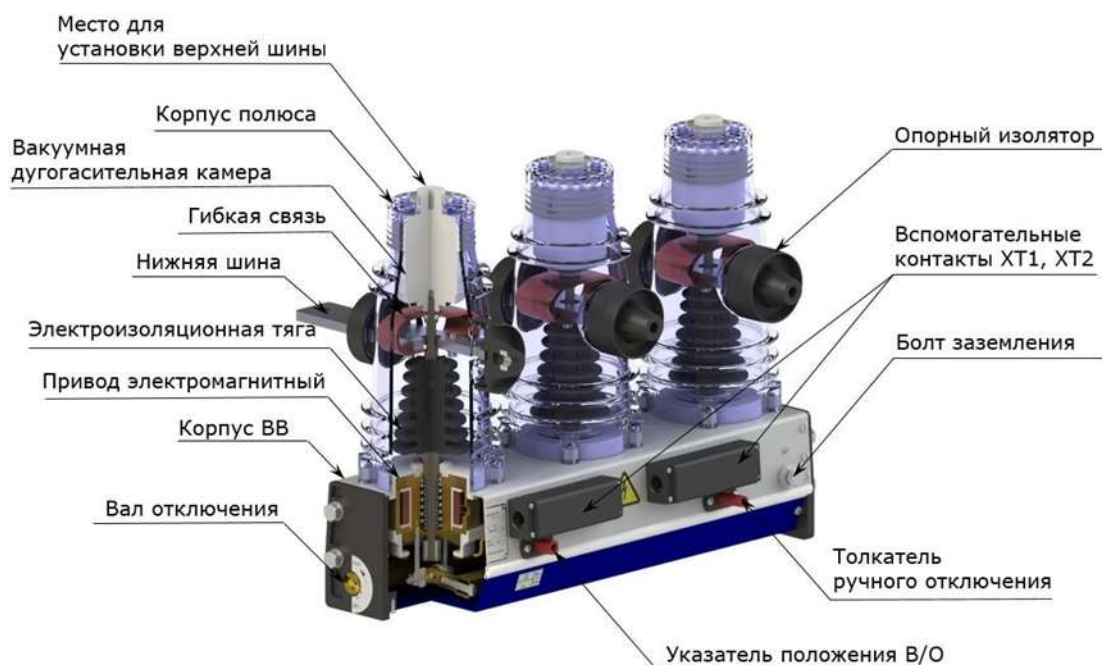


Рисунок 1.1.4 – Внешний вид выключателя ВВ/TEL–6

У электромагнитного привода имеется два устойчивых положения, отключено и включено.

Фиксация якоря в двух положениях производится без применения механических защелок, и обеспечивается:

- силой упругости отключающей пружины в положении **ОТКЛЮЧЕНО**;
- силой, создаваемой остаточным магнитным потоком кольцевого постоянного магнита, в положении **ВКЛЮЧЕНО**.

Включение и отключение производится путем подачи управляющих импульсов напряжения разной полярности на однообмоточную катушку электромагнитного привода.

При разрыве электрического контакта в вакууме, протекающий ток вызывает образование плазменного канала, известного как вакуумная дуга.

Этот разряд поддерживается за счет испарения материала контактов в вакуум, где образовавшаяся металлическая плазма обеспечивает проводимость и непрерывность тока до его естественного обнуления.

В этот момент происходит обрыв дуги, после чего остаточные пары металла в течение 7-10 микросекунд стремительно конденсируются на поверхностях контактов и внутренних элементах дугогасительной камеры, что приводит к восстановлению диэлектрической прочности вакуумного промежутка.

Одновременно с этим, на разомкнутых контактах происходит восстановление приложенного напряжения. Если в момент восстановления напряжения на поверхности контакта (обычно анода) сохраняются зоны с повышенной температурой, они способны инициировать эмиссию заряженных частиц. Эта эмиссия, в свою очередь, приводит к пробое вакуумного промежутка и последующему протеканию тока.

Чтобы предотвратить подобные сбои, требуется контролировать вакуумную дугу путем равномерного распределения тепловой нагрузки по всей площади контактов. Наиболее действенным методом управления дугой

является применение продольного магнитного поля, параллельного направлению тока и генерируемого самим током.

Благодаря равномерному распределению вакуумной дуги по поверхности контактов под действием продольного магнитного поля, данная конструкция демонстрирует следующие ключевые преимущества:

- Высокая отключающая способность.
- Компактные размеры и малый вес.
- Низкий ток среза (4-5 А), эффективно снижающий коммутационные перенапряжения до безопасного уровня.
- Минимизация эрозии контактов и увеличение коммутационного ресурса за счет продольного магнитного поля.

На данный момент на территории Российской Федерации используется огромное количество распределительных устройств 6-10 кВ в которых эксплуатируются масляные выключатели

### **1.5 Выбор комплекта адаптации**

Комплект адаптации ВВ/TEL, позволяет производить замену устаревших масляных выключателей серий ВМП (ВМП-10, ВМП-10К, ВМГ-10 и аналогичных) без необходимости демонтажа и замены самих ячеек."

Простота и универсальность комплекта позволяют сравнительно легко установить выключатели серии ВВ/TEL на выдвижном элементе любой из ячеек типа К-ХП, К-ХПЗ, К-ХХХХ, К-37, КРУ 2-10, КР-10/500.

Область применения комплекта:

- Комплектные распределительные устройства (КРУ) серий: КРУ2-10, К-ХП, К-ХПЗ, К-ХХХХ, К-37, КР-10/500 ;
- Камеры сборные одностороннего обслуживания (КСО), в частности КСО-2УМ ;
- Распределительные устройства 6-10 кВ электрических станций и подстанций .

Монтажные комплектующие

В состав комплекта деталей для монтажа входят:

- Несущие уголки для крепления к раме масляного выключателя;
- Широкие уголки;
- Кронштейны под опорные изоляторы;
- Опорные изоляторы с крепежом;
- Шины главных цепей;
- Комплект крепежных изделий.

При реконструкции выкатной части ячеек используются элементы ошиновки и втычные контакты главных цепей демонтированного выключателя ВМП, его рама, а также сохраняются механизмы доводки и фиксации выдвижного элемента в рабочем и контрольном положениях. Выдвижной элемент после монтажа на нем выключателя ВВ/TEL повторяет габаритные и присоединительные размеры выкатного элемента с выключателем серии ВМП.

## **1.6 Масляный выключатель**

На данный момент на производстве ООО «ММК-ЛМЗ» используется масляные выключатели типа ВМП-10-630-20К.

Расшифровка масляного выключателя ВМП-10-630-20К:

- ВМП — выключатель маломасляный, подвесной.
- 10 — номинальное напряжение, кВ.
- 630 — номинальный ток, А.
- 20 — номинальный ток отключения, кА.
- К — выключатель предназначен для комплектных распределительных устройств (КРУ) с ячейками выкатного типа.



Рисунок 1.1.7 – Внешний вид масляного выключателя  
типа ВМП-10-630-20К

Выключатель относится к типу маломасляных и представляют собой трёхполюсный коммутационный аппарат, предназначенный для работы в закрытых установках переменного тока высокого напряжения частотой 50 Гц.

Таблица 1.7.1- характеристики данного масляного выключателя

| Параметры ВМП-10-630-20К                  | Значения |
|-------------------------------------------|----------|
| номинальное напряжение:                   | 10 кВ;   |
| наибольшее рабочее напряжение:            | 12 кВ    |
| номинальный ток:                          | 630 А    |
| номинальный ток отключения:               | 20 кА    |
| Ток электродинамической стойкости         | 52 кА    |
| собственное время отключения (с приводом) | 0,1 с    |

|                                                     |            |
|-----------------------------------------------------|------------|
| полное время отключения (до погасания дуги)         | 0,12 с     |
| время включения                                     | 0,3 с      |
| масса выключателя без масла                         | 130–145 кг |
| масса масла                                         | 4,5 кг     |
| механический ресурс (циклов «включение–отключение») | 2500       |

Масляные выключатели имеют две разновидности – баковые и маломасляные. Различают эти виды лишь в изоляции контактной системы от заземленного основания и в количестве масла.

#### Конструктивные особенности ВМП-10К:

Тип выключателя: Это маломасляный выключатель, где масло находится в небольшом объеме внутри баков полюсов и служит одновременно для гашения дуги и изоляции токоведущих частей. Внутри цилиндра находится дугогасительная камера (набор пластин из электрокартона, фибры и гетинакса), подвижный контактный стержень и неподвижный розеточный контакт.

Внутри цилиндра: дугогасительная камера (набор пластин из электрокартона, фибры и гетинакса), подвижный контактный стержень и неподвижный розеточный контакт.

Буква "К" в конце означает, что этот выключатель предназначен для установки в выкатные тележки КРУ (комплектных распределительных устройств).

Сам по себе выключатель привода не имеет — он подключается к внешнему приводу. Для ВМП-10К используются электромагнитный привод серии ПЭ-11.

Электромагнитный привод типа ПЭ-11 — это устройство, предназначенное для дистанционного и автоматического управления высоковольтными выключателями.

Таблица 1.7.2. - характеристики электромагнитного привода

| Параметры ПЭ-11                                                                                       | значения |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| Номинальное напряжение постоянного тока включающего электромагнита и тока отключающего электромагнита | 220 В    |
| Пределы рабочего напряжения на зажимах электромагнитов (в % от номинального напряжения):              |          |
| – Включающего                                                                                         | 85–110   |
| – отключающего                                                                                        | 65–120   |
| Сопротивление катушки                                                                                 |          |
| – включения при 20 °С (Ом): 220 В                                                                     | 3 Ом     |
| – отключения при 20 °С (Ом): 220 В                                                                    | 176 Ом   |
| Масса привода                                                                                         | 55 кг    |

#### Особенности электромагнитного привода серии ПЭ-11

— Приводы ПЭ-11 и ПЭВ-11А обеспечивают включение выключателей за время не более 0,3 с, отключение — не более 0,1 с.

