

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

(наименование)

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки/ специальности)

Электроснабжение

(направленность (профиль) / специализация)

## ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Реконструкция распределительного устройства 10 кВ нефтеперекачивающей станции №2 ООО «Ноябрьскэнергонефть»

Обучающийся

А.Г. Куракин

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

А.А. Кувшинов

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2023

## Аннотация

Выпускная квалифицированная работа 47 страниц, 22 рисунка, 7 таблиц.

Ключевые слова: распределительное устройство, оборудование, реконструкция, нагрузка, параметры, потребитель.

Актуальность темы состоит в том, что электрическая часть распределительного устройства (РУ) 10 кВ нефтеперекачивающей станции №2 ООО «Ноябрьскэнергонефть» и ее электрооборудование устарели и сильно изношены, параметры оборудования не соответствуют актуальным электрическим нагрузкам.

Объект исследования: РУ класса напряжения 10 кВ.

Предмет исследования: электрическая часть РУ.

Цель работы: разработка предложений по реконструкции РУ.

Рассмотрена характеристика действующего РУ, проанализирована действующая электрическая схема соединений и оборудование в ее составе. Выявлены значимые актуальные недостатки по текущему состоянию РУ, обоснована необходимость реконструкции, предложены соответствующие мероприятия и технические решения. Определены актуальные электрические нагрузки, рассчитаны рабочие и аварийные режимы, выбрано новое электрооборудование. Рассмотрена реконструкция внутреннего освещения РУ. Спроектированы заземляющее устройство и молниезащита. Рассмотрена замена электромеханической релейной защиты и автоматики на микропроцессорную, определены уставки защит, рассмотрено программное обеспечение.

## Содержание

Введение.....	4
1 Характеристика РУ, анализ действующей электрической схемы .....	6
1.1 Характеристика РУ .....	6
1.2 Анализ электрической схемы РУ .....	7
1.3 Актуальность проведения реконструкции .....	8
2 Разработка предложений по реконструкции РУ .....	10
2.1 Электрические нагрузки.....	10
2.2 Расчет токов КЗ .....	10
2.3 Выбор электрооборудования .....	14
2.4 Реконструкция внутреннего освещения РУ .....	27
2.5 Заземление и молниезащита .....	31
3 Микропроцессорная релейная защита .....	37
3.1 Защита питающей линии и отходящих фидеров .....	37
3.2 Автоматический ввод резерва.....	39
3.3 Программное обеспечение релейной защиты .....	42
Заключение .....	44
Список используемых источников.....	46

## Введение

Электрические распределительные устройства (РУ) играют ключевую роль в современных электрических системах, обеспечивая передачу и распределение электроэнергии от первичных источников к конечным потребителям.

Электрическое распределительное устройство – это электроустановка, предназначенная для приема и распределения электроэнергии на одном уровне напряжения. РУ и различное электрооборудование в их составе выполняют функции переключения, защиты и контроля, а также мониторинга режимов работы электрических сетей. Каждый тип РУ имеет свои особенности, связанные с конструкцией, материалами и способами монтажа.

В РУ используются различные коммутационные аппараты (выключатели и выключатели нагрузки различных типов, разъединители, заземлители, отделители и короткозамыкатели), которые обеспечивают включение и отключение электрических цепей, а также защиту от коротких замыканий и перегрузок.

В зависимости от уровня напряжения РУ могут иметь различные конструктивные решения. Низковольтные РУ обычно выполняются в виде щитов и щитовых панелей, где все коммутационные аппараты и измерительные приборы устанавливаются на общей раме. Средневольтные и высоковольтные РУ имеют более сложную конструкцию, состоящую из множества ячеек, соединяемых между собой. В целом, распределительные устройства можно разделить на открытые (ОРУ), расположенные на открытом пространстве и закрытые (ЗРУ), размещенные в специальных сооружениях и зданиях.

Важным аспектом работы РУ является обеспечение безопасности и надежности, для обеспечения которых используются системы мониторинга и диагностики, которые позволяют контролировать состояние оборудования и

своевременно выявлять возможные неисправности. Также применяются меры по обеспечению механической и электрической прочности, позволяющие снизить вероятность аварийных ситуаций.

Актуальность темы состоит в том, что электрическая часть распределительного устройства 10 кВ нефтеперекачивающей станции №2 ООО «Ноябрьскэнергонефть» и ее электрооборудование устарели и сильно изношены, параметры оборудования не соответствуют актуальным электрическим нагрузкам. Также, в целом, электрические распределительные устройства являются неотъемлемой частью современных систем электроснабжения и вопросы проведения их своевременной реконструкции являются важными и актуальными.

Объект исследования: РУ класса напряжения 10 кВ.

Предмет исследования: электрическая часть РУ.

Цель работы: разработка предложений по реконструкции РУ.

Задачи работы:

- рассмотреть характеристики действующего РУ, проанализировать действующую электрическую схему соединений и оборудование в ее составе;
- выявить значимые актуальные недостатки по текущему состоянию РУ, обосновать необходимость реконструкции, предложить соответствующие мероприятия и технические решения;
- определить актуальные электрические нагрузки, рассчитать рабочие и аварийные режимы, выбрать новое электрооборудование;
- рассмотреть реконструкцию внутреннего освещения РУ;
- спроектировать заземляющее устройство и молниезащиту;
- рассмотреть замену электромеханической релейной защиты и автоматики на микропроцессорную, определить уставки защит, рассмотреть программное обеспечение.

# 1 Характеристика РУ, анализ действующей электрической схемы

## 1.1 Характеристика РУ

Назначение рассматриваемого распределительного устройства – обеспечение питанием производственных участков нефтеперекачивающей станции (НПС) №2 предприятия ООО «Ноябрьскэнергонепфть».

В состав электрических нагрузок распределительного устройства входят трансформаторные подстанции (ТП) класса напряжения 10/0,4 кВ наружной установки, обеспечивающие питание электроэнергией потребителей:

- насосного зала (низковольтная нагрузка 0,4 кВ: насосы, вентиляция, компрессоры и т.д.) – потребители первой категории надежности электроснабжения (фидеры 1-1 и 1-2);
- участка ремонта и наладки оборудования – потребители второй категории (фидеры 2-1 и 2-2);
- административного здания – потребители третьей категории (фидер 4);
- административно-хозяйственного блока – потребители третьей категории (фидер 5);
- участка складирования и хранения – потребители третьей категории (фидер 6).

