

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 «Ретрофит высоковольтных камер типа КСО в РП-1
ООО "Лысьванефтемаш"»

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

Сидоренко Егор Николаевич

Фамилия имя отчество студента

Руководитель работы: _____ \Карпукович В.В.\

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

Консультант по
охране труда _____ \Торошин А.К.\

Рецензент: _____ \ _____ \

Допуск к защите: _____ \ _____ \

Лысьва, 2026 г.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ.....	5
1.1 Описание объекта проектирования.....	5
1.3 Сравнение вариантов замены оборудования.....	14
1.4 Разбор оборудования камеры КСО, подлежащий ретрофиту.....	15
1.4.1 Высоковольтные выключатели.....	15
1.4.2 Релейная защита и автоматика (РЗА).....	19
1.5 Серии вакуумных выключателей.....	20
1.5.2 Выбор высоковольтного выключателя.....	27
1.6 Методика расчет электрических параметров выключателей.....	29
2 КОНСТРУКТОРСКАЯ ЧАСТЬ.....	33
2.1 Проверка выполнения основных условия для выбора выключателя.....	33
2.2 Расчет токов короткого замыкания.....	34
2.3 Расчет электрических параметров РЗ.....	36
3 ОХРАНА ТРУДА И ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ.....	39
3.1 Идентификация основных опасных факторов при работе с высоковольтными ячейками.....	39
3.2 Разработка мероприятий по защите персонала от случайного прикосновения к токоведущим частям.....	41
3.3 Выявление источников загрязнения.....	42
3.4 Тепловое излучение.....	43
3.5 Отходы, образующиеся при обслуживании масляных выключателей.....	44
4 ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	45
4.1 Расчет масляных выключателей.....	45

4.2 Расчет для вакуумных выключателей.....	48
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	51
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	52
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	54
ПРИЛОЖЕНИЕ В.....	58
ПРИЛОЖЕНИЕ Г.....	59
ПРИЛОЖЕНИЕ Д.....	60

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире, в условиях постоянного развития технологий, обновление электротехнического оборудования это необходимый процесс, который позволяет предприятиям, благодаря внедрению современных технологий, повышать свой уровень производительности и надежности электрических распределительных сетей. Немаловажной частью этих сетей являются камеры сборные одностороннего обслуживания (КСО), которые позволяют обеспечивать надежную передачу и точный учет электрической энергии. Несмотря на все достоинства и возможности оборудования, которое и составляет КСО, оборудование старого образца не всегда может соответствовать современным требованиям, а с учетом стремительного развития технологий, а в будущем старое оборудование может и вовсе перестать соответствовать минимальным требованиям. Помимо проблемы устаревшего оборудования, так же существует проблема остановки работы предприятия, из-за приостановки электроснабжения, в связи заменой старого оборудования. В связи с этой проблемой, актуальной задачей становится поиск способа, подходящего для модернизации существующих ячеек КСО с целью повышения их эксплуатационных характеристик и продления срока службы оборудования.

В связи с выявленной проблемой была поставлена цель и задачи для ее решения.

Цель: выполнить проект, позволяющий заменить устаревшее электрическое оборудование РП-1 с истекшим сроком эксплуатации.

Задачи:

- 1) Определить номенклатуру оборудования, подлежащего замене
- 2) Выполнить подбор оборудования на замену
- 3) Разобрать проблемы охраны труда и производственной экологии
- 4) Выполнить расчет экономического обоснования ретрофита высоковольтных камер КСО
- 5) Сделать выводы.

1 ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ

1.1 Описание объекта проектирования

ООО «ПК «Борец» – одна из крупнейших компаний нефтяного машиностроения, специализирующаяся на разработке, производстве и сервисном обслуживании оборудования для механизированной добычи нефти и поддержания пластового давления.

70 лет назад, в 1952 году, ООО «ПК «Борец» первым из отечественных предприятий освоил серийное производство электроцентробежных насосов (ЭЦН) для добычи нефти и сегодня является мировым лидером в этом сегменте рынка, выпуская ежегодно более 12 тысяч ЭЦН.

Современные предприятия полного цикла Группы ООО «ПК «Борец» применяют передовые технологии, передовое технологическое оборудование и инновационные конструкторские решения для выпуска всех основных компонентов установок для добычи нефти: ЭЦН, ЭВН, погружных электродвигателей, гидрозащит, газосепараторов, систем погружной телеметрии, станций управления и высокотемпературного погружного кабеля.

Отвечая на современные запросы заказчиков – крупнейших нефтяных компаний страны – ООО «ПК «Борец» предлагает передовые решения для повышения эффективности добычи на осложненном фонде, включая скважины с нестабильным притоком, высокой вязкостью нефти, высоким содержанием механических примесей и газа, а также решения для борьбы с коррозией и солеотложением.

Крупнейшая в России сеть специализированных сервисных объектов и мобильных бригад компании, работающих во всех нефтедобывающих регионах страны, осуществляет полный комплекс квалифицированных услуг по подбору, обслуживанию и ремонту промышленного оборудования.

Более 5,5 тысяч сотрудников ООО «ПК «Борец» помогают нашим клиентам увеличивать добычу нефти в любых, даже самых сложных условиях, и эффективно снижать свои эксплуатационные

расходы. Лысьвенский завод нефтяного машиностроения (ООО «Лысьванефтемаш») – современное машиностроительное предприятие, выпускающее погружное оборудование для добычи нефти. Основан в 2006 году. (Схема электроснабжения предприятия представлена в приложение А.)

В номенклатуре продукции завода – вентильные и асинхронные электродвигатели, гидрозащиты (протекторы) и погружные блоки системы телеметрии.

В структуру завода входят следующие производственные цеха и участки:

1. заготовительный;
2. механической обработки;
3. сборки;
4. испытаний;
5. производства теплостойких обмоточных проводов.

Высокое качество изготавливаемой продукции обеспечивается оснащённостью завода современным станочным парком и применением лучших мировых производственных технологий.

Для изготовления пластин статоров применяются высокоскоростные автоматические прессы AIDA и штампы для прессов Kuroda, Metra, а также штампы лучших российских производителей.

Механообработка роторов выполняется с использованием токарно-револьверных центров с ЧПУ и вертикальных фрезерных центров с ЧПУ HAAS.

Для обработки корпусных деталей гидрозащит применяются вертикальные фрезерные обрабатывающие центры EMAG.

Механообработка концевых деталей электродвигателей осуществляется на токарных и фрезерных станках с ЧПУ HAAS.

Цех производства теплостойких обмоточных проводов имеет четыре линии для изготовления проводов и одну экструзионную линию для изготовления трубки из фторопласта FEP.

Завод оснащен современными закалочными и отпускными печами, применяемыми для термообработки деталей, и оборудованием для нанесения металлизированного коррозионностойкого покрытия наружных поверхностей изделий электродуговым способом.

Электродвигатели и гидрозащиты отправляются заказчикам только после успешного прохождения приёмо-сдаточных испытаний на специальных стендах.

Все закупаемые материалы и комплектующие проходят входной контроль и испытания в независимых лабораториях. Изделия и комплектующие собственного производства контролируются на каждом этапе изготовления.

Внедрённая на заводе система менеджмента качества (СМК) обеспечивает соответствие процессов разработки и производства погружных электродвигателей и гидрозащит требованиям стандарта ГОСТ Р ИСО 9001 (ISO 9001). Предприятие также прошло сертификацию на соответствие международным стандартам ISO 14001 «Системы экологического менеджмента» и ISO 45001 «Системы менеджмента охраны здоровья и безопасности труда».

Объект моего исследования — распределительный пункт (РП–1) напряжением 6 кВ представляет собой однолинейную схему с одной системой сборных шин, разделённой на две секции секционным выключателем.

Конструктивно РП–1 выполнен на основе высоковольтных камер одностороннего обслуживания (КСО), в количестве 26 ячеек. В качестве коммутационной аппаратуры использованы масляные выключатели типа ВМП-10 и ВМПЭ-10.

Дальше приведена таблица ячеек на РП–1 и их назначение.

Таблица №1.1.1 — Назначение камер КСО в РП – 1:

№ Ячейки	Назначение линии
Первая секция шин	
1	Резерв
2	КЛ ТП-2 ООО «Лысьваннефтемаш»
3	КЛ ТП-1 ООО «Лысьваннефтемаш»
4	КЛ ввод 1 с яч. 74 ПС Генератор 220/6 кВ
5	КЛ ТП-6 ООО «Лысьваннефтемаш»
6	Резерв
7	КЛ ТП-4 ООО «Лысьваннефтемаш»
8	КЛ ИС ЭД ввод 2 ООО «Лысьваннефтемаш»
9	КЛ ИС ЭД ввод 1 ООО «Лысьваннефтемаш»
10	Резерв
11	КЛ ввод 1 с яч. 17 ПС Лысьва-1 110/35/6 кВ
12	Трансформатор напряжения НТМИ-6 6000/100
13	Резерв
14	Секционный масляный выключатель (СМВ)
Вторая секция шин	
15	Трансформатор напряжения НТМИ-6 6000/100
16	КЛ ввод 2 с яч. 5 ПС Лысьва-1 110/35/6 кВ
17	Резерв
18	Резерв
19	Резерв
20	Резерв
21	Резерв
22	КЛ ввод 1 с яч. 61 ПС Генератор 220/6 кВ
23	Резерв
24	КЛ ТП 24 ООО «Электротяжмаш-Привод»
25	КЛ ТП 8 ООО «Электротяжмаш-Привод»
26	КЛ РП-4 ООО «Лысьваннефтемаш»

Необходимость ретрофита распределительного пункта РП – 1 вызвана физическим и моральным устареванием имеющегося оборудования. Камеры КСО с масляными выключателями (ВМП-10 и ВМПЭ-10) достигли предела ресурса по количеству переключений и механическим воздействиям, а также не обеспечивают необходимого уровня надежности электроснабжения и безопасной эксплуатации.

Установленное электрооборудование не соответствует современным стандартам экологической безопасности, эффективности энергопотребления и степени защиты. Некоторые резервные ячейки простаивают и никак не используются, что является не эффективным использованием пространства.

Предполагается, что технология реконструкции комплектного распределительного пункта (РП – 1) будет представлять собой постепенную частичную замену старого оборудования камер сборных одностороннего обслуживания (КСО), в количестве 26 штук с масляными выключателями ВМП, с последующей установкой нового оборудования с обязательным применением новых выключателей.

Современным производствам необходимо надежное и эффективное электрооборудование для обеспечения непрерывной работы и качественного распределения электроэнергии. Распределительные пункты набираются из отдельных камер со встроенными в них электрическими аппаратами приборами измерения, релейной защиты, автоматики, сигнализации и управления.

В ходе исследовательского раздела я должен выяснить, что представляют собой данные виды камер, в чём их различия, какими достоинствами и недостатками обладают, разберу перечень оборудования которое подлежит ретрофиту, сделаю сравнение старого оборудования с новым. В конце раздела я сделаю вывод о выполненной работе.

1.2 Камера сборная одностороннего обслуживания (КСО)

КСО — это камера сборная одностороннего обслуживания. Она предназначена для приема, передачи и распределения электроэнергии трехфазного переменного тока напряжением 10(6) кВ и частотой 50 Гц в электрических сетях с заземленной или изолированной нейтралью. КСО может быть укомплектована различными устройствами, такими как выключатели нагрузки, вакуумные выключатели, разъединители, системы релейной и дуговой защиты и другими устройствами.