— Электромагнитные приводы отличаются высокой надёжностью благодаря простой конструкции. Недостаток — необходимость в мощных источниках постоянного тока для питания включающих электромагнитов.

Маломасляные выключатели серии ВМП обширно применяются в комплектных и закрытых распределительных устройствах 6кВ. Эти выключатели имеют различное исполнение в зависимости от их назначения. Первые выпуски типа ВМП-10-630-20К используется для КСО.

Стоят в ячейках КСО. Выключатели со встроенным пружинным приводом типа ВМПП.

## 2 КОНСТРУКТОРСКАЯ ЧАСТЬ

### 2.1 Расчетная часть РП-2 на старом оборудовании

На РП-2 находится 2 секции 38 ячеек типа КСО.

На 1 секции РП-2 находится 13 трансформаторов напряжения из которых :

- 2 Трансформатора мощностью 40кВА;
- 1 Трансформатора мощностью 1000Ква;
- 9 Трансформаторов мощностью 1600Ква;

На 2 секции РП-2 находится 13 трансформаторов напряжения из которых :

- 2 Трансформатора мощностью 40кВА;
- 3 Трансформатора мощностью 1000Ква;
- 8 Трансформаторов мощностью 1600Ква;

Общая мощность РП-2 рассчитывается путем сложение всех мощностей:

$$S_{\text{общ}} = 4 \times 40 + 4 \times 1000 + 17 \times 1600 = 31360 \text{ кВА}$$

Расчет общего ток определяется по формуле:

$$I_{\text{общ}} = \frac{S}{U_{\text{ном}} * \sqrt{3}} \quad (1)$$

где:

I —линейный ток;

S — полная мощность;

$U_{\text{ном}}$  — номинальное линейное напряжение.

$$I_{\text{общ}} = \frac{31360}{6 * \sqrt{3}} = 3021,19 \text{ А}$$

Так как на РП-2 находится 4 ввода по 2 ввода на каждую секцию, чтобы определить ток который приходит на вводной выключатель надо общий ток поделить на 4 так как 4 ввода.

$$I_{\text{ввод. выкл.}} = \frac{3021,19}{4} = 755,29 \text{ А}$$

Расчет тока на трансформаторах 40кВа; 1000кВа; 1600кВа определяется по формуле:

$$I_{\text{тр-ра}} = \frac{S}{U_{\text{ном}} * \sqrt{3}} \quad (2)$$

где:

$I$  — линейный ток;

$S$  — полная мощность;

$U_{\text{ном}}$  — номинальное линейное напряжение.

Расчет тока на трансформаторах 40кВа:

$$I_{\text{тр-ра}} = \frac{40}{6 * \sqrt{3}} = 3,85 \text{ А}$$

$$I_{\text{тр-ра}} = \frac{40}{0,4 * \sqrt{3}} = 57,8 \text{ А}$$

Расчет тока на трансформаторах 1000кВа:

$$I_{\text{тр-ра}} = \frac{1000}{6 * \sqrt{3}} = 96,34 \text{ А}$$

$$I_{\text{тр-ра}} = \frac{1000}{0,4 * \sqrt{3}} = 1445,08 \text{ А}$$

Расчет тока на трансформаторах 1600кВа:

$$I_{\text{тр-ра}} = \frac{1600}{6 * \sqrt{3}} = 154,14 \text{ А}$$

$$I_{\text{тр-ра}} = \frac{1600}{0,4 * \sqrt{3}} = 2312,13 \text{ A}$$

По итогам расчета проверки токов трансформаторов на первичной обмотке общий расчетный ток на РП-2 составляет:

$$I_{\text{общ,расч}} = 4 \times 3,85 + 4 \times 96,22 + 17 \times 153,96 = 3017,6 \text{ A}$$

$$3021,19 \text{ A} > 3017,6 \text{ A}$$

Если сравнит общий ток на РП-2 и расчет проверки тока на РП-2, то можно сделать вывод что ток соответствует и замена кабеля не требуется.

## 2.2 Расчет вакуумных выключателей на РП-2.

1. Расчет выключателей на РП происходит по следующим критериям :

По номинальному напряжению ( $U_{\text{ном}}$ )

Условие:  $U_{\text{ном}} \geq U_{\text{сети}}$

Расчет:  $6,3 \text{ Кв} \geq 6 \text{ Кв}$

2. По номинальному длительному току ( $I_{\text{ном}}$ ):

Условие:  $I_{\text{ном}} \geq I_{\text{раб.мах}}$

Произведем расчет по формуле №2

$$I_{\text{тр-ра}} = \frac{1600000}{6000 * \sqrt{3}} = 154,62 \text{ A}$$

3. Проверка по аварийным режимам (устойчивость к КЗ)

Сопротивление силового трансформатора ( $X_{\text{тр}}$ )

Расчет индуктивного сопротивления трансформатора определяется по формуле:

$$X_{\text{тр}} = \frac{u_{\text{к\%}}}{100} * \frac{U_{\text{ср}}^2}{S_{\text{ном.тр}}} \quad (3)$$

где:

$u_{\text{к\%}}$  — напряжение КЗ трансформатора (%);

$S_{\text{ном.тр}}$  — полная мощность.

$$x_{\text{тр}} = \frac{6}{100} * \frac{6,3^2}{1600} = 0,0002 \text{ ом}$$

Расчет сопротивление кабельной линии ( $R_{\text{л}}$ ,  $X_{\text{л}}$ ) определяется по формуле:

$$R_{\text{л}} = r_{\text{уд}} * L \quad (4)$$

где:

$L$  — длина кабеля (км)

$r_{\text{уд}}$ ,  $x_{\text{уд}}$  — удельные сопротивления (Ом/км).

Длину кабеля от масляного выключателя до трансформатора возьмем за 100 м

$$R_{\text{каб}} = 0,258 * 0,1 = 0,0258 \text{ ом}$$

$$X_{\text{каб}} = 0,81 * 0,1 = 0,081 \text{ ом}$$

Расчет полное результирующее сопротивление определяется по формуле:

$$Z_{\text{сум}} = \sqrt{(X_{\text{с}} + X_{\text{тр}} + X_{\text{л}})^2 + (R_{\text{с}} + R_{\text{тр}} + R_{\text{л}})^2} \quad (5)$$

где:

$X_{\text{с}}$  — индуктивное сопротивление системы (энергосистемы)

$X_{\text{тр}}$  — индуктивное сопротивление трансформатора

$X_{\text{л}}$  — индуктивное сопротивление линии (кабеля или ВЛ)

$R_{\text{л}}$  — активное сопротивление линии

$$Z_{\text{сум}} = \sqrt{(0,48 + 0,0258)^2 + (3,72 + 0,081)^2} = 270,9 \text{ ом}$$

Расчет ток трехфазного КЗ определяется по формуле:

$$I_{\text{п0}}^{(3)} = \frac{U_{\text{ср}}}{\sqrt{3} * Z_{\text{сум}}} \quad (6)$$

Где:

$I_{\text{кз}}^{(3)}$  — ток трехфазного КЗ, Амперы (А);

$U_{cp}$  — среднее номинальное линейное напряжение сети, Вольты (В).

$$I_{\Pi 0}^{(3)} = \frac{6,3 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 279} = 13,46 \text{ кА}$$

Условие:  $I_{откл.ном} \geq I_{\Pi \tau}$

Расчет:  $20 \text{ кА} \geq 13,46 \text{ кА}$

4. Проверка на электродинамическую стойкость (ударный ток):

Расчет электродинамической стойкости определяется по формуле:

$$i_{уд} = \sqrt{2} * I_{\Pi 0} * K_{уд} \quad (7)$$

Где:

$i_{уд}$  — ударный ток КЗ, кА;

$I_{\Pi 0}$  — действующее значение периодической составляющей тока в начальный момент времени (сверхпереходный ток), кА;

$K_{уд}$  — ударный коэффициент, показывающий превышение амплитуды полного тока КЗ над амплитудой периодической составляющей. В мощных сетях выше 1 кВ и на шинах подстанций  $K_{уд}$  обычно принимают равным 1,8.

$$i_{уд} = 1,414 * 1,8 * 13,46 = 34,26 \text{ кА}$$

Условие:  $i_{дин} \geq i_{уд}$

Расчет:  $52 \text{ кА} \geq 34,26 \text{ кА}$

5. Проверка на термическую стойкость (тепловой импульс):

Расчет термической стойкости выключателя определяется по формуле:

$$B_k = I_{\Pi.0}^2 * (t_{отк} + T_a) \quad (8)$$

где:

$I_{\Pi.0}$  — действующее значение периодической составляющей начального тока КЗ;

$T_a$  — постоянная времени затухания апериодической составляющей тока КЗ.

Условие:  $I_{терм}^2 * t_{терм} \geq B_k$

Расчет:

$$I_{терм}^2 * t_{терм} = 20^2 * 4 = 1600$$

$$B_k = 13,46^2 * (0,12 + 0,1) = 70,01$$

Таблица 2.2.1 – Таблица сравнение расчетных и паспортных данных  
выключателя

|          | Параметры                    | Усл.<br>обоз. | Ед.<br>изм. | Условие<br>выбора            | Данные<br>Выкл. |        |
|----------|------------------------------|---------------|-------------|------------------------------|-----------------|--------|
|          |                              |               |             |                              | Расчет.         | Катал. |
| выбор    | Номинальное на-<br>пряжение  | $V_n$         | КВ          | $V_{н.в} \geq V_{н.у}$       | 10              | 10     |
|          | Номинальный<br>ток           | $I_n$         | А           | $I_{н.в} \geq I_{н.у}$       | 154,62          | 630    |
| Проверка | Ток отключения               | $I_{н.откл}$  | Ка          | $I_{н.откл} \geq I_{р.откл}$ | 13,46           | 20     |
|          | Мощность<br>отключеия        | $S_{н.откл}$  | МВ*А        | $S_{н.откл} \geq S_{р.откл}$ |                 |        |
|          | Ударный ток                  | $i_{ск}$      | Ка          | $i_{ск} \geq i_y$            | 34,26           | 52     |
|          | Ток термической<br>стойкости | $I_{тс}$      | кА          | $I_{тс} \geq I_{р.тс}$       | 70,01           |        |

### 2.3 Расчет кабеля на РП-2.

На РП-2 от выключателей до трансформаторов используются кабель ААШнг-3\*120-10. Требуется проверить кабель по техническим характеристикам, что бы узнать совместимость с вакуумным выключателем и есть ли причины в его замене.