Также в состав нагрузки рассматриваемого распределительного устройства (фидеры 3-1 и 3-2) входит высоковольтная нагрузка 10 кВ магистральных насосов насосного зала (питаются от отдельного распределительного пункта (РП), установленного снаружи насосного зала).

Питание РУ выполнено по кабельной линии электропередачи (ЛЭП) длиной 3,2 км, от подстанции (ПС) энергосистемы.

Можно отметить, что данное РУ нефтеперекачивающей станции №2 обеспечивает питание ответственных потребителей, потому проведение

своевременной реконструкции является особо важным и актуальным. Потенциальные аварийные ситуации, с большой долей вероятности, могут привести к остановке основного производственного процесса, что подтверждается записями в аварийном журнале.

## **1.2 Анализ электрической схемы РУ**

Действующая однолинейная схема РУ приведена на листе 1 графической части.

Установлено электрооборудование (ЭО):

- масляные выключатели ВМГ-10;
- разъединители РВ-10;
- трансформаторы тока (ТТ) ТПЛ-10;
- трансформаторы напряжения (ТН) НТМИ-6;
- разрядники РВС-6;
- ТСН марки ТМ-160/6;
- КРУ 6 кВ.

До 2035 года значительного увеличения рабочих токов и токов короткого замыкания (КЗ) не произойдет. Действующее ЭО находится в эксплуатации с 1979 года и имеет критический уровень износа. Технологически устарели:

- масляные выключатели;
- вентильные разрядники;
- ферромагнитные ТТ и ТН;
- ТСН;
- КРУ.

«Необходимо обеспечить надлежащий уровень защиты от перенапряжений и безопасности, для этого на фидерах необходимо установить дополнительные ОПН и разъединители с заземлением. Также

установка дополнительных ОПН улучшит условия коммутации при отключении нагрузки выключателями ввиду ограничения токов самоиндукции» [6,17].

«Остаточный ресурс (ОР) всего ЭО:

$$OP = \frac{T_n - T_\phi}{T_n} \cdot 100, \% \quad (1)$$

где  $T_n$  – паспортный ресурс, лет;

$T_\phi$  – фактический ресурс, лет» [8].

$$OP = \frac{25 - (2023 - 1979)}{25} \cdot 100 = -76 \%$$

Действующее оборудование электрической части РУ изношено и нуждается в скорейшей замене на новое. Дальнейшая эксплуатация действующего ЭО прогрессивно увеличивает вероятность его выхода из строя и аварийных ситуаций, со всеми вытекающими негативными последствиями (перерывы питания потребителей, остановка производственного процесса, экономические убытки, риски для эксплуатационного и иного персонала).

### **1.3 Актуальность проведения реконструкции**

Проводится обоснование необходимости реконструкции РУ в кратчайшие сроки. Электрическая часть распределительного устройства должна быть реконструирована ввиду:

- крайнего износа всего основного электрооборудования, установка нового ЭО обеспечит его надежную работу и существенное снижение трудовых и экономических эксплуатационно-ремонтных издержек;



- устаревания всего основного электрооборудования, рабочие параметры которого не удовлетворяют актуальным требованиям к электроустановкам;
- за время эксплуатации нефтеперекачивающей станции электрические нагрузки потребителей существенно возросли, и на данный момент, действующее электрооборудование электрической части распределительного устройства имеет недостаточные для актуальных электрических нагрузок рабочие параметры (по току, электрической мощности и т.д.). Установка нового электрооборудования с соответствующими паспортными параметрами обеспечит надежную работу распределительного устройства;
- заземляющее устройство (ЗУ) и молниезащита РУ сильно повреждены коррозией и сильно изношены. Сопротивление действующего ЗУ недопустимо велико (по выполненным контрольным замерам сопротивление ЗУ составило 5,11 Ом, что существенно превышает предельное значение по ПУЭ);
- внутреннее освещение РУ выполнено на устаревших люминесцентных светильниках (основное освещение) и светильниках с лампами накаливания, имеет низкую энергоэффективность, надежность и экологичность, критический уровень износа.

Выводы. Действующее оборудование электрической части РУ изношено и нуждается в скорейшей замене на новое. РУ нефтеперекачивающей станции №2 обеспечивает питание ответственных потребителей, потому проведение своевременной реконструкции является особо важным и актуальным. Определены основные причины проведения реконструкции, обоснована ее актуальность.

## 2 Разработка предложений по реконструкции РУ

### 2.1 Электрические нагрузки

Расчетные электрические нагрузки РУ определяются согласно контрольным замерам максимумов нагрузок потребителей, которые приведены на рисунке 1.

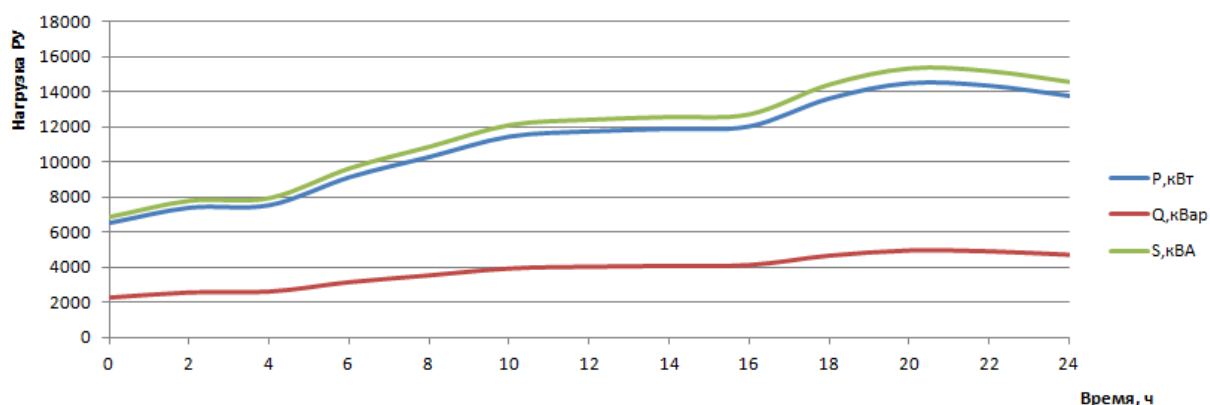


Рисунок 1 – Графики нагрузки РУ

Расчетные нагрузки определены их максимумами – в 20.00: 14542 кВт; 4985 квар; 15373 кВА.