Предназначено для приёма и распределения электроэнергии трёхфазного переменного тока частотой 50 Гц напряжением 6 или 10 кВ в сетях с изолированной или заземлённой нейтралью.

Элементы камеры КСО:

Предохранители; Аппарат необходимый для защиты оборудования от короткого замыкания. При больших токах внутри предохранителя плавится плавкая вставка, тем самым разрывая электрическую цепь.

Приборы измерений и учета электрической энергии. Нужны для подсчетов потребленной электрической энергии и измерения электрических параметров;

Шинный разъединитель — это устройство, которое соединяет шинопровод с высоковольтным выключателем. Отключаются только в момент отсутствия напряжения, служат для создания видимого разрыва.

Высоковольтный выключатель — это аппарат, который служит для включения и отключения под нагрузкой и защитного отключения в случае короткого замыкания, бывает различных типов, в зависимости от изоляционного вещества, находящегося внутри его дугогасящей камеры.

Трансформатор тока — это аппарат, предназначенный для трансформации больших токов, протекающих в силовых цепях, в удобные для измерения значения (обычно 5 ампер). Это необходимо для работы измерительных приборов и релейной защиты, потому что они не могут работать с большими токами напрямую.

Линейные разъединители — это устройство, которое соединяет высоковольтный выключатель с кабельной линией, ведущей к потребителю. Отключаются только в момент отсутствия напряжения, служат для создания видимого разрыва.

Элементы релейной защиты и автоматики — устройства необходимые для автоматического отключения выключателя в аварийных ситуациях.

Достоинства камер КСО:

Компактность — они занимают меньше места по сравнению с традиционными распределительными устройствами, что особенно важно для городских и промышленных объектов;

Надежность — высокая степень защиты от коротких замыканий и перегрузок, что снижает риск аварийных ситуаций;

Удобство обслуживания — возможность быстрого доступа к основным элементам для диагностики состояния оборудования;

Современные технологии в области КСО включают автоматизированные системы управления, удаленный мониторинг параметров сети и интеллектуальные системы защиты, позволяющие повысить эффективность эксплуатации оборудования.

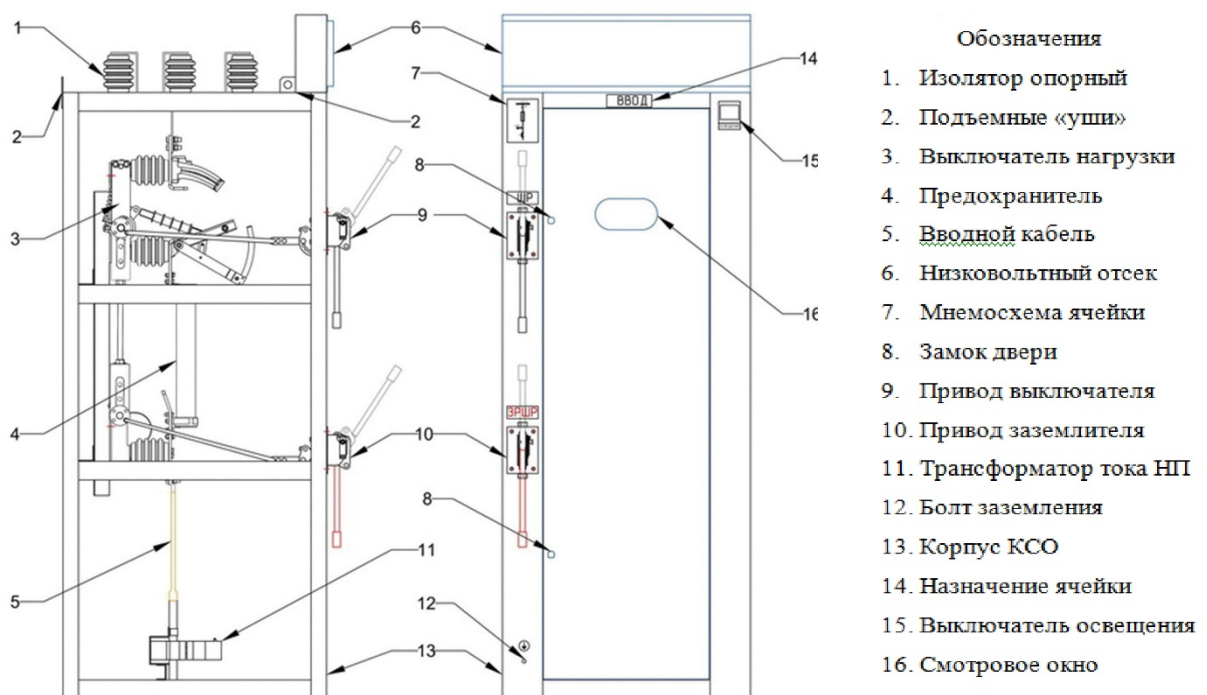


Рисунок 1.2.1 — Элементы высоковольтной камеры КСО

Недостатки камер КСО

Опасность поражения током при открытом расположении шинпровода;

Увеличения количества коммутационных приборов за счет шинных и линейного разъединителей;

Усложнение ремонта. В отличие от комплектных распределительных устройств (КРУ), где можно отвезти выкатную тележку на ремонт, в КСО придется делать демонтаж и ремонтировать на месте или увозить в мастерскую. Далее приведена таблица характеристик камер КСО:

Таблица 1.2.1 — Основные параметры и характеристики шкафов КСО

№	Наименование параметра	значение
1	Номинальное напряжение, кВ	6(10)
2	Наибольшее рабочее напряжение, кВ	12
3	Номинальный ток, А - главных цепей шкафов КСО - сборных шин	400; 630; 800; 1000 400; 630; 800; 1000; 1250
4	Номинальный ток трансформаторов тока, А	100; 200; 300; 400; 500; 600; 800; 1000
5	Номинальный ток отключения силового выключателя, кА	16; 20; 25; 31,5
6	Ток термической стойкости, кА	16; 20; 25; 31,5
7	Длительность протекания тока термической стойкости, с: - главных токоведущих цепей - цепей заземления	3 1
8	Ток электродинамической стойкости, кА	41; 51; 63; 81
9	Номинальные напряжения вспомогательных цепей, В: - при постоянном токе - при переменном токе - цепей освещения	110; 220 110; 220 36

Продолжение таблицы 1.2.1

10	Нормы испытаний изоляции главных токоведущих цепей одноминутным напряжением между фазами, относительно земли и между контактами силового выключателя частоты 50 Гц, кВ: - на заводе изготовителе 6 кВ / 10 кВ - перед вводом в эксплуатацию и в эксплуатации 6 кВ / 10 кВ Для электрооборудования с нормальной изоляцией (уровень изоляции (б) по ГОСТ Р 55195-2012).	28 / 38 25,2 / 34,2
11	Нормы испытаний изоляции главных токоведущих цепей напряжением грозового импульса 1,2/50 мкс, кВ: - между фазами и относительно земли - между контактами силового выключателя	125 125
12	Норма испытания изоляции цепей управления и вспомогательных цепей одноминутным напряжением частоты 50 Гц, кВ	2
13	Электрическое сопротивление изоляции, МОм, не менее: - главных цепей - вторичных цепей	3000 1
14	Ресурс по коммутационной стойкости вакуумного выключателя: - при номинальном токе, «ВО» - при номинальном токе отключения, «О» - при номинальном токе отключения, «ВО»	3000 50 25
15	Ресурс по механической прочности и стойкости: - количество операций В и О заземлителей - количество операций В и О разъединителей	2000 2000

Продолжение таблицы 1.2.1

16	Открывание и закрывание дверей шкафов КСО	2000
17	Срок службы до списания, лет, не менее	30
18	Степень защиты по ГОСТ 14254	IP20
19	Температурный диапазон	От –10...–25 °С до +40...+55 °С, климат УЗ/ТЗ

1.3 Сравнение вариантов замены оборудования

В таблицу 1.3.1 были занесены варианты замены оборудования для сравнения. Сравниваться будут: ретрофит, модернизация и полная замена.

Таблица 1.3.1 — Сравнение вариантов замены оборудования

Критерий	Ретрофит	Модернизация	Полная замена
Цель	Восстановление работоспособности, повышение надёжности	Расширение функционала, повышение производительности	Полная замена старого оборудования
Масштаб изменений	Локальный (замена отдельных узлов)	Комплексный (изменение конструкции, логики работы)	Полный: демонтаж старого оборудования и установка нового с нуля
Бюджет	30–50 % стоимости нового оборудования	Близок к стоимости нового оборудования или превышает её	Высокий: 100 % и более стоимости нового оборудования (с учётом демонтажа, монтажа, настройки)
Время реализации	От нескольких часов до 2 недель	От 2 недель до нескольких месяцев	Длительное: от нескольких недель до полугода
Влияние на производство	Минимальный простой, возможна работа в технологические окна	Значительный простой, часто требует остановки линии	Максимальное: полная остановка участка
Результат	Оборудование работает как новое, но с прежним функционалом	Появляются новые возможности, растёт эффективность	Современное оборудование с максимальным набором функций, высокой производительностью и поддержкой новых технологий
Типичные случаи применения	Износ ключевых компонентов, дефицит запчастей, моральное устаревание отдельных систем	Требования рынка к качеству/скорости, выход на новые сегменты, автоматизация процессов	Критический износ оборудования, отсутствие запчастей, кардинальное изменение технологии

Рассмотрев критерии вариантов замены оборудования, можно выбрать самый подходящий вариант. Ретрофит позволяет снизить простой до минимума, при этом полностью восстановить функционал за минимальную стоимость. В связи с чем для замены старого оборудования в РП–1, будет использован ретрофит.

1.4 Разбор оборудования камеры КСО, подлежащий ретрофиту

1.4.1 Высоковольтные выключатели

Высоковольтный выключатель — коммутационный аппарат, служащий для включения и отключения цепи. В цепях 10(6) кВ существуют следующие типы высоковольтных выключателей:

Маломасляный выключатель. В дугогасящей камере залито специальное трансформаторное масло, гашение дуги в трансформаторном масле, является одним из самых мощных способов борьбы с дугой. Когда контакты размыкаются в масле, высокая температура дуги вызывает интенсивное разложение жидкости. При этом образуются газообразные продукты (в основном водород), которые обволакивают дугу, охлаждают её и способствуют деионизации. Основные типы выключателей это выключатели типа ВМГ (выключатель масляный горшковый) и ВМП (выключатель масляный подвесной).

Маломасляные выключатели перестали использовать из-за следующих самых значительных недостатков:

- Громоздкость. В конструкции выключателя используются такие материалы как металл и керамика, что существенно увеличивает вес и размер конструкции.

- Пожароопасность. Масло это горючий материал, который может воспламениться при пробое и перегреве.

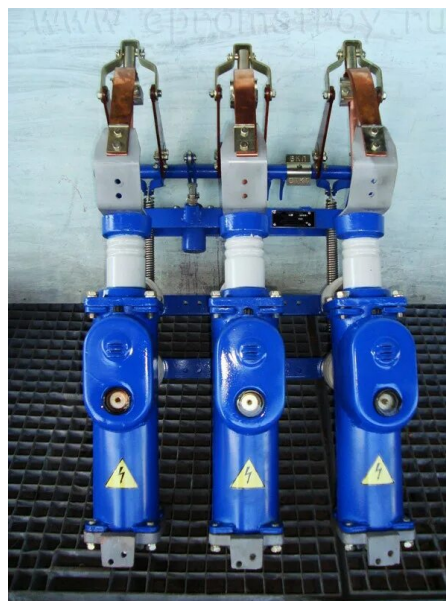
- Затраты на обслуживание. Масло необходимо регулярно заменять и правильно утилизировать, а так же чистить изоляцию от нагара.