#### 1. Определение расчетных токовых нагрузок

Прежде всего, нужно определить, какие токи будут протекать по кабелю в разных режимах.

Произведем расчет по формуле №2.

$$I_{\text{тр-ра}} = \frac{1000000}{6300 * \sqrt{3}} = 91,64 \text{ А}$$

$$I_{\text{тр-ра}} = \frac{1600000}{6300 * \sqrt{3}} = 154,14 \text{ А}$$

$$I_{\text{тр-ра}} = \frac{40000}{6300 * \sqrt{3}} = 3,85 \text{ А}$$

## 2. Проверка по нагреву длительным током (по токовой нагрузке)

Для проверки нужно сравнить расчетный ток с длительно допустимым током для кабеля, который берется из паспортных характеристик.

Условие:  $I_{\text{дд}} \geq I_{\text{р}}$ .

Согласно техническим характеристикам, кабеля ААШнг-3х120-10 длительно допустимый ток составляет: 218 А — при прокладке в земле и 234 А — при прокладке на воздухе.

Вывод максимальный расчетный ток составляет 146,62 ампера, что ниже допустимого 218 А. По этому критерию кабель полностью подходит и работает с большим запасом.

## 3. Проверка термической стойкости кабеля

Поскольку время отключения выключателя (0,04 с) тепловой импульс рассчитывается по формуле:

$$B_{\text{к}} = I_{\text{кз}}^2 * (t_{\text{откл}} + T_{\text{а}}) \quad (9)$$

Где:

$T_{\text{а}}$  — постоянная времени затухания апериодической составляющей.

$$B_{\text{к}} = 13460^2 * (0,04 + 0,05) = 16,3 * 10^6 \text{ А}^2 * \text{с}$$

Определение коэффициента  $C$  зависит от материала жилы и типа изоляции. Для алюминиевых кабелей с бумажной пропитанной изоляцией на напряжение 10 кВ из технической документации составляет  $C=85$ .

4. Расчет минимального сечения по термической стойкости определяется по формуле:

$$S_{min} = \frac{\sqrt{B_k}}{C} \quad (10)$$

Где:

$S_{min}$  — минимально допустимое сечение токопроводящей жилы, мм<sup>2</sup>;

$B_k$  — термической стойкости кабеля;

$C$  — коэффициент, зависящий от материала жилы и начальной/допустимой конечной температуры нагрева.

$$S_{min} = \frac{\sqrt{16,3 * 10^6}}{85} = 47,5 \text{ мм}^2$$

Условие проверки:  $S_{\text{факт}} \geq S_{\text{min}}$

Расчетная проверка:  $120 \geq 47,5 \text{ мм}^2$

## 2.4 Расчет токов КЗ

Для того чтобы рассчитать токи короткого замыкания (КЗ) нужно

- составить схему замещения;
- рассчитать сопротивления;
- определить в каждой выбранной точке 3-фазные и 2-фазные токи.

Составим расчетную схему и схему замещения:

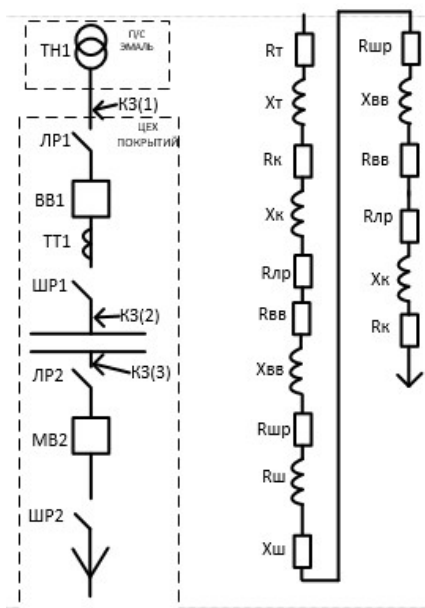


Рисунок 2.4.1 – Расчетная схема и схема замещения

Первый участок, это подстанция «Эмаль» с которого идет питание. На подстанции стоит трансформатор ТНД-25000/110/6 Кв с которого питается РП-2. Питание на РП-2 идет с трансформатора через шинопровод АД31Т длиной 2 км.

Для расчета точки КЗ1 нужно рассчитать активное и индуктивное сопротивление трансформатора и шины.

Данные для расчета можем взять из паспортных характеристик трансформатора и шины.

Характеристики ТНД-25000/110/6 Кв:

$$R_T = 2,3 \text{ мОм}$$

$$X_T = 5,08 \text{ мОм}$$

Характеристики АД31Т:

$$R_0 = 0,035 \text{ Ом/м}$$

$$X_0 = 0,025 \text{ Ом/м}$$

Расчет сопротивления по всей длины АД31Т определяется по формуле:

$$X'_c = x_0 * L \quad (11)$$

Где:

$X_0$ -удельное индуктивное сопротивление шины(мОм/м)

$L$ -длина шины(м)

$$R'_c = r_0 * L \quad (12)$$

Где:

$R_0$ -удельное активное сопротивление шины(мОм/м)

$L$ -длина шины(м)

$$X'_c = 0,025 * 2000 = 50 \text{ Ом}$$

$$R'_c = 0,035 * 2000 = 70 \text{ Ом}$$

Расчет сопротивления для низкого напряжения определяется по формуле:

$$R' = R'_c \left( \frac{U_{\text{нн}}}{U_{\text{вн}}} \right)^2 \quad (13)$$

Где:

$R_c$ -удельное активное сопротивление шины(Ом)

$U_{нн}$ - низкое напряжение(кВТ)

$U_{вн}$ - высокое напряжение(кВТ)

$$X' = X'_c \left( \frac{U_{нн}}{U_{вн}} \right)^2 \quad (14)$$

Где:

$X_c$ -удельное индуктивное сопротивление шины(Ом)

$U_{нн}$ - низкое напряжение(кВТ)

$U_{вн}$ - высокое напряжение(кВТ)

$$R' = 70 \left( \frac{6}{110} \right)^2 * 10^3 = 208,26 \text{ мОм}$$

$$X' = 50 \left( \frac{6}{110} \right)^2 * 10^3 = 148,76 \text{ мОм}$$

Расчет эквивалентного сопротивления участка определяется по формуле:

$$R_3 = R_1 + R_2 + \dots + R_n \quad (15)$$

Где:

$R_n$ -удельное сопротивление элементов участка(мОм)

$$R_{к1} = R_T + R' = 208,26 + 2,3 = 210,56 \text{ мОм}$$

$$X_{к1} = X_T + X' = 148,76 + 5,08 = 153,84 \text{ мОм}$$

Расчет полного сопротивления участка определяется по формуле:

$$Z = \sqrt{R_{к1}^2 + X_{к1}^2} \quad (16)$$

Где:

$R_{к1}$ -общее удельное активное сопротивление элементов участка (мОм)

$X_{к1}$ -общее удельное индуктивное сопротивление элементов участка (мОм)

$$Z_K = \sqrt{210,56^2 + 153,84^2} = 260,77 \text{ мОм}$$

Расчет 3-х фазного тока КЗ определяется по формуле:

$$I_{кз}^{(3)} = \frac{V_K}{\sqrt{3} * Z_K} \quad (17)$$

Где:

$V_K$ -линейное напряжение в точке КЗ (кВ)

$Z_K$ -полное сопротивление до точки КЗ (мОм)

$$I_{кз}^{(3)} = \frac{6 * 10^3}{\sqrt{3} * 260,77} = 13,29 \text{ кА}$$

После подсчета тока КЗ надо рассчитать ток уставки.

Расчет максимального рабочего тока определяется по формуле:

$$I_{\text{раб.мах}} = I_{\text{раб}} * 1,4 \quad (18)$$

Где:

$I_{\text{раб}}$ - рабочий ток.

Расчет по формуле():

$$I_{\text{раб}} = \frac{25000}{6000 * \sqrt{3}} = 2406,15 \text{ А}$$

$$I_{\text{раб.мах}} = 2406,15 * 1,4 = 3368,62 \text{ А}$$

Расчет тока срабатывание защиты определяется по формуле:

$$I_{с.з} = \frac{K_H * K_{с.зап}}{K_B} * I_{\text{раб.мах}} \quad (19)$$

где:

$I_{сз}$  — ток срабатывания защиты, А;

$K_H$ —коэффициент надёжности;

для реле РТ-40/200 — 1,2;

$K_{с.зап}$  — коэффициент самозапуска;

$K_B$  — коэффициент возврата :

для РТ-40/200 — 0,85;

$I_{\text{р.мах}}$  — максимальный рабочий ток защищаемого участка, А.

$$I_{c.3} = \frac{1,2 * 1,3}{0,85} * 3368,62 = 6182,4 \text{ A}$$

Расчет 2-х фазного тока КЗ определяется по формуле:

$$I_{кз}^{(2)} = 0,87 * I_{кз}^{(3)} \quad (20)$$

где:

$I_{кз}$  — 3-х фазный ток кз, кА;

$$I_{кз}^{(2)} = 0,87 * 13290 = 11562,3 \text{ A}$$

Расчет чувствительность защиты определяется по формуле:

$$K_{ч} = \frac{I_{кз}^{(2)}}{I_{c.3}} \quad (21)$$

где:

$I_{к.min(2)}$  — минимальный ток 2-х КЗ в начале защищаемого участка кА;

$I_{c.3}$  — тока срабатывание защиты.

$$K_{ч} = \frac{11562,3}{6182,4} = 1,87$$

Требования ПУЭ:  $K_{ч} \geq 1,5$  для основной зоны защиты. Если  $K_{ч} < 1,5$ , токовая отсечка не устанавливается или требуется пересмотреть параметры защиты.  $1,87 \geq 1,5$  значит защита сработает.