Новое электрооборудование электрической части РУ будет выбираться с параметрами, соответствующими данным расчетным нагрузкам. Для проверки ЭО далее необходимо рассчитать аварийные режимы (токи короткого замыкания).

### 2.2 Расчет токов КЗ

«Результаты расчетов токов КЗ используются для выбора и проверки ЭО, а также расчета уставок РЗ. Расчетная схема токов КЗ приведена на рисунке 2.

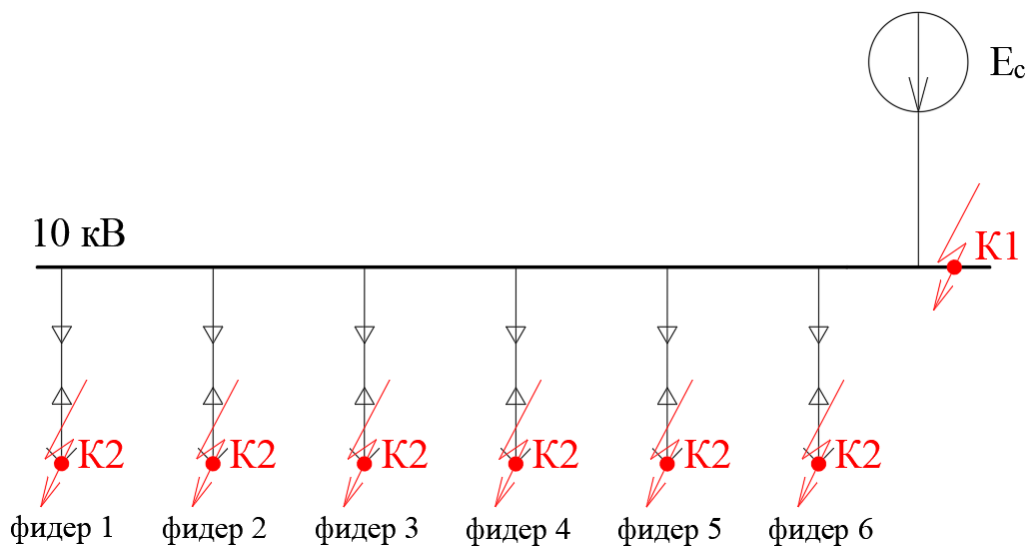


Рисунок 2 – Расчетная схема токов КЗ

Схема замещения приведена на рисунке 3» [16].

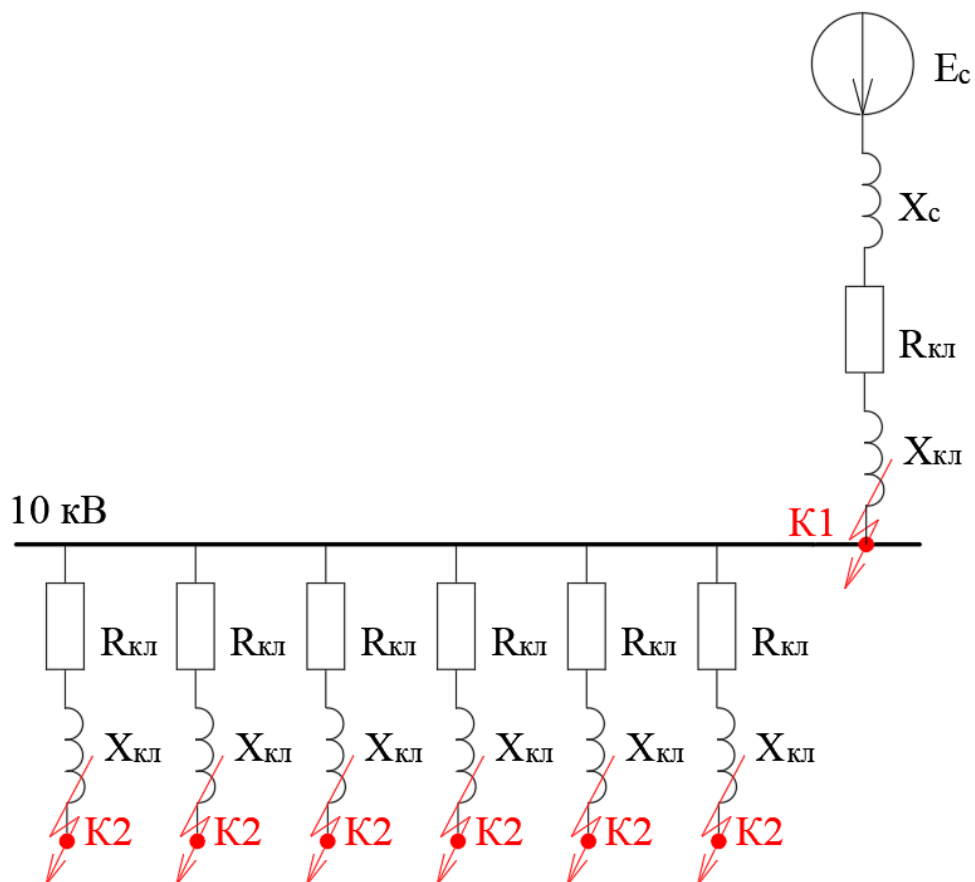


Рисунок 3 – Схема замещения

«Периодическая составляющая тока КЗ:

$$I_K'' = \frac{E_c}{\sqrt{3} \cdot X_{\Sigma K}}, \quad (2)$$

где  $E_c$  – напряжение КЗ, кВ;

$X_{\Sigma K}$  – сопротивление цепи, Ом.

Ударный коэффициент:

$$K_y = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_a}}, \quad (3)$$

где  $T_a$  – постоянная апериодической составляющей, с.

Ударный ток КЗ:

$$i_y = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_K'', \quad (4)$$

Действующее значение:

$$I_y = I_K'' \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (K_y - 1)^2}, \quad (5)$$

Ток двухфазного КЗ:

$$I_K^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_K'', \quad (6)$$

Апериодическая составляющая:

$$i_{\alpha\tau} = \sqrt{2} \cdot I_K'' \cdot e^{\frac{\tau}{T_a}}, \quad (7)$$

где  $\tau$  – время КЗ, с.

$$\tau = t_{з\min} + t_{CB}, \quad (8)$$

где  $t_{з\min}$  – время срабатывания РЗ, с;

$t_{CB}$  – время отключения выключателя, с» [16].