- Загустение масла от времени и низкой температуре, что приводит к увеличению времени срабатывания.

— Экология. Велик риск утечки масла, что может привести к загрязнению окружающей среды. Масло нужно утилизировать.



а



б

Рисунок 1.4.1 — Маломасляные выключатели. *а*– типа ВМП, *б*– типа ВМГ

Вакуумный выключатель. Один из самых современных видов высоковольтных выключателей, широко используемый в электроснабжении. Благодаря глубокому вакууму внутри дугогасительной камеры, дуга быстро гаснет, так как в вакуумной среде отсутствуют ионизированные частицы, способные поддерживать ее горение. Часто используются из – за ряда достоинств:

Простота конструкции – отсутствие сложных элементов, таких как клапаны, компрессоры или дополнительные устройства;

Компактные размеры и малый вес по сравнению с другими типами выключателей высокого напряжения;

Не используются сжатый воздух, трансформаторное масло и другие легковоспламеняющиеся материалы, что значительно повышает эксплуатационную безопасность, обеспечивает взрывобезопасность, а также устраняет необходимость замены диэлектрической среды;

Короткое время срабатывания;

Быстрое восстановление изоляционных свойств в дугогасительном промежутке;

Отсутствие вредных выбросов в окружающую среду;

Абсолютная герметичность конструкции дугогасительной камеры;

Длительный срок службы – способность выполнять от 10 до 30 тысяч циклов коммутации при номинальном токе;

Отсутствие ударных нагрузок на опорные конструкции, в отличие от масляных выключателей;

Возможность создания компактных КРУ – благодаря вакуумным выключателям можно проектировать многоуровневые распределительные устройства с минимальными габаритами.

Обладает следующим рядом недостатков:

Срез тока вблизи нулевого значения, что может вызывать перенапряжения при отключении малых индуктивных токов;

Необходимость использования дополнительных защитных устройств, таких как RC-цепочки, ограничители перенапряжений (ОПН) или выключатели с электромеханической системой подавления перенапряжений.



Рисунок 1.4.2 — Вакуумный выключатель

Элегазовый выключатель. Использует элегаз (шестифтористую серу, SF₆) в качестве среды гашения электрической дуги. Элегазовый выключатель имеет следующий ряд преимуществ:

Небольшие масса и габаритные размеры конструкции элегазовых выключателей в сочетании с бесшумной работой привода;

Дуга гасится в замкнутом газовом объеме без доступа в атмосферу;

Безвредная для человека, экологически чистая, инертная газовая среда элегазового выключателя;

Работа в режиме переключения больших и малых токов без возникновения перенапряжения, что автоматически исключает наличие устройств ОПН (ограничение перенапряжения);

Высокая надежность элегазового выключателя, межремонтный период увеличен до 15 лет;

Пожаробезопасность оборудования.

Недостаткам элегазовых выключателей:

Высокую стоимость оборудования и текущие затраты на эксплуатацию, так как требования к качеству элегаза очень высоки;

Температура окружающей среды влияет на агрегатное состояние элегаза.

Коммутационный ресурс элегазового выключателя ниже, чем у аналогичного вакуумного выключателя;

Необходимы высококачественные уплотнения резервуаров и магистралей, так как элегаз очень текуч.



Рисунок 1.4.3 — Элегазовый выключатель

В таблице 1.4.1.1 будет проведено относительное сравнение типов выключателей.

Таблица 1.4.1.1 — Относительное сравнение типов выключателей

Параметр	Масляный выключатель	Элегазовый выключатель	Вакуумный выключатель
Цена при покупке	Низкая	Высокая	Высокая
Стоимость эксплуатации	Высокая	Высокая	Низкая
Пожароопасность	Высокая	Низкая	Низкая
Габариты	Высокие	Низкие	Низкие
Вес	Большой	Малый	Малый
Экологичность	Низкая	Низкая	Высокая
Простота конструкции	Высокая	Низкая	Низкая
Требования к среде эксплуатации	Малые	Высокие	Малые

На данный момент в РП-1 работают масляные выключатели, которые в ходе ретрофита предлагается заменить на вакуумные выключатели. Из типов выключателей выбор лег на вакуумные, из-за более простого и дешевого обслуживания, в отличии от элегазовых выключателей.

1.4.2 Релейная защита и автоматика (РЗА)

Релейная защита и автоматика (РЗА) — это ключевой элемент любой энергосистемы, обеспечивающий ее надежную и безаварийную работу. Без

РЗА невозможно представить функционирование современных электростанций, подстанций и линий электропередачи. Основная задача РЗА — автоматическое выявление и отключение поврежденных участков энергосистемы, а также управление ее работой в нормальных и аварийных режимах.

Основные задачи РЗА:

Защита от коротких замыканий (КЗ): Это главная и наиболее важная функция РЗА. Короткое замыкание — это опасный режим работы, который может привести к серьезным повреждениям оборудования и длительным перерывам в электроснабжении. Устройства РЗА должны мгновенно реагировать на возникновение КЗ и отключать поврежденный участок сети.

Защита от перегрузок: Длительная работа оборудования с перегрузкой может привести к его перегреву и выходу из строя. РЗА контролирует ток в цепях и при превышении допустимых значений подает сигнал на отключение или разгрузку.

Защита от замыканий на землю: Замыкание на землю — еще один вид повреждения, который может привести к опасным последствиям. РЗА обеспечивает своевременное обнаружение и отключение таких повреждений.

Автоматическое повторное включение (АПВ): Многие короткие замыкания на воздушных линиях электропередачи носят кратковременный характер. АПВ позволяет автоматически восстановить электроснабжение после успешного отключения КЗ.

Автоматический ввод резерва (АВР): В случае отключения основного источника питания АВР обеспечивает автоматическое подключение резервного, что позволяет сохранить бесперебойность электроснабжения потребителей.

1.5 Серии вакуумных выключателей

Вакуумные выключатели ВВ-ЧЭАЗ, ВВЭ-ЧЭАЗ

Описание Вакуумные выключатели ВВ-ЧЭАЗ, ВВН-ЧЭАЗ предназначены для коммутации электрических цепей при нормальных и

аварийных режимах работы в сети трехфазного переменного тока частотой 50 Гц:

- номинальным напряжением до 10 кВ включительно с изолированной нейтралью;
- номинальным напряжением до 35 кВ включительно с компенсированной, заземленной через резистор нейтралью.

Выключатели изготавливаются в стационарном исполнении и на выкатных элементах кассетного типа. Выключатели имеют трехполюсное исполнение с общим приводом, связанным механической передачей. Конструкция стационарного исполнения выключателей позволяет обеспечить их установку на выкатные тележки КРУ различных типов.

Дальше в таблице 1.5.1.1 будут приведены характеристики этих выключателей.

Таблица 1.5.1.1 — Характеристики выключателей ЧЭАЗ

Параметры	ВВ-ЧЭАЗ-2-10	ВВЭ-ЧЭАЗ-2-10
Номинальное рабочее напряжение, кВ	10	10
Номинальный ток, А	от 630 до 4000	от 630 до 3150
Количество полюсов	3	3
Номинальный ток отключения, кА	от 20 до 50	от 20 до 50
Ресурс по механической стойкости, ВО:	630-1250 А - 30 000 1600 А-25 000 4000 А-10 000	630-1650 А 30 000 2000, 2500 А-25 000 3150 А-10 000
Ресурс по коммутационной стойкости при 100% номинального тока отключения	50	30
Межфазное расстояние, мм	150, 210, 275	150, 210, 275
Время отключения (номинальное напряжение), мс	26	21

Продолжение таблицы 1.5.1.1

Время включения (номинальное напряжение), мс	45	28
Вид установки	внутренняя	внутренняя
Срок службы	30 лет	30 лет

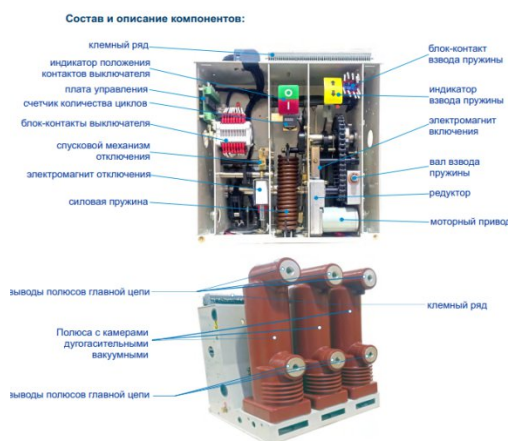


Рисунок 1.5.1.1 —Вакуумный выключатель ВВ-ЧЭАЗ, ВВЭ-ЧЭА

Вакуумные выключатели ВВЭ-10-20

Выключатель представляет собой аппарат прямого действия. Операции включения выключателя осуществляются электромагнитным приводом прямого действия за счет тягового усилия электромагнита включения. Отключение выключателя (в том числе автоматическое отключение при токах короткого замыкания или перегрузках) осуществляется за счет энергии, запасенной пружинами выключателя при включении. Гашение дуги в выключателе осуществляется вакуумными дугогасительными камерами (КДВ). Электрическая дуга, благодаря специальной форме контактов, направляется в стороны от центра, вращается по поверхности контактов, распадается и гасится при переходе тока через ноль. Благодаря высокой электрической прочности вакуумного промежутка в течение долей микросекунд между контактами восстанавливается напряжение. Выключатель состоит из трех дугогасительных полюсов, закрепленных через опорные изоляторы на корпусе привода. Каждый полюс содержит вакуумную дугогасительную камеру (КДВ), механизм дополнительного

пожатия контактов КДВ и токовыводы. Электромагнитный привод состоит из электромагнита включения, блока механических защелок, демпфирующего гидравлического устройства, электромагнита отключения и аварийных расцепителей. Электрическая схема блока питания и управления выключателем собрана на панели, закрепленной в корпусе привода.



Рисунок 1.5.1.2 — Вакуумный выключатель ВБЭ-10-20

Таблица 1.5.1.2 — Характеристики выключателя ВБЭ-10-20

Характеристики	
Номинальное напряжение , кВ	10
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	12
Номинальный ток, А	1600 (630, 1000, 1250)
Номинальный ток отключения, кА	51
Сквозной ток короткого замыкания: - ток электродинамической стойкости, кА; - ток термической стойкости, кА; - время протекания тока термической стойкости, с	51 20 3
Собственное время включения, мс, не более	100
Собственное время отключения, мс, не более	40

Продолжение таблицы 1.5.1.2

Токи потребления электромагнита включения: - при номинальном напряжении 220 В переменного и постоянного тока, А; - при номинальном напряжении 110 В постоянного тока, А	40 80
Расцепитель минимального напряжения: - номинальное напряжение; - напряжение срабатывания;	не более 100 В переменного тока от 0,35 до 0,5 номинального ток
выдержку времени срабатывания при полном снятии напряжения (в зависимости от величины подключенной емкостной батареи, входящей в состав выключателя);	0,5 с или 1 с или 2 с или 3 с или 4 с
отклонение времени срабатывания относительно среднего значения при полном снятии напряжения, с, не более;	$\pm 0,3$ с
потребление мощности при подтянутом якоре и при номинальном напряжении, ВА, не более	30
Расцепитель с питанием от независимого источника: - номинальное напряжение питания постоянного тока; - диапазон отклонений номинального напряжения; - ток потребления при номинальном напряжении	220 В; 154 - 242 В; не более 0,5 А
Масса выключателей должна быть не более: - стационарного исполнения, кг; - выкатного исполнения, кг	120 200

Вакуумные выключатели с пружинно-моторным приводом SystemePact VCB

SystemePact VCB —трехполюсные вакуумные выключатели внутренней установки предназначенные для применения в сетях трехфазного переменного тока.