Второй участок это вводная ячейка РП-2. В ячейке находится вакуумный выключатель ВВЭ-10-20-630-УЗ линейный и шинный разъединитель.

Для расчета второго участка возьмем паспортные данные выключателя и разъединителей и сложим их с полным сопротивлением по формулам из прошлых расчетов.

Характеристика ВВЭ-10-20-630-УЗ:

$R_{ВВ} = 0,1 \text{ МОм}$

$X_{ВВ} = 0,05 \text{ МОм}$

Характеристика линейного разъединителя:

$$R_0=0,12\text{МОм}$$

Характеристика шинного разъединителя:

$$R_0=0,11\text{МОм}$$

Расчет по формуле (14):

$$R_{к1} = R_{вв} + R_{лр} + R_{шр} = 0,1 + 0,12 + 0,11 = 0,33 \text{ МОм}$$

Расчет по формуле (15):

$$Z_K = \sqrt{0,33^2 + 0,05^2} = 0,34 \text{ МОм}$$

Расчет по формуле (16):

$$I_{кз}^{(3)} = \frac{6 * 10^3}{\sqrt{3} * 261,01} = 13,28 \text{ кА}$$

Расчет по формуле (19):

$$I_{кз}^{(2)} = 0,87 * 13280 = 11553,6 \text{ А}$$

Расчет по формуле (20):

$$K_{ч} = \frac{11553,3}{6182,4} = 1,86$$

Третий участок это вводная ячейка РП-2 только учитываем еще шину которая идет на всю секцию.

Характеристика медной шины 50\*5мм:

$$R_{ш}=1,4\text{МОм}$$

$$X_{ш}=6,5\text{МОм}$$

Расчет по формуле (15):

$$Z_K = \sqrt{1,4^2 + 6,5^2} = 9,1 \text{ МОм}$$

Расчет по формуле (16):

$$I_{кз}^{(3)} = \frac{6 * 10^3}{\sqrt{3} * 270,9} = 12,80 \text{ кА}$$

Расчет по формуле (19):

$$I_{кз}^{(2)} = 0,87 * 12800 = 11136 \text{ А}$$

Расчет по формуле (20):

$$K_{\text{ч}} = \frac{11136}{6182,4} = 1,80$$

## 2.5 Расчет релейной защиты на фидерах РП-2.

Сперва для расчета релейной защиты определяется, какая защита будет на РП. Обычно на одной панели РЗА реализовано несколько защит, и для каждой требуется «свой» набор реле тока.

Максимальная токовая защита (МТЗ) — это «страховка» от перегрузок и КЗ на большом участке линии.

Токовая отсечка (ТО) — это «мгновенная» защита от грубых КЗ прямо рядом с подстанцией.

Номинальные токи трансформатора

Производим расчеты по формуле №2.

На стороне 6 кВ:

$$I_{\text{ном.ВН}} = \frac{S_{\text{Н}}}{\sqrt{3} * U_{\text{ВН}}} = \frac{1600}{1,732 * 6} = 154 \text{ А}$$

На стороне 0,4 кВ:

$$I_{\text{ном.НН}} = \frac{S_{\text{Н}}}{\sqrt{3} * U_{\text{ВН}}} = \frac{1600}{1,732 * 0,4} = 2310 \text{ А}$$

1. Расчет максимальной токовой защиты (МТЗ).

Формула для расчета МТЗ:

$$I_{\text{сз}} = \frac{K_{\text{н}} \times K_{\text{спз}}}{K_{\text{в}}} \times I_{\text{раб. макс}} \quad (22)$$

Где:

$K_{\text{н}}$  — коэффициент надежности (для старых реле РТ-40/80 = 1,2–1,3, для современных = 1,05–1,1);

$K_{\text{спз}}$  = 1,2–1,5 (коэффициент самозапуска для нагрузки 0,4 кВ);

$K_{\text{в}}$  = 0,8–0,85 (коэффициент возврата для РТ-40);

$I_{\text{раб. макс}}$  =  $154 \times 1,4 = 216 \text{ А}$  (с учетом 40% перегрузки при аварийном режиме).

$$I_{сз} = \frac{1,2 \times 1,3}{0,8} \times 216 = 421 \text{ A}$$

2. Ток срабатывания реле (вторичный)

Выбираем трансформаторы тока с коэффициентом:  $K_{ТТ} = 300/5 = 60$   
(стандартное значение ближайшее к  $I_{ном}=154 \text{ A}$ ).

Схема соединения ТТ — "неполная звезда" ( $K_{сх} = 1$ ):

Формула для расчета тока срабатывания реле (вторичный):

$$I_{с.р.} = \frac{I_{с.з.} \cdot K_{сх}}{K_{тт}} \quad (23)$$

Где:

$I_{с.р.}$  — ток срабатывания реле;

$I_{с.з.}$  — ток срабатывания защиты;

$K_{сх}$  — коэффициент схемы соединения ТТ;

$K_{тт}$  — коэффициент трансформации трансформатора тока.

$$I_{с.р.} = \frac{420 \cdot 1}{60} = 7,0 \text{ A}$$

Принимаем реле РТ-40/10 (диапазон 5-10 А) с установкой на 7 ампер.

3. Расчет выдержки времени (МТЗ)

Расчет выдержки времени МТЗ определяется по формуле:

$$t_{МТЗ} = t_{авт} + \Delta t \quad (24)$$

Где:

$t_{МТЗ}$  — выдержка времени МТЗ;

$t_{выкл}$  — время срабатывания выключателя на стороне 0,4 кВ(

$\Delta t$  — ступень селективности (стандарт для старых реле —  $\Delta t=0,5-0,6$ ).

$$t_{МТЗ} = 0,1 + 0,5 = 0,6 \text{ с}$$

Тип реле времени: электромеханическое РВ-100 (диапазон 0,1-1,0 с).

4. Расчет токовой отсечки (ТО)

Токовая отсечка предназначена для быстрого отключения КЗ на выводах 6 кВ трансформатора.

Расчет сопротивления трансформатора определяется по формуле:

$$X_T = \frac{U_K \cdot U_{ВН2}}{100 \cdot S_H} \quad (25)$$

Где:

$X_T$ — индуктивное сопротивление трансформатора (Ом);

$U_K$  — напряжение короткого замыкания трансформатора (%);

$U_{ВН}$ — номинальное напряжение высокой стороны трансформатора (кВ);

$S_H$ — номинальная полная мощность трансформатора (кВА или МВА).

$$X_T = \frac{6 \cdot 6^2}{100 \cdot 1,6} = 1,35 \text{ Ом}$$

Расчет тока КЗ на шинах 0,4 кВ (приведенный к стороне 6 кВ)

определяется по формуле:

$$I_{\text{кз.макс}}^{(3)} = \frac{U_{ВН}}{\sqrt{3} \cdot X_T} \quad (26)$$

Где:

$I_{\text{кз.макс}}^{(3)}$ — максимальный ток трехфазного короткого замыкания за трансформатором (кА);

$U_{ср}$ — среднее номинальное напряжение сети на высокой стороне (кВ);

$X_T$ — индуктивное сопротивление трансформатора (Ом).

$$I_{\text{кз.макс}}^{(3)} = \frac{6000}{1,732 \cdot 1,35} = 2566 \text{ А}$$

Расчет тока срабатывания отсечки определяется по формуле:

$$I_{\text{с.з.ТО}} = K_H \cdot I_{\text{кз.макс}}^{(3)} \quad (27)$$

Где:

$I_{\text{с.з.ТО}}$ — Ток срабатывания токовой отсечки (защиты);

$K_H$ —Коэффициент надежности;

$I_{\text{кз.макс}}^{(3)}$ — максимальный ток трехфазного короткого замыкания в конце защищаемой зоны.

$$I_{\text{с.з.ТО}} = 1,25 \cdot 2566 = 3207 \text{ А}$$

Расчет ток срабатывания реле для отсечки определяется по формуле:

$$I_{с.р.ТО} = \frac{I_{с.з.ТО}}{K_{ТТ}} \quad (28)$$

Где:

$I_{с.р.ТО}$ —Ток срабатывания реле (вторичный);

$I_{с.з.ТО}$ — Ток срабатывания токовой отсечки (защиты);

$K_{ТТ}$ —Коэффициент трансформации трансформатора тока.

$$I_{с.р.ТО} = \frac{3200}{60} = 53,3 \text{ А}$$

Реле РТ-40/100 (диапазон 25-100 А) с уставкой на 53,3 А.

Расчет коэффициента чувствительности отсечки определяется по формуле:

$$K_{ч} = \frac{I_{кз. мин(2)}}{I_{с. з. ТО}} \quad (29)$$

Где:

$K_{ч}$ —Коэффициент чувствительности

$I_{кз. мин}^{(2)}$ —Минимальный ток двухфазного КЗ в конце защищаемой зоны

$I_{с.з.ТО}$  — ток срабатывания токовой отсечки (уставка).

$$K_{ч} = \frac{2232}{3200} = 0,7$$

Полученное значение  $0,7 < 1,2$  — это означает, что отсечка не защищает всю зону (КЗ на шинах 0,4 кВ может не попадать в зону действия ТО). Это допустимо, так как отсечка защищает только часть трансформатора и шины 6 кВ, а резервирование обеспечивает МТЗ с выдержкой времени.

### **3 ОХРАНА ТРУДА И ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ**

#### **3.1 Идентификация основных опасных факторов при работе с высоковольтными ячейками**

При работе с высоковольтными ячейками (электроустановками) опасны различные факторы, которые могут привести к травме или ухудшению здоровья. Они связаны с воздействием электрического тока, механическими воздействиями, химическими факторами и влиянием электромагнитных полей.

Один из главных опасных факторов, в работе на электрических подстанциях является влияние электромагнитного поля на организм человека. электромагнитные волны (электромагнитное излучение) — это распространение колебаний электрического и магнитного полей в пространстве.