Полный ток КЗ:

$$I_n = i_{\alpha\tau} + I_K'', \quad (9)$$

«Сопротивление энергосистемы:

$$X_C = \frac{U_{\delta}^2}{S_K}, \quad (10)$$

где  $S_K$  – мощность КЗ на шинах РУ, МВА» [14].

$$X_C = 10,5^2 / 65,7 = 1,678 \text{ Ом}$$

Пример расчета (точка К1), по (2-9):

$$I_{K1}'' = 10,5 / (\sqrt{3} \cdot 1,678) = 3,61 \text{ кА},$$

$$K_{y1} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,05}} = 1,54,$$

$$i_{y1} = \sqrt{2} \cdot 1,54 \cdot 3,61 = 7,87 \text{ кА},$$

$$I_{y1} = 7,87 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (1,54 - 1)} = 5,53 \text{ кА},$$

$$I_{K1}^{(2)} = (\sqrt{3} / 2) \cdot 3,61 = 3,13 \text{ кА},$$

$$\tau_1 = 0,01 + 0,21 = 0,211 \text{ с,}$$

$$i_{\alpha\tau 1} = \sqrt{2} \cdot 3,61 \cdot e^{\frac{-0,211}{0,04}} = 1,03 \text{ кА,}$$

$$I_{n1} = 3,61 + 1,03 = 4,64 \text{ кА.}$$

В точках К2 токи КЗ определяются для расчета уставок РЗ, результаты – в таблице 1.

Таблица 1 – Токи КЗ

Фидер, №	$I''$ , кА	$I^{(2)}$ , кА
1	3,34	2,90
2	3,34	2,89
3	3,29	2,85
4	2,49	2,16
5	2,53	2,19
6	2,49	2,15

Результаты расчетов будут учтены при выборе ЭО.

### 2.3 Выбор электрооборудования

«Условия выбора выключателей:

$$U_{ном} \geq U_{раб}, \text{ кВ,}$$

$$I_{ном} \geq I_{раб}, \text{ кВ,}$$

$$I_{ном.откл} \geq I_{к}, \text{ кА,}$$

где  $I_{ном.откл}$  – ток отключения, кА;

$I_{к}$  – ток трехфазного КЗ, кА.

$$i_{np.c} \geq i_y, \text{ кА},$$

где  $i_{np.c}$  – предельный сквозной ток, кА.

$$I_m^2 t_m \geq B_k, \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

где  $I_m$  – ток термической стойкости, кА;

$t_m$  – время протекания тока, с;

$B_k$  – тепловой импульс, кА<sup>2</sup>·с.

$$B_k = I_k^2 \cdot (t_{откл} + T_a), \text{ кА}^2 \cdot \text{с}, \quad (11)$$

где  $t_{откл}$  – время КЗ, с.

$$t_{откл} = t_{p.z.} + t_{откл.B}, \text{ с}, \quad (12)$$

где  $t_{p.z.}$  – время срабатывания РЗ, с;

$t_{откл.B}$  – время отключения выключателя, с» [7].

Выбираем выключатели ВВ/TEL-10/1000(630), проверка в таблице 2.

Таблица 2 – Проверка выключателей

Параметры	По паспорту	По расчету
$U_{ном}, \text{ кВ}$	10	6
$I_{ном}, \text{ А}$	1000(630)	888(225)
$I_{н.откл.}, \text{ кА}$	40	3,61
$B_k, \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	4800	39,2
$i_{дин}, \text{ кА}$	100	7,87

Внешний вид выключателя – на рисунке 4.



Рисунок 4 – Внешний вид ВВ/TEL-10

«Замена масляных выключателей на вакуумные значительно повысит надежность электроснабжения потребителей, повысит безопасность эксплуатации РУ, снизит технико-эксплуатационные расходы на ремонт и обслуживание» [10,18].

Условия выбора разъединителей:

$$U_{н.апн.} \geq U_{н.уст.},$$

$$I_{н.апн.} \geq I_{раб.мах.},$$

$$I_{мер.}^2 \cdot t_{мер.} \geq B_k,$$

$$i_{дин} \geq i_y.$$



Принимаются разъединители РВ-10/1000, проверка в таблице 3.

Таблица 3 – Проверка разъединителей

Параметры	По паспорту	По расчету
$U_{ном}, \text{кВ}$	10	6
$I_{ном}, \text{А}$	1000	888
$B_k, \text{кА}^2 \cdot \text{с}$	3600	39,2
$i_{дин}, \text{кА}$	80	7,87

Внешний вид разъединителя – на рисунке 5.

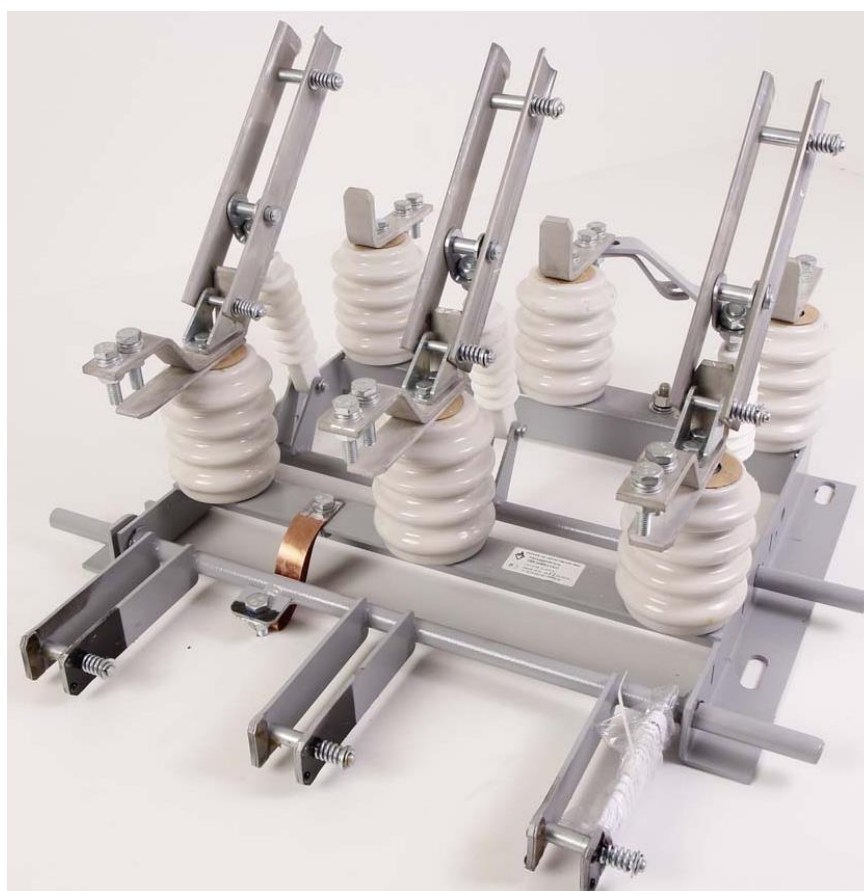


Рисунок 5 – Внешний вид РВ-10

Принимаются ОПНп-6, проверка в таблице 4.