Серия доступная в стационарном и выкатном исполнении, а также имеет широкий выбор номинальных параметров:

Номинальное напряжение: 10 (15 – для генераторного исполнения), 20, 35кВ

Номинальный ток: 630, 1250, 1600, 2000, 2500, 3150, 4000, 5000 А

Номинальный ток отключения: 16, 20, 25, 31.5, 40, 50 кА

Пружинно-моторный привод выключателя обладает высокой надежностью, низким энергопотреблением, обеспечивает возможность включения выключателя и не требует применения электронных блоков управления. Фиксация включенного положения выключателя происходит посредством механической защелки, на которую не влияют внешние факторы.



Рисунок 1.5.1.3 — Вакуумный выключатель SystemePact VCB

Выключатель типа ВВ/TEL

Вакуумные выключатели предназначены для коммутации электрических цепей при нормальных и аварийных режимах в сетях трехфазного переменного тока (частота 50 Гц), номинальным напряжением до 10 кВ включительно с изолированной, компенсированной, заземлённой через резистор или дугогасительный реактор нейтралью.

Таблица 1.5.1.3 — Характеристики выключателя ВВ/TEL

Параметр	Значения параметров для различных коммутационных модулей				
Серия	ISM15_LD_1	ISM15_LD_2	ISM15_Shell_1	ISM15_Shell_2	ISM15_Shell_FT2
Номинальное напряжение,кВ	10				
Наибольшее рабочее напряжение,кВ	12				
Номинальный ток,А	1000	1000	2000	1250	1600;2000; 2500
Номинальный ток отключения,кА	20	20	31,5	31,5	31,5
Ток термическойстойкости(3с),кА	20	20	31,5	31,5	31,5
ресурс покоммутационной стойкости : - Приноминальном токе отключения,	100	100	50	50	50
Срокслужбы, лет	30				



Рисунок 1.5.1.4 — Выключатель типа BB/TEL

1.5.2 Выбор высоковольтного выключателя

Чтобы выбрать самый лучший выключатель рассмотрим основные характеристики ранее рассмотренных выключателей. В таблице 1.5.2.1 будут указаны характеристики выключателей:

Таблица 1.5.2.1 — Сравнение выключателей

Выбор выключателя					
Выключатель	ВВ-ЧЭАЗ	ВВН-ЧЭАЗ	ВБЭ-10-20	SystemePact VCB	ВВ/TEL
Характеристика					
Uном, кВ	10	10	10	10	10
Uраб макс кВ	12	12	12	12	12
Iном, А	630 - 4000	630 - 3150	630-1600	630 - 5000	1000-2500
Iном откл, кА	20 -50	20 -50	40	16-50	20-31,5
I ударный, кА	51-128	51-128	51	50-125	51-80
I терм стойкость, кА	20-40	20-40	20	20-50	20-31,5
Коммутационная стойкость при Iном	50	30		30-50	50-100
Скорость откл, мс	45	28	40	30-60	от 10 до 90
Мех ресурс, тыс	30-50	30-50	25	10	30-150
Срок службы, лет	30	30	30	30	30
Цена, тыс.руб	150	150	88	385	110

Из-за большого коммутационного ресурса и быстрой скорости срабатывания будет выбран вакуумный выключатель типа ВВ/TEL.

Для ячеек с током 1000А будет выбрана модель ISM15_Shell_2 (150_L), а для остальных ISM15_LD_1

1.6 Методика расчет электрических параметров выключателей.

Высоковольтные выключатели выбираются по следующим характеристикам:

По напряжению; по току; по категории размещения; по конструктивному исполнению; по коммутационной способности.

Обязательно должны выполняться условия:

$$V_{н.в} \geq V_{н.у}; \quad (1)$$

$$I_{н.в} \geq I_{н.у}, \quad (2)$$

где $V_{н.в}$ — номинальное напряжение выключателя, кВ;

$V_{н.у}$ — номинальное напряжение установки, кВ;

$I_{н.в}$ — номинальный ток выключателя, А;

$I_{н.у}$ — номинальный ток установки, А.

Высоковольтные выключатели проверяются на выключающую способность. Для этого должно соблюдаться условие:

$$I_{н.откл} \geq I_{р.откл}; \quad (3)$$

где $I_{н.откл}$ и $I_{р.откл}$ — номинальное и расчетное значения токов отключения, кА;

Поиск расчетного тока отключения:

$$I_{р.откл} = I_{\infty}^{(3)}; \quad (4)$$

$$I_{кз} = \frac{U_{ном}}{\sqrt{3} + Z} \quad (5)$$

Где $I_{\infty}^{(3)}$ — 3-фазный ток КЗ в момент отключения выключателя, действующее значение в установившемся режиме, кА;

Z — Полное сопротивление цепи мОм;

Высоковольтные выключатели проверяются на динамическую стойкость. Для этого должно соблюдаться условие

$$i_{увыкл} \geq i_{ууст} \quad (6)$$

где $i_{увь}$ — величина электродинамического тока КЗ выключателя, кА;
 $i_{уус}$ — амплитуда ударного тока электроустановки, кА.

$$i_{ууст} = K_y \times \sqrt{2} \times I_k^{(3)}; \quad (7)$$

Где K_y — Ударный коэффициент.

Высоковольтные выключатели проверяются на термическую стойкость. Для этого должно соблюдаться условие:

$$I_{тс} \geq I_{р.тс}; \quad (8)$$

$$I_{р.тс} = I_{р.откл} \times \sqrt{\frac{t_{пр}}{t_{тс}}} = I_{р.откл} \times \sqrt{\frac{t_d}{t_{тс}}}, \quad (9)$$

где $I_{тс}$ и $I_{р.тс}$ — токи термической стойкости, кА;

$t_{пр}$ — приведенное время действия КЗ, если отключение произойдет в Зоне переходного процесса, с.

Приближенно $t_{пр} \approx t_d$; t_d — время действия КЗ фактическое, с:

$$t_d = t_{рз} + t_{ов}, \quad (10)$$

где $t_{рз}$ — время срабатывания релейной защиты, с;

$t_{ов}$ — собственное время отключения выключателя, с

1.7 Выбор устройств для релейной защиты

На других, уже отремонтированных РП этого же предприятия уже стоят новые электронные реле РС 80-МР, поэтому на РП 1 лучше всего будет поставить реле из этой же серии. Цена за одну штуку 5 000 рублей.



Рисунок 1.7.1 — Реле PC 80-MP

1.7 Методика расчет электрических параметров РЗ

Расчет параметров МТЗ:

Определяем коэффициент трансформации трансформатора тока:

$$K_T = \frac{I_{1H}}{I_{2H}} \quad (11)$$

Определяем ток срабатывания защиты:

$$I_{\text{раб.макс}} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \times U_H} \quad (12)$$

$$I_{c.з} = \frac{k_H \times k_{cзп}}{k_B} \times I_{\text{раб.макс}} \quad (13)$$

где:

$I_{c.з}$ — ток срабатывания защиты

k_H — коэффициент надежности, который на самом деле можно считать скорее коэффициентом отстройки для увеличения значения уставки; для микропроцессорных равен 1,05-1,1;

$k_{cзп}$ коэффициент самозапуска, его смысл в том, что при КЗ происходит просадка напряжения и двигатели самозапускаются. Если нет двигателей 6(10) кВ, то коэффициент принимается 1,1-1,3.

k_B - коэффициент возврата максимальных реле тока; для цифровых - 0,96, для механики - 0,65-0,9 (зависит от типа реле)

Рассчитываем токовую уставку:

$$I_{c.p} = \frac{I_{c.з} \times k_{cx}}{K_T} \quad (14)$$

Далее определяется коэффициент чувствительности:

$$K_q = 1,36$$

Определяемся с уставкой по времени, нужно определить ее для создания селективности:

$$t_2 = t_1 + \Delta t \quad (15)$$

Где:

Δt — разница во времени между срабатыванием защит t_1 и t_2

t_1 — время срабатывания защиты выключателя отходной линии

t_2 — время срабатывания защиты выключателя вводной линии

Расчет срабатывания ТО:

$$I_{ТО} = k_H \times I_{кз} \quad (16)$$

2 КОНСТРУКТОРСКАЯ ЧАСТЬ

Полный расчет необходимых параметров для выбора выключателя будет показан один раз, а параметры для остальных выключателей будут проведены по аналогии, а результаты будут указаны в ПРИЛОЖЕНИИ А, в ПРИЛОЖЕНИИ Б, ПРИЛОЖЕНИИ В, ПРИЛОЖЕНИИ Г.

Расчет будет выполнен для вводной ячейки №4 и для ячейки №1

2.1 Проверка выполнения основных условия для выбора выключателя

(результаты всех расчетов будут указаны в ПРИЛОЖЕНИИ А)

Для начала будут сравнены основные электрические параметры на проверку выполнения условий.

Условие номинального напряжения для ячеек №4 и №1:

$10\text{кВ} > 6\text{кВ}$ — условие выполняется. 10 кВ больше чем 6кВ (6,3 кВ).

Проверяем условие номинального тока для для ячеек №4 и №1 по формулам (1) и (2):

Ячейка №4:

$1250 > 1000$ — условие выполняется. 1250 А больше чем 1000А.

Ячейка №1:

$1000 > 150$ — условие выполняется. 1250 А больше чем 150А.

Далее нужно проверить выключатели на отключающую способность. Чтобы проверить это условие, нужно рассчитать токи короткого замыкания для ячеек по формуле (3):

Ячейка №4:

$20 > 1,9$ — условие выполняется. 31,5 кА больше чем 1,9 кА.

Ячейка №1:

$20 > 1,56$ — условие выполняется. 31,5 кА больше чем 1,56 кА.

Необходимо так же проверить выключатель на динамическую стойкость по формуле (6):

Ячейка №4:

$$i_{y \text{ уст}} = 1,1 \times \sqrt{2} \times 1,95 = 2,94 \text{ кА.}$$

$31,5 > 2,94$ — условие выполняется. 31,5 кА больше чем 2,94 кА.

Ячейка №1:

$$i_{y \text{ уст}} = 1,1 \times \sqrt{2} \times 1,56 = 2,41 \text{ кА.}$$

$20 > 2,41$ — условие выполняется. 31,5 кА больше чем 2,41 кА.

Далее нужно проверить выключатель на термическую стойкость по формуле (8):

$$t_d = 40 + 90 = 130 \text{ мс} = 0,13 \text{ с.}$$

Ячейка №4:

$$I_{p.тс} = 1,9 \times \sqrt{\frac{0,13}{3}} = 0,4 \text{ кА.}$$

$31,5 > 0,4$ — условие выполняется. 31,5 кА больше чем 0,4 кА.

Ячейка №1:

$$I_{p.тс} = 1,56 \times \sqrt{\frac{0,13}{3}} = 0,32 \text{ кА.}$$

$20 > 0,32$ — условие выполняется. 31,5 кА больше чем 0,4 кА.