Электромагнитные волны могут влиять на здоровье сотрудника во время работы, затрагивая нервы, сердце и сосуды, а также иммунитет. При этом неважно, как долго мы находимся под их воздействием — эффект может быть одинаковым. У людей, подверженных такому влиянию, часто наблюдаются усталость, слабость, а также изменения в давлении и пульс.

На электрических подстанциях существует вероятность возникновения взрыва оборудования, поэтому проведение определённых работ в течение неблагоприятных погодных условий, не производится.

Также взрыв произойдет из-за неправильного сформированного графика планово-предупредительных работ и проведения целевого инструктажа перед началом работ, несвоевременного и некачественного ухода за оборудованием, неправильная эксплуатация оборудования.

Подобные аварии происходят редко, но ликвидация сопутствующих им последствий является достаточно сложным, трудоёмким процессом, требующим минимально-возможных затрат времени в связи с необходимостью скорейшего возобновления приёма, преобразования и

распределения электроэнергии даже при наличии резервного источника электроэнергии.

Существенным фактором риска на объектах электрических подстанций является потенциал возникновения аварийных ситуаций и несчастных случаев различной степени тяжести, вследствие ошибок персонала.

Человеческий фактор — одна из причин невозможности полной ликвидации несчастных случаев. Например, случайное прикосновение к токоведущим частям, находящимся под напряжением, из-за невнимательности, недосмотра или неправильного выполнения операций.

Также наиболее вероятными причинами несчастных случаев могут стать: соприкосновение с токоведущими частями, находящимися под напряжением, вследствие ошибки персонала и падение с высоты при выполнении планово-предупредительных работ.

По статистике, ошибки при проведении работ допускает не только неопытный и невнимательный персонал, но и работники со стажем более 10 лет ввиду чрезмерной самоуверенности в своих знаниях и умениях.

Воздействие на токоведущие части под напряжением влечет за собой возникновение травматических повреждений. Степень тяжести травм определяется комплексом факторов, при этом не исключается возможность летального исхода.

Ввиду того, что электрические подстанции должны бесперебойно выполнять свои функции, система защиты обязана гарантировать возможность своевременной реакции на любые негативные воздействия, способные повлиять на нормальный режим работы и в скором времени произвести необходимые отключения, переход на резервные источники энергии и т. д.

Обширные открытые распределительные устройства, включающие в себя большое количество трансформаторов, выключателей и другого высоковольтного оборудования, требуют значительных площадей для размещения.

### **3.2 Разработка мероприятий по защите персонала от случайного прикосновения к токоведущим частям**

Разработка мероприятий по защите персонала от случайного прикосновения к токоведущим частям разрабатываются в соответствии с ГОСТ 12.1.019-2017 и ПУЭ (Правилами устройства электроустановок).

Токыведущие части электроустановки должны быть изолированы или ограждены таким образом, чтобы исключить возможность случайного прикосновения. Защита от поражения электрическим током достигается посредством совокупности организационных и технических мер.

Некоторые общие положения из ГОСТа 12.1.019-2017.

— Опасное и вредное воздействия на людей электрического тока, электрической дуги и электромагнитных полей проявляются в виде электротравм и заболеваний, включая профессиональные и производственно-обусловленные заболевания.

— Степень опасного и вредного воздействий на человека электрических и магнитных полей зависит от напряженности электрического и магнитных полей, индивидуальных особенностей организма человека и одновременно воздействующих вредных факторов.

— Требования (правила и нормы) электробезопасности к конструкции и устройству электроустановок должны быть установлены в стандартах Системы стандартов безопасности труда (ССБТ).

— В процессе эксплуатации для контроля требований электробезопасности целесообразно проводить оценку риска опасного и вредного воздействий на персонал электрического тока, электрической дуги, электрических и магнитных полей.

Для защиты от случайного прикосновения к токоведущим частям, находящимся под напряжением в нормальном режиме работы, применяются следующие меры :

Ограждения— устройства, предотвращающие случайное прикосновение к токоведущим частям. Ограждения должны быть надежно закреплены и иметь достаточную механическую прочность .

Барьеры – предназначены для, того чтобы случайно не коснуться проводов под напряжением в электроустановках до 1000 В или приближаться к ним на опасное расстояние в электроустановках напряжением выше 1000В .

Применение сверхнизкого напряжения – напряжение, не превышающее, используемое для питания переносных светильников и ручного электроинструмента в особо опасных условиях .

Для защиты от поражения электрическим током в случае повреждения изоляции применяются следующие меры:

Защитное заземление – преднамеренное электрическое соединение с землей металлических нетокведущих частей электроустановок, которые могут оказаться под напряжением. Применяется для электроустановок с изолированной нейтралью (система IT).

Электрозащитные средства — это средства защиты от поражения электрическим током, предназначенные для обеспечения электробезопасности. Они используются при работе в электроустановках для предотвращения травм и аварий, связанных с электрическим током, электрическим полем, продуктами горения и другими опасностями.

Средства индивидуальной защиты (СИЗ) в соответствии с государственным стандартом (средства защиты головы, глаз и лица, рук, органов дыхания от падения с высоты, одежда специальная защитная).

В электроустановке РП-2 при работах с электрооборудованием и коммутационными аппаратами используются электрозащитные средства до и выше 1000 В.

Виды средств защиты при работе в электроустановках делятся на основные и дополнительные :

Основные до 1000В:

– изолирующие штанги всех видов;

- изолирующие клещи;
- указатели напряжения;
- электроизмерительные клещи;
- диэлектрические перчатки;
- ручной изолирующий инструмент.

Дополнительные до 1000В:

- диэлектрические галоши;
- диэлектрические ковры и изолирующие подставки;
- изолирующие колпаки, покрытия и накладки;
- лестницы приставные, стремянки, изолирующие стеклопластиковые.

Основные выше 1000В:

- изолирующие штанги всех видов;
- изолирующие клещи;
- указатели напряжения;
- специальные средства защиты, устройства и приспособления

изолирующие для работ под напряжением в электроустановках напряжением 110 кВ и выше (кроме штанг для переноса и выравнивания потенциала).

Дополнительные выше 1000В:

- диэлектрические перчатки и боты;
- диэлектрические ковры и изолирующие подставки;
- изолирующие колпаки и накладки;
- штанги для переноса и выравнивания потенциала;
- лестницы приставные, стремянки, изолирующие

стеклопластиковые.

Перед каждым применением средства защиты работающий обязан :

- проверить его исправность;
- убедиться в отсутствии внешних повреждений и загрязнений;

- проверить по штампу срок годности и дату прохождения испытаний.

Для предупреждения персонала об опасности применяются предупредительные плакаты и знаки безопасности:

- «Не включать! Работают люди»;
- «Стой! Напряжение»;
- «Работать здесь»;
- «Заземлено».

Организационные и технические мероприятия

Для обеспечения безопасности работ в электроустановках выполняются следующие организационные мероприятия :

- Оформление работ нарядом, распоряжением или перечнем работ, выполняемых в порядке текущей эксплуатации.
- Допуск к работе.
- Надзор во время работы.
- Оформление перерыва в работе, перевода на другое место, окончания работы.

Ответственными за безопасное ведение работ являются: выдающий наряд, ответственный руководитель, допускающий, производитель работ, наблюдающий, члены бригады .

При проведении работ со снятием напряжения в действующих электроустановках должны выполняться следующие технические мероприятия :

- отключение установки (части установки) от источника питания;
- механическое запираание приводов отключенных коммутационных аппаратов, снятие предохранителей;
- установка знаков безопасности и ограждение остающихся под напряжением токоведущих частей;

- наложение заземлений (включение заземляющих ножей или наложение переносных заземлений);
- ограждение рабочего места.

### **3.3 Выявление источников загрязнения**

В соответствии с Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей (Приказ Минэнерго РФ № 6 от 13.01.2003 г.), при эксплуатации электроустановок должны приниматься меры для предупреждения или ограничения вредного воздействия на окружающую среду .

Основные требования включают :

- Количество выбросов загрязняющих веществ в атмосферу не должно превышать установленных норм предельно допустимых выбросов (ПДВ);
- Сбросы загрязняющих веществ в водные объекты не должны превышать норм предельно допустимых сбросов (ПДС);
- При эксплуатации маслonaполненного электрооборудования должны быть разработаны мероприятия по предотвращению аварийных выбросов в окружающую среду ;
- Потребители, у которых образуются токсичные отходы, должны обеспечивать их своевременную утилизацию, обезвреживание и захоронение .

Причины возникновения утечек масла

Эксплуатационные причины:

- Естественное старение резиновых уплотнений и прокладок (срок службы 10-15 лет);
- Коррозия металлических баков и кожухов;
- Механические повреждения при обслуживании и ремонте.

Аварийные причины:

- Разрушение дугогасительных камер при отключении токов короткого замыкания;

- Трещины в фарфоровых изоляторах;

- Разрыв баков при внутренних коротких замыканиях.

В ходе эксплуатации масляных выключателей типа ВМП возможны различные случаи попадания масла в окружающую среду.

Можно выделить три основных пути загрязнения:

- Загрязнение пола

Наиболее вероятным путем является прямое вытекание масла на бетонный пол помещения. Это происходит при нарушении герметичности оборудования (трещины, износ уплотнений) или в ходе ремонтных работ.

Последствия: загрязнение пола, требующее специальной очистки, и серьезная пожарная опасность, так как промасленный бетон становится горючим. Кроме того, масло на полу создает скользкую поверхность, что повышает риск травматизма персонала.

- Попадание в кабельные каналы.

Проникновение масла через неплотности и технологические отверстия в кабельные каналы и приямки. Поскольку полы в РП и кабельные сооружения часто имеют сообщающуюся конструкцию.

Последствия: масло заливает силовые и контрольные кабели, вызывая разрушение их полимерной и резиновой изоляции («разбухание» и потерю диэлектрических свойств). В конечном итоге это приводит к необходимости дорогостоящей замены кабельного хозяйства и загрязнению грунта под зданием.

В соответствии с нормативными требованиями :

- На ГПП и в РУ с маслonaполненным электрооборудованием должны быть смонтированы маслоприемники, маслоотводы и маслосборники;

- Маслоприемные устройства должны содержаться в состоянии, обеспечивающем прием масла в любое время года;

– Должны быть разработаны мероприятия по предотвращению аварийных выбросов масла в окружающую среду.