Таблица 4 – Проверка ОПН

Параметры	По паспорту	По расчету
$U_{ном}, \text{кВ}$	6	6
$B_k, \text{кА}^2 \cdot \text{с}$	3200	39,2
$i_{дин}, \text{кА}$	81	7,87

Внешний вид ОПН – на рисунке 6.



Рисунок 6 – Внешний вид ОПН

«Принцип действия ОПН на металлооксидных сопротивлениях основан на использовании нелинейной вольтамперной характеристики оксида цинка. При приложении к ОПН номинального напряжения ток через него носит емкостной характер и очень мал, при возникновении перенапряжений ток через него лавинообразно растет и может достичь нескольких тысяч ампер. После прохождения импульса тока, обусловленным ростом напряжения на ОПН, его изоляция восстанавливается, и ток через него вновь возвращается до номинальных десятков микроампер. Графики изменения тока и напряжения на ОПН при повышении воздействующего напряжения показаны на рисунке 7.

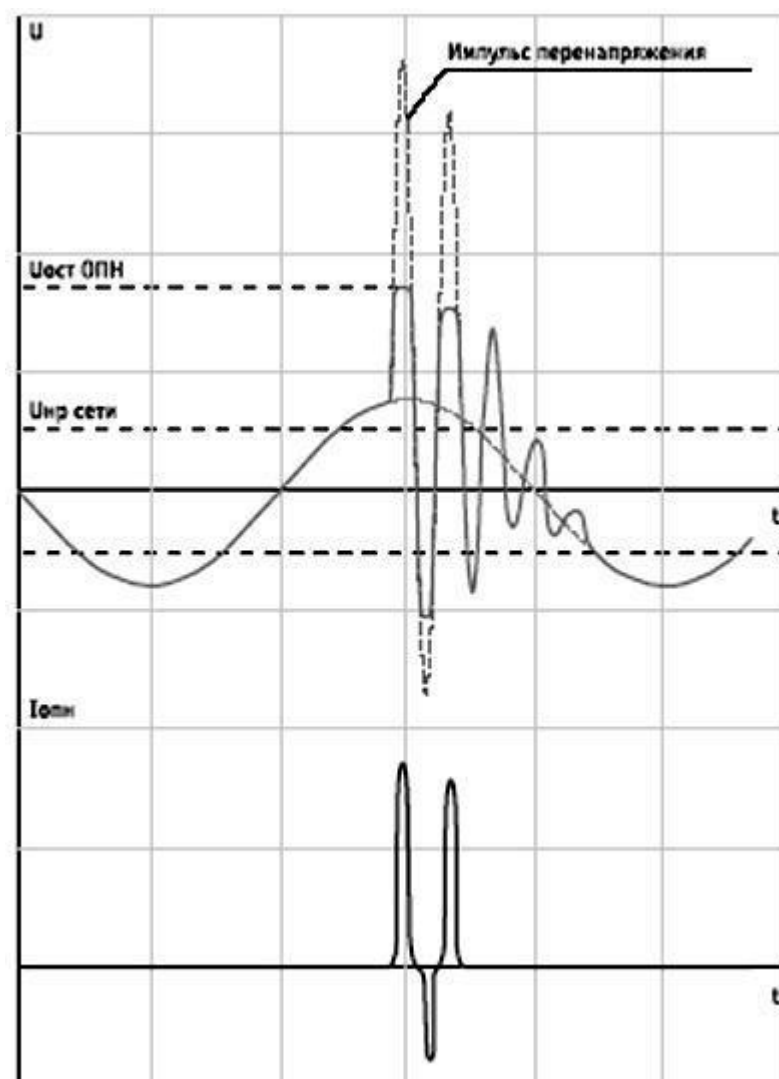


Рисунок 7 – Графики изменения тока и напряжения на ОПН

Вентильные разрядники, как правило, применявшиеся ранее для защиты от перенапряжений в районных и распределительных сетях заменяют ОПН. Не имея искровых промежутков, ОПН более эффективно защищают электрооборудование от всех видов перенапряжений, которые могут возникнуть в электрических сетях.

Преимущества ОПН:

- простота конструкции и высокая надежность;
- по сравнению с разрядниками, более глубокое ограничение перенапряжения;
- стойкость к внешнему загрязнению изоляционного корпуса;

- способность ограничивать внутренние перенапряжения;
- большая взрывобезопасность у ограничителей перенапряжения с полимерным корпусом;
- меньшие габариты и масса, чем у разрядников» [2,6].

Устаревшие и изношенные ферромагнитные ТТ и ТН предлагается заменить на новые современные электронно-оптические (ОТТ и ОТН) производства АО «ПРОФОТЕК». Это позволит значительно повысить точность измерительной системы, обеспечить точную, надежную и селективную работу релейной защиты и автоматики, с возможностью внесения компенсирующих поправок на результаты измерений.

«Согласно Постановлению Правительства РФ от 19.06.2020 № 890 (О порядке предоставления доступа к минимальному набору функций интеллектуальных систем учета электрической энергии), необходимо обеспечивать точный цифровой учет и мониторинг электропотребления, что затруднительно, и иногда и невозможно при использовании классических ферромагнитных измерительных трансформаторов. Кроме того, современные терминалы релейной защиты и автоматики требуют высокой точности показаний от измерительных трансформаторов для обеспечения надлежащей селективности и точности работы, при этом отдельной проблемой является насыщение магнитопроводов трансформаторов тока (ТТ) при перегрузках и коротких замыканиях в первичной цепи. Применение оптических трансформаторов тока (ОТТ) и напряжения (ОТН) позволяет решить наиболее актуальные при использовании классических измерительных трансформаторов, кроме того ОТТ и ОТН имеют лучшие технико-эксплуатационные показатели и ряд уникальных особенностей, недоступных классическим ТТ и ТН.