Время взято максимальное возможное для обоих типов выключателей $t_{тс} = 3 \text{ сек.}$

2.2 Расчет токов короткого замыкания

(результаты всех расчетов будут указаны в ПРИЛОЖЕНИИ Б)

Чтобы найти токи КЗ необходимо построить схему замещения и найти сопротивления цепи. Далее на рисунке 2.2.1 будет показана схема замещения.

Сопротивления для точек КЗ — это сумма активных и индуктивных сопротивлений всех элементов до этой точки.

Сопротивление для точки КЗ 0:

$$Z_{K1} = \sqrt{R_{K1}^2 + X_{K1}^2}$$
$$Z_{K30} = Z_{K1} + Z_T$$

$$Z_{K1} = \sqrt{0,118^2 + 0,03422^2} = 0,122 \text{ мОм};$$

$$Z_{K30} = 0,122 + 0,594 = 0,716 \text{ мОм}.$$

Сопротивления для точки КЗ 1:

$$X_{K31} = X_{K1} + X_{ТТ1} + X_{МВ1} + X_{Ш};$$

$$X_{K31} = 0,118 + 0,2 + 0,04 + 0,24 = 0,598 \text{ мОм};$$

$$R_{K31} = R_{K1} + R_{ТТ1} + R_{Лр1} + R_{МВ1} + R_{Шр1} + R_{Ш};$$

$$R_{K31} = 0,034 + 0,2 + 0,08 + 0,04 + 0,08 + 0,51 = 0,94 \text{ мОм};$$

$$Z_{K31} = \sqrt{R_{K31}^2 + X_{K31}^2} + Z_{Т}.$$

$Z_{Т}$ — полное сопротивление питающего трансформатор, значение которого будет взято из паспортных данных.

$$Z_{K31} = \sqrt{0,598^2 + 0,94^2} + 0,594 = 1,77 \text{ мОм}.$$

Сопротивления для точки КЗ 2:

$$X_{K32} = X_{K31} + X_{МВ2} + X_{ТТ2} + X_{K2};$$

$$X_{K32} = 0,598 + 0,04 + 0,3 + 0,05 = 0,943 \text{ мОм};$$

$$R_{K32} = R_{K31} + R_{Шр2} + R_{МВ2} + R_{ТТ2} + R_{Лр2} + R_{K2}.$$

Значение сопротивлений $R_{Шр2}$ и $R_{Лр2}$ настолько малы стоит приравнять их к нулю.

$$R_{K32} = 0,94 + 0,4 + 0,33 + 0,43 = 2,1 \text{ мОм};$$

$$Z_{K32} = \sqrt{X_{K32}^2 + R_{K32}^2};$$

$$Z_{K32} = \sqrt{0,938^2 + 2,1^2} = 2,21 \text{ мОм};$$

Рассчитаем токи КЗ:

$$I_{K3} = \frac{U_H}{\sqrt{3} \times Z_{K3}};$$

$$I_{K30} = \frac{6,3}{\sqrt{3} \times 0,716} = 5,07 \text{ кА};$$

$$I_{K31} = \frac{6,3}{\sqrt{3} \times 1,77} = 1,95 \text{ кА};$$

$$I_{K32} = \frac{6,3}{\sqrt{3} \times 2,21} = 1,56 \text{ кА}.$$

Рассчитав токи трехфазного короткого замыкания можно вернуться к проверки основных условий, необходимых для выбора выключателя, и подставить получившиеся значения в расчеты и сравнения.

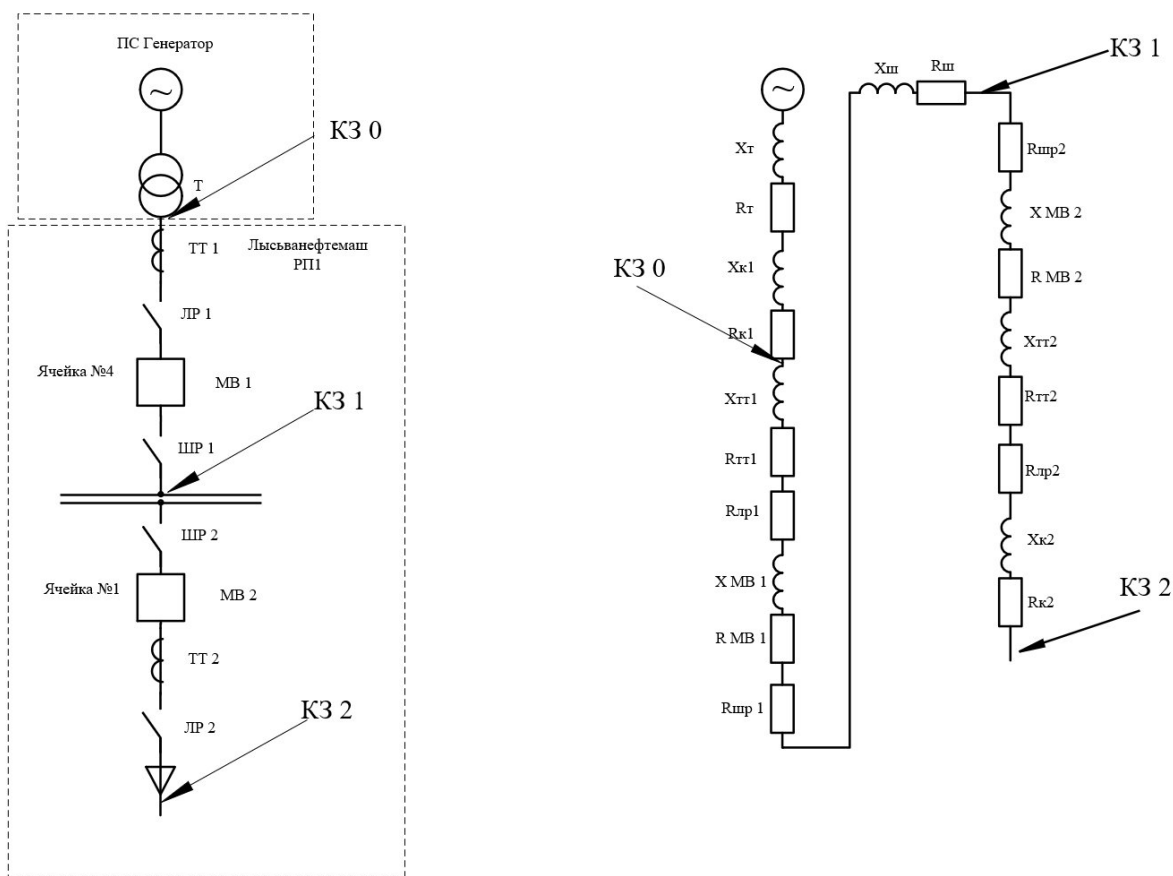


Рисунок 2.2.1 — Схема замещения

2.3 Расчет электрических параметров РЗ

(результаты всех расчетов будут указаны в ПРИЛОЖЕНИИ В)

Определяем коэффициент трансформации трансформатора тока по формуле (11):

Для ячейки №4:

$$K_T = \frac{1000}{5} = 200;$$

Для ячейки №1

$$K_T = \frac{150}{5} = 30.$$

Определяем уставку срабатывания по току:

Коэффициенты для расчетов были взяты из справочных материалов:

$$K_H = 1,05$$

$$K_B = 0,85$$

$$K_{сх} = 2$$

Определяем ток срабатывания защиты максимальный рабочий ток по формулам (12) и (13):

Для ячейки №4:

$$I_{\text{раб.макс}} = \frac{10392}{\sqrt{3} \times 6} = 1001,185 \text{ A};$$

$$I_{с.з} = \frac{1,05 \times 1,1}{0,85} \times 1001,185 = 1360 \text{ A}.$$

Для ячейки №1

$$I_{\text{раб.макс}} = \frac{1558,8}{\sqrt{3} \times 6} = 151,17 \text{ A};$$

$$I_{с.з} = \frac{1,05 \times 1,1}{0,85} \times 151,17 = 204 \text{ A}.$$

Рассчитываем токовую уставку по формуле (14):

Для ячейки №4:

$$I_{с.р} = \frac{1360 \times 1,2}{200} = 8 \text{ A}.$$

Для ячейки №1

$$I_{с.р} = \frac{204 \times 1,2}{30} = 7,5 \text{ A}.$$

Определяемся с уставкой по времени, нужно определить ее для создания селективности по формуле (15):

$$t_2 = 1,3 + 0,3 = 1,6 \text{ с}.$$

Где:

t_1 — время срабатывания защиты выключателя отходной линии = t_d

Расчет параметров ТО выполняем по формуле (16):

Для ячейки №4:

$$I_{TO} = 1,1 \times 1,948 = 2,14 \text{ кА}$$

Для ячейки №1:

$$I_{TO} = 1,1 \times 1,56 = 1,7 \text{ кА}$$

3 ОХРАНА ТРУДА И ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ

3.1 Идентификация основных опасных факторов при работе с высоковольтными ячейками

— Поражение электрическим током — наиболее серьезный фактор. Высокое напряжение может вызвать фибрилляцию сердца, ожоги внутренних органов и смерть даже без прямого контакта (через электрическую дугу или шаговое напряжение).

Электрическая дуга — вызывает тяжелые термические ожоги (температура дуги может превышать 10 000 °С), воспламенение одежды, а также ослепление ультрафиолетовым излучением и травмы от разлетающихся капель расплавленного металла.

Шаговое напряжение — это электрическое напряжение, обусловленное током, протекающим в земле или токопроводящем полу, которое равно разности потенциалов между двумя точками на поверхности земли (пола), находящимися на расстоянии одного шага человека (около 1 м).

— Ошибки при переключениях (человеческий фактор) — неправильное включение разъединителей под нагрузкой или заземляющих ножей на неподготовленную ячейку может привести к КЗ. Ошибочная подача напряжения — из-за нескоординированных действий персонала, неисправности блокировок или неправильных переключений на удаленном источнике.

— Остаточный заряд — конденсаторы, длинные кабельные линии и даже отключенные сборные шины могут сохранять опасный заряд, который не исчезает сразу после отключения питания.

Для минимизации рисков обязательны наряды-допуски, проверка отсутствия напряжения указателем высокого напряжения, установка переносных заземлений, применение диэлектрических средств защиты и строгое соблюдение правил безопасности.

— Электромагнитное поле (ЭМП). Электромагнитные поля является одним из негативных эксплуатационных факторов, действующих на

персонал, обслуживающий электроустановки. Основные негативные эффекты для человека (при длительном превышении ПДУ):

1. нарушения нервной системы (астения, головные боли);
2. изменения сердечного ритма и артериального давления;
3. влияние на эндокринную и иммунную системы;
4. повышенная утомляемость.

Регламентация электромагнитных полей промышленной частоты осуществляется раздельно для электрической и магнитной составляющих без учета того, что в большинстве случаев ЭМП действует на человека совместно. Источниками электромагнитных полей в распределительных пунктах являются: токоведущие шины, высоковольтные кабельные вводы и силовые кабели, коммутационные аппараты (рубильники, автоматические выключатели), вторичные цепи релейной защиты и автоматики, электромагнитные приводы выключателей.

— Недостаточная освещённость в рабочей зоне это серьёзная проблема, которая негативно влияет на здоровье работников, производительность труда, безопасность и качество работы. Последствия недостаточной освещённости:

1. Зрительный дискомфорт. Ощущение неудобства или напряжения, отвлечение внимания, уменьшение сосредоточенности.

2. Утомление глаз и общее утомление. Длительная работа в таких условиях может привести к снижению работоспособности, развитию близорукости.