#### Выделение газов при электрической дуге

При отключении токов короткого замыкания масляным выключателем в дугогасительной камере происходит разложение трансформаторного масла с выделением газов. Водород, метан, сероводород и т.д.

При отключении тока КЗ 20 кА выделяется от 50 до 200 литров газов (в пересчете на нормальные условия).

#### – Объем газов при коротком замыкании (КЗ)

Для масляного выключателя количества газообразных продуктов выделяемых при аварийном отключении составляет от 50 до 200 литров газа за одно отключение. Это колоссальный объем, который образуется в результате термического разложения масла под действием электрической дуги. Вакуумный выключатель выделяет лишь 0,1–0,5 литра газов. Это остаточные газы, выделяющиеся с поверхности металлических деталей камеры, а не продукты горения масляного выключателя. Таким образом, вакуумная среда практически не производит газообразных выбросов.

#### – Токсичные компоненты в составе газов

В случае аварийной ситуации с масляным выключателем в атмосферу выбрасывается множество высокотоксичных веществ: оксид углерода (CO), сернистый газ (SO<sub>2</sub>), сероводород (H<sub>2</sub>S) и оксиды азота (NO<sub>x</sub>). Все эти соединения представляют серьезную опасность для здоровья персонала и требуют мощной принудительной вентиляции. У вакуумного выключателя внутри вакуумная дугогасительная камера у которой отсутствует вещество, способное разлагаться с образованием ядовитых газов.

#### – Взрывоопасность

При работе масляного выключателя, образуются водород и ацетилен. Это горючие и взрывоопасные газы, которые в смеси с воздухом способны детонировать даже от малейшей искры, что создает риск разрушения оборудования и травмирования персонала при тяжелых авариях. Для

вакуумного выключателя взрывоопасность отсутствует полностью, так как нечему воспламеняться.

– Требования к системе вентиляции

Масляные выключатели требуют обязательной установки системы принудительной вентиляции с высокой кратностью воздухообмена, чтобы разбавлять токсичные и взрывоопасные газы до безопасных концентраций. Это связано с высокими затратами на оборудование и электроэнергию.

Для вакуумных выключателей, естественной вентиляции (через жалюзи или вытяжные шахты без вентиляторов) вполне достаточно для обеспечения безопасного газового состава воздуха.

### **3.4 Оценка классов опасности отходов, образующихся при обслуживании**

В процессе технического обслуживания и реконструкции высоковольтных ячеек типа КСО (камеры сборные одностороннего обслуживания) образуются отходы различных классов опасности, требующие соблюдения специальных правил сбора, хранения, транспортировки и утилизации.

Промасленная ветошь- класс опасности IV (малоопасные отходы) является одним из наиболее распространенных видов отходов при техническом обслуживании электрооборудования. Она образуется в процессе протирки масляных выключателей, трансформаторов, очистки поверхностей от масляных загрязнений, уборки разливов масла.

Характеристика класса опасности IV:

Отходы IV класса опасности характеризуются умеренной степенью вредного воздействия на окружающую среду. Экологическая система при нарушении устойчивости восстанавливается в течение 3 лет.

Вышедшее из строя оборудование - класс опасности III-IV (в зависимости от состояния) в процессе реконструкции ячеек КСО демонтажу

подлежит значительный объем устаревшего оборудования. Класс опасности таких отходов варьируется в зависимости от его состояния.

Характеристика:

Демонтируемые масляные выключатели относятся к III-IV классам опасности. Это связано с наличием остатков трансформаторного масла (III класс опасности), которое пропитывает внутренние компоненты. Металлические части (корпус, бак) после очистки могут быть отнесены к V классу (лом черных металлов).

Вывод по разделу промышленная экология и охрана труда при реконструкции высоковольтных ячеек

При рассмотрении некоторых факторов по экологии и охране труда можно сделать вывод, что при реконструкции высоковольтных ячеек типа КСО с заменой масляных выключателей на вакуумные обеспечивает:

- Повышение уровня безопасности персонала за счет ликвидации основных опасностей: масла, дуги, токсичных газов и сильных электромагнитных полей.
- Экологическая устойчивость технологических процессов: характеризуется отсутствием утечек масел, снижением уровня газовых выбросов и уменьшением образования опасных отходов
- Улучшение условий труда (снижение шума, тепловыделения, улучшение качества воздуха в рабочей зоне).

Следовательно, модернизация ячеек КСО с установкой вакуумных выключателей вместо масляных выключателей, имеет веские экологические и социальные основания. Это поможет обеспечить безопасность персонала и минимизировать вредное воздействие на природную среду.

#### 4 ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Расчет экономической эффективности реконструкции (замены) ячеек КСО в РП-2 ООО «ММК-ЛМЗ» базируется на сравнении затрат на модернизацию с экономией от снижения эксплуатационных расходов, уменьшения недоотпуска электроэнергии (снижение аварийности) и сокращения потерь. Ключевые показатели: снижение эксплуатационных расходов, прирост чистой прибыли и срок окупаемости.

1. Исходные данные для расчета:

- Объект: РП-2 ООО «ММК-ЛМЗ»
- Техническое решение: Замена старых масляных/маломасляных выключателей в ячейках КСО на современные вакуумные выключатели (или полная замена шкафов КСО на новые).
- Срок эксплуатации до реконструкции: >20-25 лет (высокий износ).

2. Затраты на реконструкцию (Капитальные вложения - К)

Общие капитальные вложения определяются по формуле:

$$I_{\text{общ}} = C_{\text{об}} + C_{\text{смп}} + C_{\text{пнр}} + C_{\text{дем}} \quad (30)$$

где:

$C_{\text{об}}$  — стоимость нового оборудования, руб.

$C_{\text{смп}}$  — стоимость строительно-монтажных работ, руб.

$C_{\text{пнр}}$  — стоимость пусконаладочных работ, руб.

$C_{\text{дем}}$  — стоимость демонтажа старого оборудования, руб.

Таблица 4.1 — Расчет капитальных затрат

| № | Наименование затрат                    | Кол-во, шт    | Цена за ед., тыс. руб. | Сумма, тыс. руб. |
|---|----------------------------------------|---------------|------------------------|------------------|
| 1 | Вакуумный выключатель ВВЭ-10-20-630-УЗ | 38            | 167,2                  | 6353,6           |
| 2 | Комплектующие и                        | 1 комплект на | 85,9                   | 3264,2           |

|                                    |                                      |                           |  |          |
|------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------|--|----------|
|                                    | материалы                            | 1 выключатель             |  |          |
| Итог стоимости нового оборудования |                                      |                           |  | 9617,8   |
| 3                                  | Строительно-монтажные работы (Ссмп)  | 40% от итоговой стоимости |  | 3847,12  |
| 4                                  | Пусконаладочные работы (Спнр)        | 15% от итоговой стоимости |  | 1442,67  |
| 5                                  | Демонтаж старого оборудования (Сдем) | 10% от итоговой стоимости |  | 961,78   |
| Итог капитальные вложения (Iобщ)   |                                      |                           |  | 15869,39 |

### 3. Расчет годовой экономии эксплуатационных расходов

Годовой экономический эффект рассчитывается по формуле:

$$\Delta \mathcal{E}_{\text{год}} = \Delta \mathcal{E}_{\text{эксп}} + \Delta \mathcal{E}_{\text{пот}} + \Delta \mathcal{E}_{\text{авар}} \quad (31)$$

Где:

$\Delta \mathcal{E}_{\text{эксп}}$  — Экономия на эксплуатационных расходах

$\Delta \mathcal{E}_{\text{пот}}$  — Экономия от снижения потерь электроэнергии

$\Delta \mathcal{E}_{\text{авар}}$  —

При замене масляных выключателей на вакуумные достигается экономия за счет:

- Отсутствия необходимости замены и долива трансформаторного масла
- Сокращения трудоемкости технического обслуживания
- Увеличения межремонтного интервала

Таблица 4.2 — Расчет годовой экономии эксплуатационных затрат (на 1 ячейку)

| Затраты                                                                                                                                                                                                      | Масляный<br>выключатель                                                                                     | Вакуумный<br>выключатель | Экономия |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|----------|
| Замена масла<br><br>(1 раз/год), руб.                                                                                                                                                                        | 4000                                                                                                        | 0                        | 4000     |
| Продолжение таблицы Таблица 4.2                                                                                                                                                                              |                                                                                                             |                          |          |
| Заработная плата<br>электромонтёра 4<br>разряда<br><br>с премиальными<br>выплатами,<br>дополнительной<br>заработной<br>платой,<br>районным<br>коэффициентом,<br>отчислениями на<br>социальное<br>страхование | $ЗП = Тс \cdot (1 + K_{пр}) \cdot (1 + K_{доп}) \cdot (1 + K_{ур}) \cdot (1 + K_{стр}) \cdot T_p$<br>=5 144 | 1286                     | 3858     |
| ТО<br>(трудоемкость),<br>чел.-час/год                                                                                                                                                                        | 8                                                                                                           | 2                        | 6        |
| Ремонтные<br>материалы,<br>руб./год                                                                                                                                                                          | 10000                                                                                                       | 3500                     | 6500     |
| Итого на 1 ячейку,<br>руб./год                                                                                                                                                                               | 14000                                                                                                       | 3500                     | 14358    |

Общая экономия на 38 ячейках:

$$\Delta Э_{\text{эсп}} = 38 \times 14358 = 545604 \text{ руб/год}$$

Экономия от снижения потерь электроэнергии ( $\Delta Э_{\text{пот}}$ ):

Расчет экономии от снижения потерь электроэнергии определяется по формуле:

$$\Delta \text{Эпот} = \frac{n * I_{\text{НОМ}}^2 * \Delta R * t}{1000} * T_{\text{ЭЭ}} \quad (32)$$

Где:

$n$  — количество заменяемых выключателей (шт.);