Ключевые недостатки традиционных измерительных трансформаторов показаны на рисунке 8.



Рисунок 8 – Ключевые недостатки традиционных измерительных трансформаторов

Применение оптических измерительных трансформаторов позволяет исключить или минимизировать указанные недостатки. Структурная схема ОТТ показана на рисунке 9.

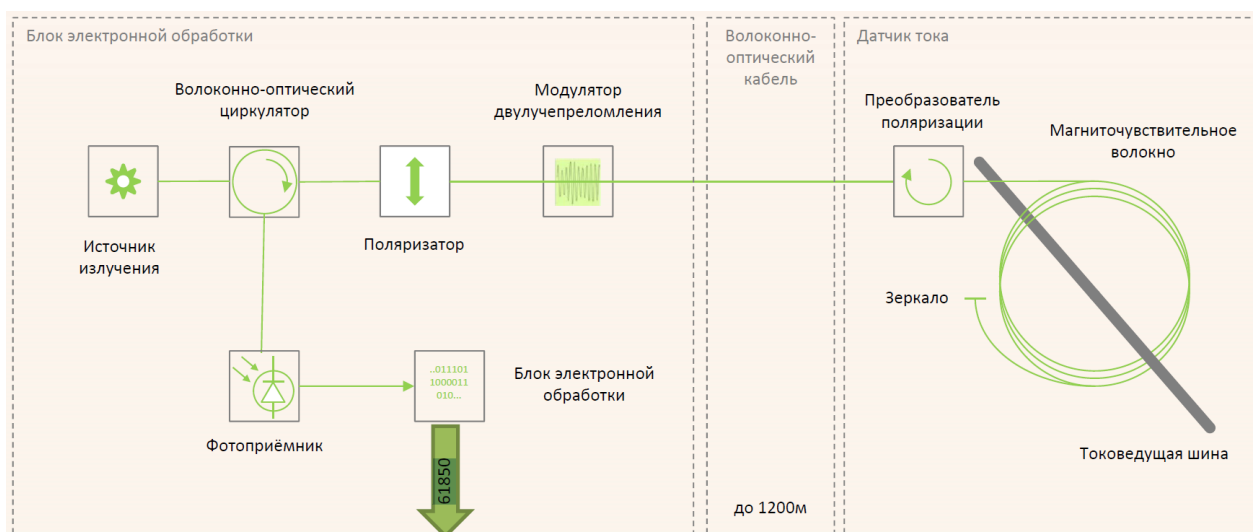


Рисунок 9 – Структурная схема ОТТ

Конструкция ОТТ с гибким чувствительным элементом (ЧЭ) показана на рисунке 10.

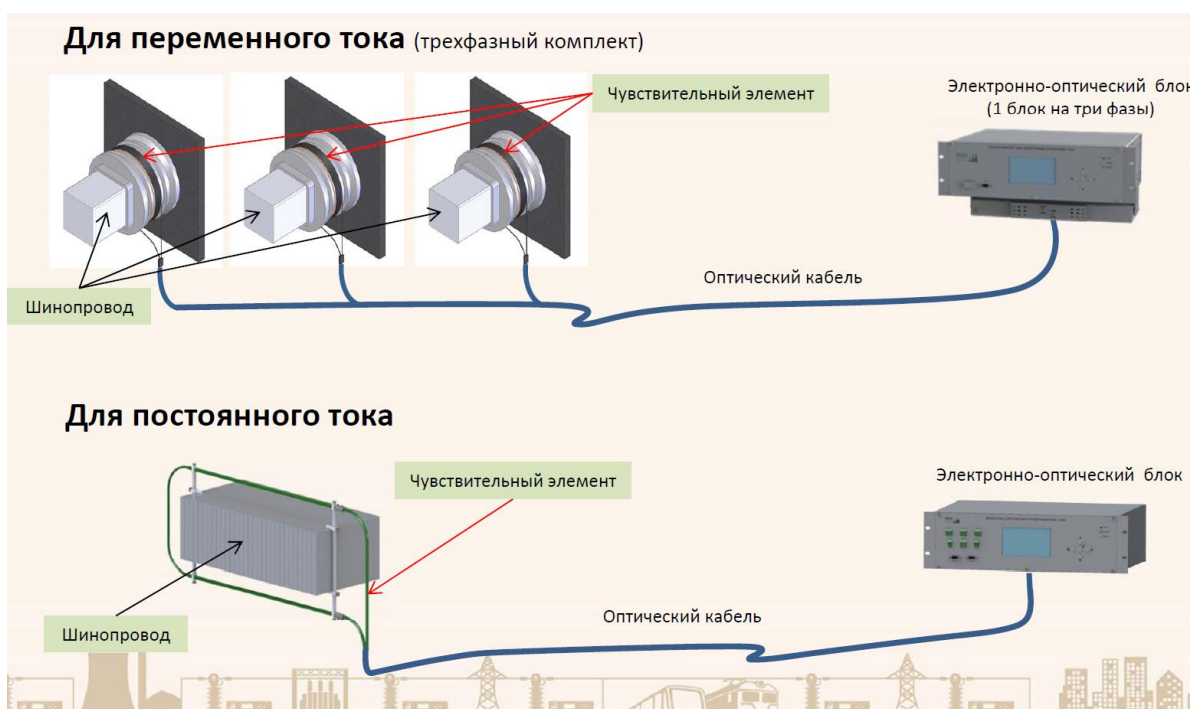


Рисунок 10 – Конструкция ОТТ с гибким чувствительным элементом

Отсутствие магнитопровода позволяет исключить нежелательное явление феррорезонанса, характерное для традиционных ТТ и ТН» [11,13].

Принимаются ТТ марки ТТЭО-10.

«Условия выбора ТТ:

$$U_{н.апн.} \geq U_{н.уст.},$$

$$I_{1н.} \geq I_{раб.мах.},$$

$$Z_n \geq Z_{2\Sigma}.$$

Проверка на термическую стойкость:

$$(\kappa_{тер.} \cdot I_{1н.})^2 \cdot t_{тер.} \geq B_k, \quad (13)$$

где  $\kappa_{тер.}$  – кратность стойкости;

$I_{1н.}$  – номинальный ток ТТ, кА.