3. Снижение производительности и качества труда. Ошибки в работе, увеличение брака, замедление движений и ухудшение скорости реакции.

4. Повышенный риск травм. Недостаточная освещённость затрудняет визуальное восприятие окружающей обстановки, что увеличивает вероятность столкновений и травм, особенно при работе с опасным оборудованием.

5. Психологические эффекты. Апатия, сонливость, чувство тревоги, повышение уровня стресса и нервозности.

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

Для защиты персонала от случайного прикосновения к токоведущим частям разрабатывается комплекс организационных и технических мероприятий, согласно правилам охраны труда (в РФ — ПОТЭУ, Правила устройства электроустановок).

1. Организационные мероприятия (допуск к работе):
 - Назначение ответственных: лицо, выдающее наряд/распоряжение, ответственный руководитель, производитель работ, наблюдающий.
 - Оформление наряда-допуска или распоряжения для работ вблизи или на токоведущих частях.
 - Проведение целевого инструктажа перед началом работ.
 - Допуск к самостоятельной работе только обученного персонала с группой электробезопасности (не ниже II–III).
2. Технические мероприятия (обеспечение недоступности):
 - Ограждения: установка стационарных, переносных ограждений (щиты, клетки, барьеры) на безопасном расстоянии от токоведущих частей.
 - Блокировки: механические, электрические (например, блокировка дверей РУ с разъединителем).
 - Предупредительная сигнализация и плакаты («Стой! Напряжение», «Не влезай — убьет»).
3. Защита при работах под напряжением:
 - Использование основных и дополнительных электрозащитных средств: изолирующие штанги, клещи, инструмент с изолированными рукоятками (испытано, сроки испытаний соблюдены), диэлектрические перчатки, галоши, ковры, изолирующие подставки, защитные каски.

Контроль и профилактика:

— Периодический осмотр состояния изоляции проводов, ограждений, заземления.

— Проверка отсутствия напряжения перед началом работ указателем напряжения.

— Назначение приказами лиц, ответственных за электрохозяйство, и проведение внеочередных инструктажей после аварий.

Важно: все мероприятия должны быть отражены в инструкциях по охране труда на каждом рабочем месте, а персонал обеспечен средствами защиты по установленным нормам.

3.3 Выявление источников загрязнения

На данный момент РП1 оборудован старыми масляными выключателями типа ВМП-10, в связи с чем основным источником загрязнения является трансформаторное масло, которым и заправляют масляные выключатели.

— Утечки трансформаторного масла

В процессе работы выключателя, могут происходить утечки масла. Утечки могут возникать из-за износа уплотнений, трещин в сварных швах, проблем с радиаторами или другими элементами конструкции. Для обнаружения утечек проводят визуальный осмотр оборудования, проверяют состояние сварных швов, уплотнений и других потенциально уязвимых мест. Также могут использоваться системы мониторинга в режиме реального времени, которые отслеживают изменения давления, температуры или уровня масла.

— Выделение газов при гашении электрической дуги

В масляных выключателях гашение дуги происходит в среде минерального масла. При горении дуги происходит разложение масла с выделением газов. Основным газом является водород. В газовой смеси продуктов разложения масла количество водорода составляет примерно 70%.

Водород имеет высокую охлаждающую способность, что снижает температуру дуги, т.е. уменьшает термическую ионизацию.

Загрязнение окружающей среды нефтепродуктами. Трансформаторное масло — нефтепродукт, который при разрушении бака выключателя (например, в результате взрыва или аварии) может разливаться на территорию подстанции, попадать в почву и водоёмы.

Выделение токсичных продуктов. При горении и разложении масла могут образовываться вредные вещества, которые загрязняют воздух. Это особенно актуально при аварийных ситуациях, когда происходит выброс газов или паров масла.

Снижение электрической прочности масла. Образование пузырьков газа в масле снижает его электрическую прочность на 20–50%. Это может привести к снижению изоляционных характеристик конструкции, особенно при отключениях токов короткого замыкания.

Образование взрывоопасных смесей. Некоторые газы, выделяющиеся при работе масляного выключателя (например, водород), могут образовывать с воздухом горючие и взрывоопасные смеси. Это повышает риск аварий, особенно при нарушении герметичности бака или при срабатывании защиты под большим током.

3.4 Тепловое излучение

Разряд на контактах выключателя. При коммутации происходит концентрированное выделение тепловой энергии. На катоде выделяется энергия, подводимая заряженными ионами, и часть энергии электронов. К аноду в основном подводится энергия электронов.

Тепловые процессы в дугогасительных системах. При возникновении дуги между размыкающимися контактами образуется парогазовая среда из продуктов разложения масла (водорода, ацетилен, метана и других примесей). Высокая теплоотводящая способность водорода обеспечивает эффективное гашение дуги, но в процессе разложения масла также образуются углеродистые соединения, пары материала контактов и продукты

разложения изоляционных элементов, которые могут снижать эффективность дугогашения.

3.5 Отходы, образующиеся при обслуживании масляных выключателей.

Отработанное трансформаторное масло. В процессе эксплуатации масло теряет свои рабочие свойства: увеличивается его кислотное число, уменьшается антикоррозионная защита, накапливаются соединения серы, металлические мыла и другие посторонние включения (частицы деталей, элементы кабельной оплётки и т. д.). Такое масло нельзя сливать в канализацию, водоёмы или почву — это незаконно и опасно из-за токсичности и способности к воспламенению. Отработанное масло должно собираться и передаваться в специализированные компании, имеющие лицензию на его переработку или утилизацию в соответствии с экологическими стандартами.

Отходы, связанные с ремонтом и обслуживанием компонентов выключателя. К ним могут относиться повреждённые детали изолирующих частей (например, фарфоровые или изоляционные тяги), элементы приводов, передаточных механизмов, резиновые уплотнители.

Сопутствующие эксплуатационные отходы

Сюда относится все, что контактировало с маслом в процессе обслуживания:

1. Обтирочная ветошь: если промасленные тряпки хранить навалом, они могут самовозгораться. Класс опасности зависит от содержания масла, но чаще всего это 4-й класс.
2. Замасленный грунт/гравий: под выключателями часто устраивают гравийную засыпку.
3. Отработанные СИЗ: перчатки и спецодежда со следами масел

4 ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

4.1 Расчет масляных выключателей

Ретрофит масляных выключателей на вакуумные на РП1 позволит снизить потери электроэнергии и повысить надежность электроснабжения производственных и сельскохозяйственных потребителей. Экономическая эффективность замены масляных выключателей на вакуумные определяется по следующим показателям:

- капитальные вложения;
- годовая экономия;
- годовой экономический эффект;
- срок окупаемости.

Расчет для масляных выключателей

Капитальные вложения (КВ) определяем по формуле:

$$КВ = C + T + M, \quad (17)$$

где C — стоимость приобретения масляных выключателей, тыс. руб.;

T — расходу на доставку, тыс. руб.;)

M — затраты на монтаж и пуско-наладочные работы, тыс. руб.

Цена (P) на один масляный выключатель составляет 80,0 тыс. руб., их согласно схемы подстанции 24 штук соответственно стоимость на приобретение масляных выключателей будет:

$$C = P * N, \quad (18)$$

где P — цена одного масляного выключателя, тыс. руб.;

N — число выключателей на подстанции, шт.

$$C = 80 * 24 = 1920 \text{ тыс. руб.}$$

Расходы на доставку составляют 12% от стоимости оборудования:

$$T = C * 0,12, \quad (19)$$

$$T = 1920 * 0,12 = 230,6 \text{ тыс.руб.} \approx 231 \text{ тыс. руб.}$$

Затраты на монтаж (M) и пуско—наладочные работы с учетом сложности составляют 40% от стоимости оборудования:

$$M = C * 0,4, \quad (20)$$

$$M = 1920 * 0,4 = 786 \text{ тыс. руб.}$$

По формуле (17) определяем капитальные вложения:

$$KB = 1920 + 231 + 786 = 2937 \text{ тыс. руб.}$$

Рассчитываем годовой фонд заработной платы:

$$ЗП = ТФ * К_{доп.} * K_{пр} * K_{ур}. \quad (21)$$

где ТФ — тарифный фонд заработной платы, тыс. руб.

К_{доп.} — коэффициент, учитывающий зарплату за отпуск, обычно составляет 10 %.

К_{пр} — премиальные составляют 35%;

К_{отч} — коэффициент отчислений составляет 30%.

К_{ур.} — районный коэффициент

Тарифный фонд заработной платы определяется по формуле :

$$ТФ = Ч_{т.с} * ЗТ, \quad (22)$$

где Ч_{тс} — часовая тарифная ставка, руб./час;

ЗТ — затраты труда, чел*час.

Для обслуживания масляного выключателя необходим электромонтер 4 разряда, его оклад составляет 44161,59 рублей:

$$Ч_{тс} = \text{оклад} / 176$$

где 176 — среднее число часов работы в месяц;

$$Ч_{тс} = 44161,59 / 176 = 250,92 \text{ руб./час.}$$

Затраты труда определяем по формуле:

$$ЗТ = Т_{осм.} * n * N + Т_{т.р} * m * M \quad (23)$$

Т_{осм} — трудоёмкость профилактического осмотра, чел.час.

n — количество профилактических осмотров в течение года.

N — количество масляных выключателей, шт.

Т_{т.р.} — трудоёмкость текущего ремонта, чел. час.

M — количество текущих ремонтов в течение года.

$$ЗТ = 0,2 * 260 * 24 + 4,0 * 1 * 24 = 1352 + 104 = 1456 \text{ чел.час.}$$

Следовательно, тарифный фонд определяется как:

$$ТФ = 250,92 * 1456 = 365\,340 \text{ руб.}$$

По формуле (21) определяем фонд заработной платы:

$$ЗП = 365\,340 * 1,1 * 1,35 * 1,15 * 1,3 = 811\,082,20 \text{ руб.} = 811,1 \text{ тыс.руб.}$$

Рассчитываем эксплуатационные затраты по формуле:

$$ЭЗ = ЗП + Ао + Рто + Пр \quad (24)$$

где $Ао$ — Амортизационные отчисления, тыс. руб;

$Рто$ — расходы на ремонт и техническое обслуживание, тыс. руб;

$Пр$ — прочие расходы, тыс. руб.