$I_{\text{НОМ}}$  — номинальный ток выключателя (А);

$\Delta R$  — разница в активном сопротивлении (старый – новый), Ом;

$t$  — количество часов в году;

1000 — перевод Вт → кВт;

$T_{\text{ЭЭ}}$  — тариф на электроэнергию для предприятия (руб./кВт·ч).

$$\Delta \text{Эпот} = \frac{38 * 152^2 * 0,00006 * 8000}{1000} * 6 = 2526 \text{руб}$$

Расход электроэнергии на собственные нужды определяется по формуле:

$$W_{\text{сн}} = (P_{\text{п}} * t_{\text{вкл}}) + (P_{\text{под}} * t_{\text{раб}}) \quad (33)$$

где:

$P_{\text{п}}$  — мощность, потребляемая электромагнитом включения (или моторным приводом при заводе пружин), кВт;

$t_{\text{вкл}}$  — суммарное время работы приводов за расчетный период, ч;

$P_{\text{под}}$  — мощность электронагревателей шкафа управления и бака выключателя (учитывается в холодное время года), кВт;

$t_{\text{раб}}$  — время работы обогрева за расчетный период, ч.

$$W_{\text{сн}} = (13200 * 0,06) + (3504 * 2880) = 10091520$$

Предотвращенный ущерб от аварийных простоев ( $\Delta \text{Э}_{\text{авар}}$ )

Статистические данные по распределительным пунктам показывает, что среднее количество аварийных отключений из-за отказов масляных

выключателей составляет 3 случая в год. Средняя длительность одного аварийного простоя — 8 часов.

Ущерб от аварийных отключений электроэнергии определяется по формуле:

$$Y = \Delta P_{\text{откл}} \times T_{\text{ав}} \times \text{Ц}_{\text{ээ}} \times k_{\text{ущ}} \quad (34)$$

где:

$\Delta P_{\text{откл}}$  — мощность отключаемых потребителей, (берём наибольшую 1600 кВт)

$T_{\text{ав}}$  — длительность аварии, ±8 часов

$\text{Ц}_{\text{ээ}}$  — тариф на электроэнергию, 6 руб./кВт·ч

$k_{\text{ущ}}$  — коэффициент косвенного ущерба (для металлургии — 8-10)

Ущерб от одной аварии:

$$1600 \times 8 \times 6 \times 8 = 614400 \text{ руб.}$$

Годовой предотвращенный ущерб:

$$\Delta \text{Э}_{\text{авар}} = 3 \times 614400 = 1843200 \text{ руб/год}$$

Суммарный годовой экономический эффект

$$\Delta \text{Э}_{\text{год}} = 545604 + 2526 + 1843200 = 2391333$$

4. Расчет показателей экономической эффективности

Срок окупаемости определяется по формуле:

$$T_{\text{ок}} = \frac{I_{\text{общ}}}{\Delta \text{Э}_{\text{год}}} \quad (35)$$

$$T_{\text{ок}} = \frac{15869370}{2391333} = 6,63 \approx 6 \text{ лет } 8 \text{ месяцев}$$

Таблица 4.3 — Выводы по экономической эффективности

|   | Показатель                              | Значение        |
|---|-----------------------------------------|-----------------|
| 1 | Капитальные вложения, тыс.руб.          | 15869           |
| 2 | Годовой экономический эффект, тыс. руб. | 2447            |
| 3 | Срок окупаемости, лет                   | 6 лет 8 месяцев |

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В данной дипломной работе рассмотрена реконструкция высоковольтных ячеек типа КСО на РП 6кВ, расположенной в ООО «ММК-ЛМЗ» г.Лысьва. Реконструкция ячеек заключается в замене масляных выключателей на новые вакуумные. Для этого были произведены соответствующие расчеты, в соответствии с которыми и были выбраны выключатели и комплект адаптации. Расценки на строительно-монтажные и пусконаладочные работы определила в соответствии с действующими сметными нормами и правилами. При расчете варианта реконструкции учла также и проведение работ по «перемонтажу» и проверке установленного в КСО оборудования, не подлежащего реконструкции. Расчет показателей экономической эффективности показывает, что проект реконструкции является выгодным и окупаемым. Проанализированы вопросы экологии на предприятии.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

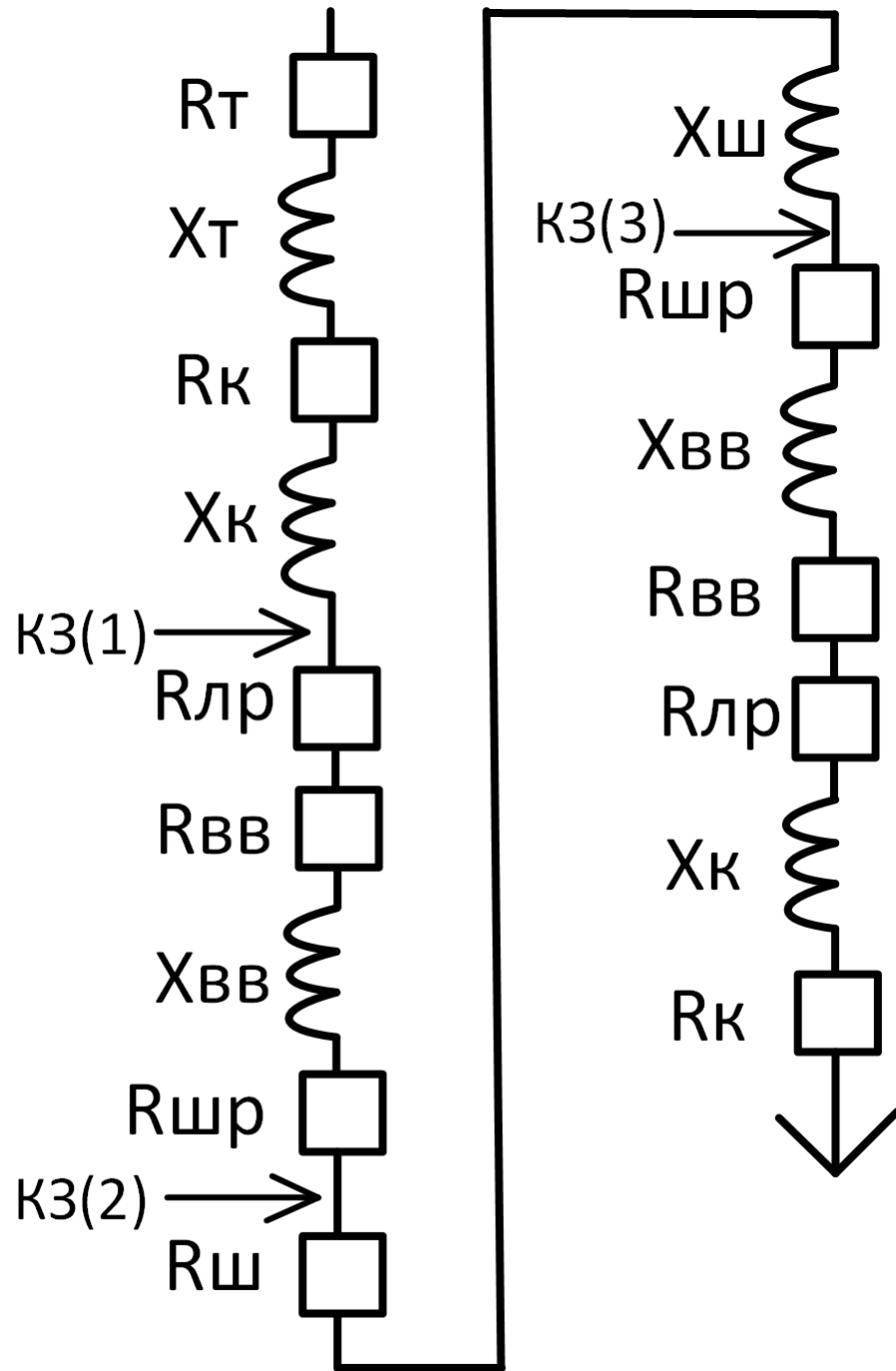
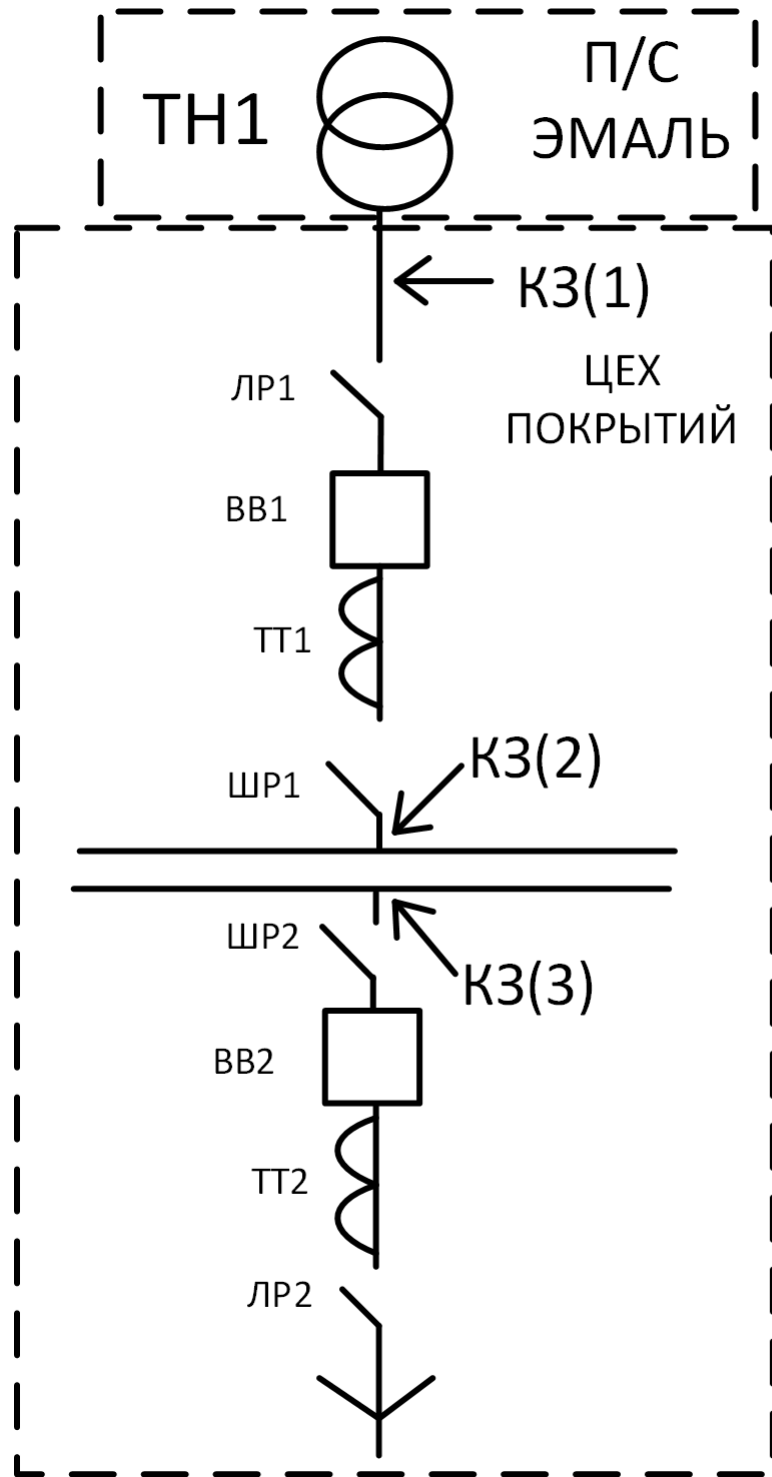
1. РУКОВОДСТВО ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ Вакуумный выключатель ВВ/TEL-10. — Текст: электронный — URL: <file:///C:/Users/Пользователь/Desktop/bb-tel-manual.pdf> (дата обращения: 25.05.2026).
2. Специфика охраны труда на электрических подстанциях 35/6 кВ и выше. — Текст: электронный — URL: <https://moluch.ru/archive/310/70065?ysclid=mnhnzmfjha641592111> (дата обращения: 20.05.2026).
3. Виды средств защиты. — Текст : электронный — URL: [https://sigur-expert.pro/elektrozashita\\_sredstva?ysclid=mnnaygpwpq243094319](https://sigur-expert.pro/elektrozashita_sredstva?ysclid=mnnaygpwpq243094319) (дата обращения: 17.05.2026).
4. Выбор высоковольтного выключателя. — Текст : электронный — URL: <https://studfile.net/preview/5947128/> (дата обращения: 07.04.2026).
5. ГОСТ 12.1.019-2017. — Текст : электронный — URL: [https://www.elec.ru/viewer?url=/files/2019/04/24/gost\\_12.1.019-2017.pdf](https://www.elec.ru/viewer?url=/files/2019/04/24/gost_12.1.019-2017.pdf) (дата обращения: 10.04.2026).
6. Расчет и проектирование электрических схем. — Текст : электронный — URL: [file:///C:/Users/Пользователь/Desktop/Отчеты%20и%20договоры/Shekhovtsov\\_Kursovoe\\_proektirovanie%20\(3\).pdf](file:///C:/Users/Пользователь/Desktop/Отчеты%20и%20договоры/Shekhovtsov_Kursovoe_proektirovanie%20(3).pdf) (дата обращения: 10.06.2026).
7. Правила устройства электроустановок. Издание 7. — Текст : электронный — URL: <https://www.elec.ru/library/direction/pue.html> (дата обращения: 10.04.2026).
8. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей электрической энергии.— Текст: электронный // elec.ru: [сайт]. — URL: <https://www.elec.ru> (дата обращения: 17.05.2026).
9. Гужов, Н. П. Системы электроснабжения: учебник / Н. П. Гужов, В. Я. Ольховский, Д. А. Павлюченко. — Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2015. — 262 с. — Режим