Проверка на динамическую стойкость:

$$i_{дин.} = \kappa_{эд} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{1н.} \geq i_y, \quad (14)$$

где  $\kappa_{эд}$  – кратность стойкости» [5].

Проверка выбранных ТТ:

$$\begin{aligned} U_{н.ант.} = 10 \text{ кВ} &\geq U_{н.уст.} = 10 \text{ кВ}, \\ I_{1н.} = 1000(100...300) \text{ А} &\geq I_{раб.макс.} = 888(225) \text{ А}, \\ (310 \cdot 0,1)^2 \cdot 3 &= 2883 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} > 39,2 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}, \\ 400 \cdot \sqrt{2} \cdot 0,1 &= 56,56 \text{ кА} > 7,87 \text{ кА}. \end{aligned}$$

«Сопротивление нагрузки:

$$Z_{2\Sigma} = Z_{приб.} + Z_{пров.} + Z_{конт.}, \quad (15)$$

где  $Z_{приб.}$ ,  $Z_{пров.}$ ,  $Z_{конт.}$  – сопротивление приборов, проводов и контактов, Ом.

$$Z_{пров.} = \frac{l_{пров.} \cdot \rho}{s_{пров.}}, \quad (16)$$

где  $l_{пров.}$  – длина проводов, м;

$\rho$  – удельное сопротивление, Ом·мм<sup>2</sup>/м;

$s_{пров.}$  – сечение, мм<sup>2</sup>.

$$Z_{\text{приб.}} = \frac{S_{\text{приб.}}}{I_{\text{н.приб}}^2}, \quad (17)$$

где  $S_{\text{приб.}}$ ,  $I_{\text{н.приб}}$  – мощность, В·А, и рабочий ток прибора, А» [13].

$$S_{\text{приб.}} = \frac{1}{5^2} = 0,04 \text{ Ом},$$

$$Z_{\text{пров.}} = \frac{25 \cdot 0,0175}{4} = 0,109 \text{ Ом},$$

$$Z_{2\Sigma} = 0,04 + 0,109 + 0,1 = 0,249 \text{ Ом}.$$

Погрешность ТТ составит менее 10% [13].

Внешний вид ТТ – на рисунке 11.

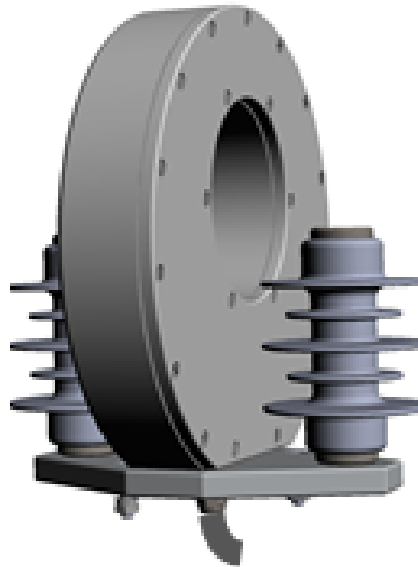


Рисунок 11 – Внешний вид ТТ

Принимаются ТН марки ТНЭО-10.

«Обеспечивая точное измерение изменений угла преломления и поляризации проходящей через ячейку Погкельса световой волны путем дополнительной компенсации различных погрешностей (в БЭО), ОТН



выполняет эффективное и точное преобразование величины первичного напряжения в пригодный и удобный для измерений и нужд РЗ.

Конструкция ОТН показана на рисунке 12.



Рисунок 12 – Конструкция оптического ТН

Модульная конструкция и отдельный БЭО обеспечивают максимальную совместимость с современным электрооборудованием благодаря единому потоку данных МЭК 61850 9 2 LE. Отсутствие магнитопровода позволяет исключить нежелательное явление феррорезонанса, характерное для традиционных ТТ и ТН» [20].

«Условия выбора ТН:

$$U_{ном} \geq U_{уст},$$

$$S_{ном} \geq S_{2\Sigma}.$$

$$U_{н.ант.} = 10 \text{ кВ} \geq U_{н.уст.} = 10 \text{ кВ},$$

$$S_{ном} = 200 \text{ ВА} \geq S_{2\Sigma} = 55 \text{ ВА}.$$

Принципы действия ОТТ и ОТН предполагают получение первичных данных в цифровом формате, что обеспечивает повышенную точность измерений. Современные ОТТ и ОТН имеют встроенные средства самодиагностики с цифровой передачей данных о текущем состоянии аппаратов. Это позволяет обеспечить повышенную надежность системы электроснабжения, снизить общие расходы на диагностику технического состояния» [11].

Актуальная нагрузка СН – 108,4 кВА.

Принимается два ТСН марки ТМГ12-100/10, внешний вид – на рисунке 13.



Рисунок 13 – Трансформатор ТМГ12

«Аварийный коэффициент загрузки:

$$K_3 = \frac{108,4}{100} = 1,08 < 1,4$$

Перегрузка будет менее допустимой 40%» [3].

Выбираются КРУ К-204ЭП, внешний вид – на рисунке 14.



Рисунок 14 – Внешний вид КРУ

## 2.4 Реконструкция внутреннего освещения РУ

Внутреннее освещение РУ выполнено на устаревших люминесцентных светильниках (основное освещение) и светильниках с лампами накаливания, имеет низкую энергоэффективность, надежность и экологичность, критический уровень износа. Далее рассчитывается новая система освещения на основе светодиодных светильников.

«Нормативная освещенность сведена в таблицу 5.

Таблица 5 – Нормативная освещенность

Помещения	Енор, лк
Основной участок	200
Аккумуляторная	300

Условия электроопасности и окружающей среды сведены в таблицу 6.

Таблица 6 – Условия электробезопасности и окружающей среды

Помещения	Электроопасность	Среда
Основной участок	Особо опасное	Нормальная
Аккумуляторная		

Расчет освещения необходимо провести методом «коэффициента использования светового потока» [19].

Расчет для основного участка.