Расходы на амортизацию составляют 4,0 % от капитальных вложений:

$$Ао = КВ * 0,04, \quad (25)$$

$$Ао = 2937 * 0,04 = 117,48 \text{ тыс. руб.}$$

Расходы на текущий ремонт и техническое обслуживание для масляных выключателей составляют 20% от капитальных вложений:

$$Рто = КВ * 0,2, \quad (26)$$

$$Рто = 2937 * 0,2 = 587,4 \text{ тыс. руб.}$$

Прочие расходы составляют 1% от капитальных вложений:

$$Пр = КВ * 0,01 \quad (27)$$

$$Пр = 2937 * 0,01 = 29,37 \text{ тыс. руб.}$$

Следовательно, эксплуатационные затраты будут (формула (24)):

$$ЭЗ = 811,1 + 117,48 + 587,4 + 29,37 = 1\,545,35 \text{ тыс. руб.}$$

Рассчитываем приведенные затраты по формуле:

$$З = КВ * Ен + ЭЗ, \quad (28)$$

где $Ен = 0,10$ — нормативный коэффициент экономической эффективности,

$ЭЗ$ — эксплуатационные затраты, тыс. руб.;

$$З = 2937 * 0,1 + 1545,35 = 1939,05 \text{ тыс. руб.}$$

4.2 Расчет для вакуумных выключателей

Капитальные вложения определяем по формуле

Стоимость на приобретение вакуумных выключателей и установки микропроцессорной защиты будет определяться по формуле:

$$C = \sum p_i * q_i \quad (29)$$

Где p_i — оптовая цена каждого типа вакуумного выключателя и установки микропроцессорной защиты, тыс. руб.

q_i — количество каждого типа вакуумного выключателя и установки микропроцессорной защиты шт.

$$C = 110 * 24 + 113 * 2 + 55 * 26 = 4296 \text{ тыс. руб.}$$

Расходы на доставку составляют 12% от стоимости оборудования определяются по формуле (19):

$$T = 4296 * 0,12 = 515,52 \text{ тыс. руб.}$$

Затраты на монтаж и пуско-наладочные работы вакуумных выключателей составляют 20% от стоимости оборудования и определяются по формуле (20):

$$M = 4296 * 0,2 = 859,2 \text{ тыс. руб.}$$

По формуле (17) определяем капитальные вложения:

$$KB = 4296 + 515,52 + 859,2 = 5670,72 \text{ тыс.руб.}$$

Рассчитываем годовой фонд заработной платы

Тарифный фонд заработной платы определяется по формуле:

Так как для обслуживания вакуумного выключателя необходим электромонтер 4 разряда его оклад 44 161,59 рублей, формула:

$$Ч_{тс} = \text{оклад} / 176,$$

где 176 — среднее число часов работы в месяц,

$$Ч_{тс} = 44\,161,59 / 176 = 250,92 \text{ руб./час.},$$

Затраты труда определяем по формуле 6,

Согласно конструкции для вакуумных выключателей не требуется ежедневных осмотров (примем один раз в неделю), текущие ремонты производятся один раз в год, считаем по формуле (23):

$$ЗТ = 0,2 * 52 * 26 + 2,5 * 1 * 26 = 335,4 \text{ чел*час.}$$

Следовательно, тарифный фонд определяется по формуле (22):

$$ТФ = 250,92 * 335,4 = 84\,158,57,64 \text{ руб.}$$

По формуле (21) определяем фонд заработной платы:

$$ЗП = 84\,159 * 1,35 * 1,1 * 1,15 * 1,3 = 186\,839 \text{ руб.} \approx 187 \text{ тыс. руб.}$$

Рассчитываем эксплуатационные затраты по формуле

Расходы на амортизацию составляют 4% от капитальных вложений и определяются по формуле (25):

$$Ао = 5670,72 * 0,04 = 226,8 \text{ тыс. руб.}$$

Расходы на ремонт и техническое обслуживание для вакуумных выключателей составляют 1% от капитальных вложений и определяются по формуле (26):

$$Рто = 5670,72 * 0,01 = 56,71 \text{ тыс. руб.}$$

Прочие расходы составляют 1% от капитальных вложений и определяются по формуле (27):

$$Пр = 5670,72 * 0,01 = 56,71 \text{ тыс. руб.,}$$

По формуле (24), эксплуатационные затраты будут:

$$ЭЗ = 187 + 226,8 + 56,71 + 56,71 = 527,22 \text{ тыс. руб.}$$

Рассчитываем приведенные затраты по формуле:

$$Звв = КВ * Кпр + ЭЗ$$

$$Звв = 5670,72 * 0,1 + 527,22 = 1094,29 \text{ тыс.руб.}$$

Определяем суммарную годовую экономию:

$$Гэ = ЭЗ_{мв} - ЭЗ_{вв}$$

$$Гэ = 1\,545,35 - 527,22 = 1018,13 \text{ тыс.руб.}$$

где ЭЗ_{мв} — эксплуатационные затраты на масляные выключатели;

ЭЗ_{вв} — эксплуатационные затраты на вакуумные выключатели

Определяем суммарный годовой экономический эффект:

$$Эг = Э_{мв} - Э_{вв},$$

$$Эг = 1939,05 - 1094,29 = 844,76 \text{ тыс.руб.}$$

где ЭЗмв — эксплуатационные затраты на масляные выключатели, так как годовой эффект будем рассчитывать на снижении эксплуатационных затрат для масляных выключателей;

Звв — приведенные затраты на вакуумные выключатели

Определяем срок окупаемости капитальных вложений по формуле:

$$T = KB/Эг, \quad (30)$$

$$T = 4296/844,76 = 5,08 \text{ года.}$$

Результаты расчетов сводим в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 — Экономическая эффективность замены масляного выключателя на вакуумный выключатель

Показатель	Масляный выключатель	Вакуумный выключатель
Капиталовложения, тыс. Руб.	2937	4296
Эксплуатационные затраты, тыс. Руб.	1 545,35	527,22
Приведённые затраты, тыс. Руб.	1939,05	1094,29
Годовая экономия, тыс. Руб.		1018,13
Годовой экономический эффект, тыс. Руб.		844,76
Срок окупаемости, лет.		5,08

Таким образом, ретрофит на вакуумные выключатели позволяет получить ежегодную экономию 1018,13 тыс.руб. Годовой экономический эффект ожидается в размере 844,76 тыс. руб. Срок окупаемости составит 5,08 лет. Срок приемлемый для электроэнергетики. Аналогичным образом был проведен расчет для ретрофита одного выключателя, результаты которого представлены в ПРИЛОЖЕНИИ Д.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной выпускной квалификационной работе подробно рассмотрен ретрофит (процесс модернизации с заменой устаревших компонентов) ячейки КСО в распределительном пункте РП 1, расположенной на территории ООО «Лысьваннефтемаш». Была разобрана сама суть ретрофита, для лучшего понимания выполняемой работы. Для достижения цели были подробно рассмотрены различные виды оборудования. Были рассмотрены разные высоковольтные вакуумные выключатели от разных производителей, проведен их сравнительный анализ. Для наглядности работы были составлены соответствующие схемы. Немаловажной частью работы стало выполнение необходимых технических расчетов, на основании которых в итоге и были обоснованно выбраны вакуумные выключатели для данных ячеек, а так же были просчитаны параметры релейной защиты. Также были проведены экономические расчеты, которые обосновывают выгоду ретрофита. Помимо всего ранее перечисленного, были рассмотрены меры, необходимые для соблюдения нормативов по охране труда и производственной экологии.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ячейки КСО: управление и защита электрических сетей. — Текст : электронный // specel.kz : (сайт). — URL: <https://specel.kz/blog/yacheyiki-kso-upravlenie-i-zaschita-elektricheskikh-seteyi?ysclid=mlkrpxy4hf463143164> (дата обращения: 15.05.2026).
2. Руководство по эксплуатации КСО. — Текст : электронный // emrza.ru : (сайт). — URL: <https://emrza.ru/upload/iblock/6bf/vaoq5ww1ekev593z0dgcrznuu65a7jzh.pdf> (дата обращения: 15.05.2026).
3. Что такое ячейка КСО?. — Текст : электронный // aenergo.su : (сайт). — URL: <https://aenergo.su/blogs/что-такое-ячейка-kso/> (дата обращения: 15.05.2026).
4. Модернизация КСО и КРУ. — Текст : электронный // tmtrade.ru : (сайт). — URL: <https://tmtrade.ru/servis/modernizatsiya-kso-i-kru> (дата обращения: 15.05.2026).
5. Замена трансформаторов тока. — Текст : электронный // energoinspektor.ru : (сайт). — URL: <https://energoinspektor.ru/uslugi/izmeritelnye-pribory/zamena-transformatorov-toka/> (дата обращения: 15.05.2026).
6. Как в электрических аппаратах происходит гашение электрической дуги. — Текст : электронный // electricalschool.info : (сайт). — URL: <https://electricalschool.info/spravochnik/apparaty/4-kak-v-jelektricheskikh-apparatakh.html> (дата обращения: 15.05.2026).
7. Основы работы высоковольтных вакуумных выключателей: просто о сложном. — Текст : электронный // chelzeo.market : (сайт). — URL: <https://chelzeo.market/blogs/poleznoe-v-detalyah/osnovy-raboty-vysokovoltnyh-vakuumnyh-vyklyuchateley-prosto-o-slozhnom> (дата обращения: 15.05.2026).
8. Что такое трансформатор тока, его конструкция и принцип работы. — Текст : электронный // ETM Group : (сайт). — URL: <https://www.etm.ru/ipro3/library/2494> (дата обращения: 15.05.2026).

9. Элегазовые выключатели серии ЛФ 6-10 кВ. — Текст : электронный // elec.ru : (сайт). — URL: <https://www.elec.ru/library/manuals/elegazovye-vyklyuchateli-serii-lf-6-10-kv.html?ysclid=mp611euwq6367487306> (дата обращения: 15.05.2026).
10. Шеховцов, В. П. Расчет и проектирование схем электроснабжения / В. П. Шеховцов. — 3-е издание, исправленное. — М. : ФОРУМ, 2003, 2007, 2013. — Текст : непосредственный.
11. Расчет рз линии 10кв. — Текст : электронный // electricalblog.tech : (сайт). — URL: <https://electricalblog.tech/rza/ras4et-rz-linii-10kv.php> (дата обращения: 18.05.2026).
12. Расчет уставок релейной защиты 6-10 кВ. — Текст : электронный // inner.su : (сайт). — URL: <https://inner.su/articles/raschet-ustavok-releynoy-zashchity-6-10-kv/> (дата обращения: 18.05.2026).

ПРОВЕРКА УСЛОВИЙ

Условие: $V_{н.в} \geq V_{н.у}$;

Таблица А.1 — Проверка выключателей по U_n

Проверка по номинальному напряжению			
№ ячейки	$U_{ном}$ ячейки, В	$U_{ном}$ выключателя, В	условие:
1	6000	10000	Выполняется
2	6000	10000	Выполняется
3	6000	10000	Выполняется
4	6000	10000	Выполняется
5	6000	10000	Выполняется
6	6000	10000	Выполняется
7	6000	10000	Выполняется
8	6000	10000	Выполняется
9	6000	10000	Выполняется
10	6000	10000	Выполняется
11	6000	10000	Выполняется
13	6000	10000	Выполняется
14	6000	10000	Выполняется
16	6000	10000	Выполняется
17	6000	10000	Выполняется
18	6000	10000	Выполняется
19	6000	10000	Выполняется
20	6000	10000	Выполняется
21	6000	10000	Выполняется
22	6000	10000	Выполняется
23	6000	10000	Выполняется
24	6000	10000	Выполняется
25	6000	10000	Выполняется
26	6000	10000	Выполняется

ПРОВЕРКА УСЛОВИЙ

Условие: $I_{н.в} \geq I_{н.у'}$

Таблица А.2 — Проверка выключателей по $I_{ном}$

Проверка по номинальному току			
№ ячейки	$I_{ном}, А$	$I_{ном}$ выключателя, А	условие:
1	150	1000	Выполняется
2	75	1000	Выполняется
3	75	1000	Выполняется
4	1000	1250	Выполняется
5	150	1000	Выполняется
6	100	1000	Выполняется
7	150	1000	Выполняется
8	600	1000	Выполняется
9	600	1000	Выполняется
10	600	1000	Выполняется
11	1000	1250	Выполняется
13	150	1000	Выполняется
14	1000	1250	выполняется
16	1000	1250	Выполняется
17	600	1000	Выполняется
18	600	1000	Выполняется
19	200	1000	Выполняется
20	150	1000	Выполняется
21	100	1000	Выполняется
22	1000	1250	Выполняется
23	150	1000	Выполняется
24	100	1000	Выполняется
25	100	1000	Выполняется
26	200	1000	Выполняется

ПРОВЕРКА УСЛОВИЙ

Условие: $I_{н.откл} \geq I_{р.откл}$;

Таблица А.3 — Проверка выключателей по $I_{откл}$

Ячейка	$I_{н.откл}$, кА	$I_{р.откл}$, кА	Условие:
1	20	1,56381	Выполняется
2	20	1,565907	Выполняется
3	20	1,105155	Выполняется
4	31,5	1,948517	Выполняется
5	20	1,105155	Выполняется
6	20	1,105155	Выполняется
7	20	1,104819	Выполняется
8	20	1,56381	Выполняется
9	20	1,563678	Выполняется
10	20	1,308778	Выполняется
11	31,5	1,948517	Выполняется
13	20	1,308825	Выполняется
14	31,5	1,948517	Выполняется
16	31,5	1,948517	Выполняется
17	20	1,56381	Выполняется
18	20	1,56454	Выполняется
19	20	1,84425	Выполняется
20	20	1,84425	Выполняется
21	20	1,84425	Выполняется
22	31,5	1,948517	Выполняется
23	20	1,84425	Выполняется
24	20	1,84425	Выполняется
25	20	1,839943	Выполняется
26	20	1,56381	Выполняется

ПРИЛОЖЕНИЕ А

ПРОВЕРКА УСЛОВИЙ

Условия: $i_{y \text{ выкл}} \geq i_{y \text{ уст}};$

$$I_{тс} \geq I_{р.тс}$$

Таблица А.4 — Проверка выключателей по электродинамическим и термическим токам.