доступа: <https://www.iprbookshop.ru/91525.html>, авторизованный. (Дата обращения: 18.04.2026г.)

10. Электрооборудование: эксплуатация и ремонт / Учредитель ООО «ИЕДЕПЕНДЕНТ МАСС МЕДИА» - Архив номеров 2018-2020 гг. (Дата обращения: 15.05.2026г.)

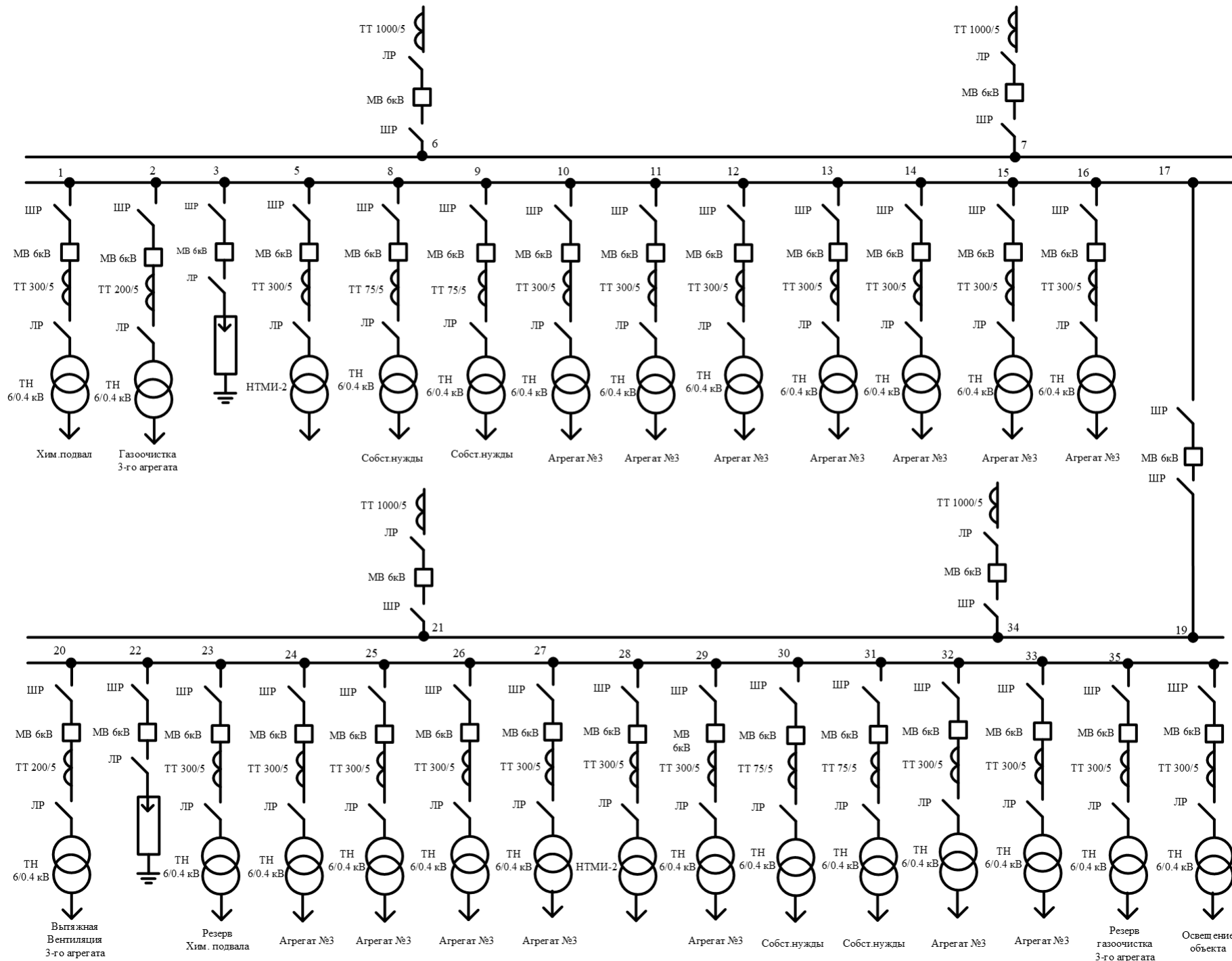
11.Суворин, А. В. Монтаж и эксплуатация электрооборудования систем электроснабжения: учебное пособие / А. В. Суворин. — Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2018. — 400 с. — Режим доступа: <https://www.iprbookshop.ru/84254.html>, авторизованный. (Дата обращения: 05.04.2026г.)

ДР 13.02.07 ЭС9-22-1сно 99 1



|                              |                  |          |       |      |                 |       |         |
|------------------------------|------------------|----------|-------|------|-----------------|-------|---------|
| ДР 13.02.07 ЭС9-22-1сно 99 1 |                  |          |       |      | Лит.            | Масса | Масштаб |
| Изм.                         | Лист             | № докум. | Подп. | Дата | Схема замещения |       |         |
| Разраб.                      | Козлов П.П.      |          |       |      |                 |       |         |
| Пров.                        | Листопадава М.В. |          |       |      |                 |       |         |
| Т.контр.                     |                  |          |       |      |                 |       |         |
| Н.контр.                     |                  |          |       |      | ЛФ ПНИПУ        |       |         |
| Утв.                         |                  |          |       |      |                 |       |         |
| Копировал                    |                  |          |       |      | Формат А3       |       |         |

ДР 13.02.07 ЭС9-22-1сно 99 2



|           |                |       |      |  |                              |  |          |         |
|-----------|----------------|-------|------|--|------------------------------|--|----------|---------|
|           |                |       |      |  | ДР 13.02.07 ЭС9-22-1сп0 99 2 |  |          |         |
| Изм./Лист | № докум.       | Подп. | Дата |  | Лит.                         |  | Масса    | Масштаб |
| Разраб.   | Козлов П.П.    |       |      |  | у                            |  |          |         |
| Пров.     | Листопадава МВ |       |      |  |                              |  |          |         |
| Т.контр.  |                |       |      |  | Лист                         |  | Листов 1 |         |
| Н.контр.  |                |       |      |  | ЛФ ПНИПУ                     |  |          |         |
| Утв.      |                |       |      |  |                              |  |          |         |