Ячейка	$i_{y \text{ уст}}, \text{ кА}$	$I_{y \text{ выкл}}, \text{ кА}$	$I_{тс}, \text{ кА}$	$I_{р.тс}, \text{ кА}$	Условия:
1	2,425469607	20	20	0,325533051	Выполняется
2	2,384562841	20	20	0,32596949	Выполняется
3	1,581798186	20	20	0,216231646	Выполняется
4	2,967201819	31,5	31,5	0,405616177	Выполняется
5	2,666610928	20	20	0,364525434	Выполняется
6	2,666610928	20	20	0,364525434	Выполняется
7	2,665327541	20	20	0,364349995	Выполняется
8	4,98176086	20	20	0,681006186	Выполняется
9	4,980877768	20	20	0,680885467	Выполняется
10	3,539068659	20	20	0,483790314	Выполняется
11	2,967201819	31,5	31,5	0,405616177	Выполняется
13	3,539293072	20	20	0,483820991	Выполняется
14	2,967201819	31,5	31,5	0,405616177	Выполняется
16	2,967201819	31,5	31,5	0,405616177	Выполняется
17	4,98176086	20	20	0,681006186	Выполняется
18	4,986630276	20	20	0,681671835	Выполняется
19	7,305806379	20	20	0,998702964	Выполняется
20	7,305806379	20	20	0,998702964	Выполняется
21	7,305806379	20	20	0,998702964	Выполняется
22	2,967201819	31,5	31,5	0,405616177	Выполняется
23	7,305806379	20	20	0,998702964	Выполняется
24	7,305806379	20	20	0,998702964	Выполняется
25	7,261578676	20	20	0,992657042	Выполняется
26	4,98176086	20	20	0,681006186	Выполняется

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Таблица В.1 — Результаты расчетов сопротивлений и токов КЗ

Ячейка	Z, мОм значение	Ток КЗ(3),кА
1	2,217794	1,56381
2	2,214824	1,565907
3	3,33885	1,105155
4	1,779922	1,948517
5	1,980562	1,105155
6	1,980562	1,105155
7	1,981515	1,104819
8	1,060145	1,56381
9	1,060333	1,563678
10	1,49231	1,308778
11	1,779922	1,948517
13	1,492215	1,308825
14	1,779922	1,948517
16	1,779922	1,948517
17	1,060145	1,56381
18	1,059109	1,56454
19	0,722903	1,84425
20	0,722903	1,84425
21	0,722903	1,84425
22	1,779922	1,948517
23	0,722903	1,84425
24	0,722903	1,84425
25	0,727306	1,839943
26	1,060145	1,56381

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

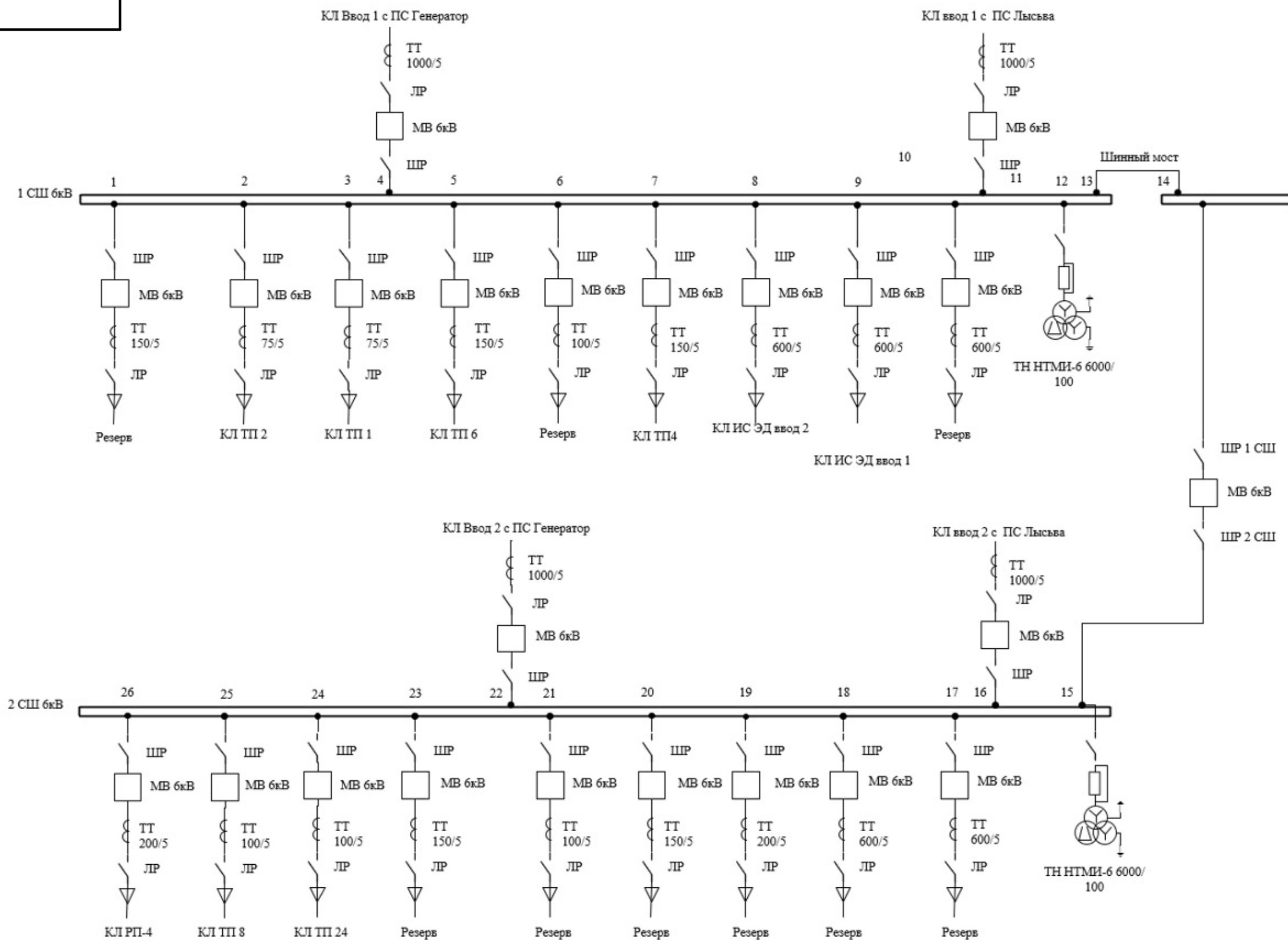
Таблица Г.1 — Результаты расчетов параметров релейной защиты

Ячейка	$I_{p.макс,}$	$I_{с.з, A}$	$I_{с.р, A}$	Кч	$t2, c$	$t1, c$	$\Delta t, c$	Кт	$I_{то, кА}$
1	150,1778	204,0651	7,5	1,358824	1,6	1,3	0,3	30	1,720191
2	75,08891	102,0326	7,5	1,358824	1,6	1,3	0,3	15	1,722497
3	75,08891	102,0326	7,5	1,358824	1,6	1,3	0,3	15	1,142618
4	1001,185	1360,434	8	1,358824	1,6	1,3	0,3	200	2,143369
5	150,1778	204,0651	10	1,358824	1,6	1,3	0,3	30	1,926236
6	100,1185	136,0434	7,5	1,358824	1,6	1,3	0,3	20	1,926236
7	150,1778	204,0651	10	1,358824	1,6	1,3	0,3	30	1,925309
8	600,7113	816,2606	5	1,358824	1,6	1,3	0,3	120	3,598593
9	600,7113	816,2606	5	1,358824	1,6	1,3	0,3	120	3,597955
10	600,7113	816,2606	10	1,358824	1,6	1,3	0,3	120	2,556459
11	1001,185	1360,434	8	1,358824	1,6	1,3	0,3	200	2,143369
13	150,1778	204,0651	7,5	1,358824	1,6	1,3	0,3	30	2,556621
14	1001,185	1360,434	13	1,358824	1,6	1,3	0,3	200	2,143369
16	1001,185	1360,434	13	1,358824	1,6	1,3	0,3	200	2,143369
17	600,7113	816,2606	12	1,358824	1,6	1,3	0,3	120	3,598593
18	600,7113	816,2606	8	1,358824	1,6	1,3	0,3	120	3,60211
19	200,2371	272,0869	10	1,358824	1,6	1,3	0,3	40	1,277375
20	150,1778	204,0651	10	1,358824	1,6	1,3	0,3	30	1,977375
21	100,1185	136,0434	10	1,358824	1,6	1,3	0,3	20	1,477375
22	1001,185	1360,434	8	1,358824	1,6	1,3	0,3	200	2,143369
23	150,1778	204,0651	10	1,358824	1,6	1,3	0,3	30	2,147375
24	100,1185	136,0434	10	1,358824	1,6	1,3	0,3	20	1,477375
25	100,1185	136,0434	12	1,358824	1,6	1,3	0,3	20	5,245427
26	200,2371	272,0869	10	1,358824	1,6	1,3	0,3	40	1,598593

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Таблица Д.1 — Результаты расчетов экономического обоснования

Параметр	ВМП	ВВ/TEL
С, тыс.руб	80	110
Т, тыс.руб	9,6	13,2
М, тыс.руб	32	44
КВ, тыс.руб	121,6	167,2
ЗП, тыс.руб	31,19543	7,18609
ТФ, руб	14051,52	3236,868
Чтс руб/ч	250,92	250,92
ЗТ, чел/час	56	12,9
Ао, тыс.руб	4,864	6,688
Рто, тыс.руб	24,32	33,44
Пр, тыс.руб	1,216	1,672
ЭЗ, тыс.руб	61,59543	48,98609
З, тыс.руб	73,75543	65,70609
Гэ, тыс.руб		12,60934
Эг, тыс.руб		8,049339



Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.								1:1
Пров.								
Т.контр.						Лист	Листов	1
Н.контр.								
Утв.								