«Индекс помещения:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)}, \quad (18)$$

где:  $A, B, h$  – длина, ширина и высота помещения, м.

$$i = \frac{12,3 \cdot 5,3}{4 \cdot (12,3 + 5,3)} = 0,926$$

Требуемый световой поток:

$$\Phi = \frac{E \cdot S \cdot K_z \cdot Z}{K_u}, \quad (19)$$

где  $E$  – нормируемая освещенность, лк;

$K_z$  – коэффициент запаса;

$Z$  – коэффициент минимальной освещенности;

$K_u$  – коэффициент использования светового потока.

$$\Phi = \frac{200 \cdot 95,4 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{0,71} = 30433,9 \text{ лм}$$

Количество светильников:

$$N = \frac{\Phi}{\Phi_c}, \quad (20)$$

где  $\Phi_c$  – световой поток светильника, лм» [19].

Применяем светильники NT-PROM-48 Ex.

$$N = \frac{30433,9}{5350} = 5,7 \approx 6 \text{ шт}$$

Для аккумуляторной, по (18-20):

$$i = \frac{1,01 \cdot 0,95}{4 \cdot (1,01 + 0,95)} = 0,122,$$

$$\Phi = \frac{300 \cdot 0,96 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{0,367} = 7293,6 \text{ лм},$$

$$N = \frac{6293,6}{5350} = 1,15 \approx 2 \text{ шт}.$$

«Для аварийного освещения применяем светильники АВАР RILUX 18 Вт» [19]. План системы освещения – на рисунке 15.

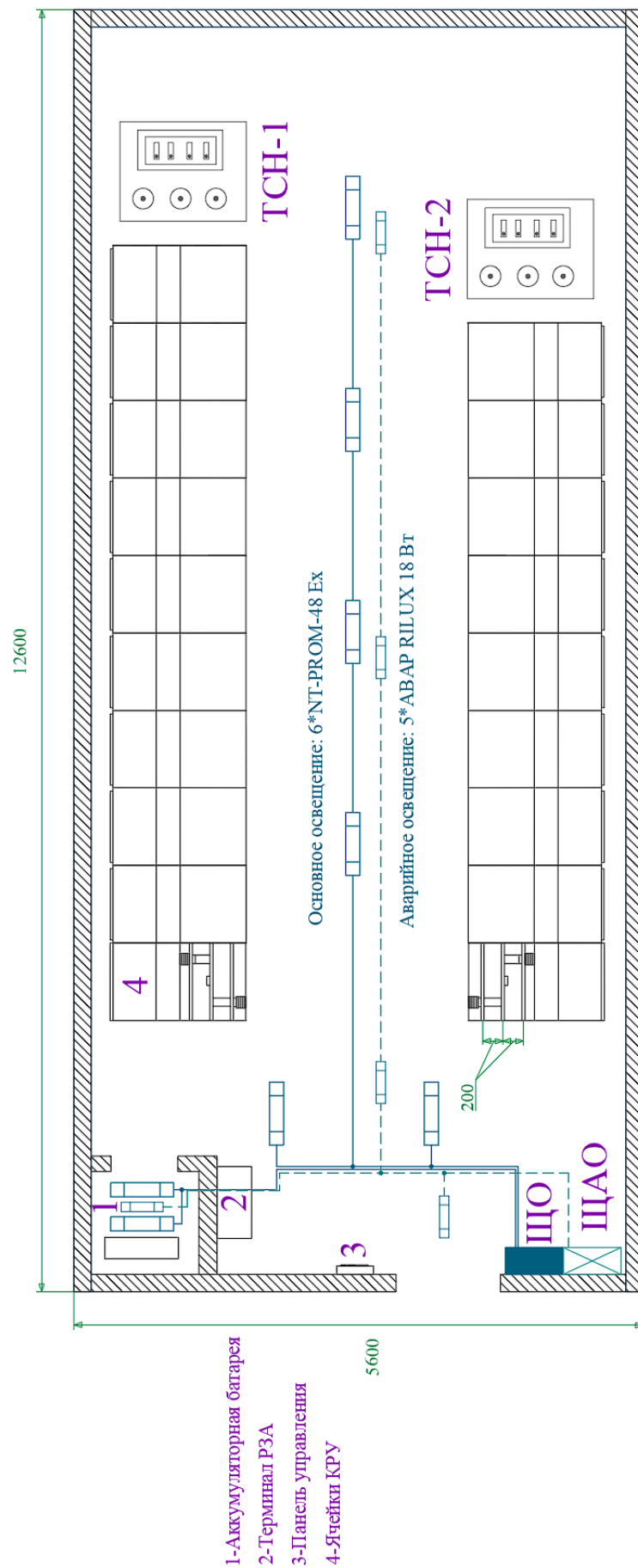


Рисунок 15 – План системы освещения

## 2.5 Заземление и молниезащита

«Удельное сопротивление грунта для электродов:

$$\rho_p = \rho \cdot K_c, \quad (21)$$

где  $\rho$  – удельное сопротивление, Ом·м;

$K_c$  – коэффициент сезонности.

$$\rho_{p6} = 2000 \cdot 1,1 = 2200 \text{ Ом} \cdot \text{м},$$

$$\rho_{p2} = 2000 \cdot 1,4 = 2800 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

Для вертикальных электродов (ВЭ) используем угловую сталь 50х50 мм, для горизонтального электрода (ГЭ) используем полосовую сталь 50х5 мм» [5,12]. Сопротивление ЗУ не должно превышать 4 Ом [15].

«Сопротивление растеканию одного ВЭ:

$$R_{овз} = \frac{\rho_{p6}}{2 \cdot \pi \cdot l} \left[ \ln \left( \frac{2 \cdot l}{d} \right) + 0,5 \cdot \ln \left( \frac{4 \cdot t + l}{4 \cdot t - l} \right) \right], \quad (22)$$

где  $l$  – длина ВЭ, м;

$d$  – приведенный диаметр, м;

$t$  – расстояние от поверхности до центра ВЭ, м.

$$d = 0,95 \cdot b, \quad (23)$$

где  $b$  – ширина уголка, м» [5].

Для одного ВЭ, по (22,23):

$$d = 0,95 \cdot 0,05 = 0,0475 \text{ м},$$

$$t = 3 / 2 + 0,8 = 2,3 \text{ м},$$

$$R_{\text{обэ}} = \frac{2200}{2 \cdot 3,14 \cdot 3} \left[ \ln \left( \frac{2 \cdot 3}{0,0475} \right) + 0,5 \cdot \ln \left( \frac{4 \cdot 2,3 + 3}{4 \cdot 2,3 - 3} \right) \right] = 46,87 \text{ Ом.}$$

«Расчетное число ВЭ:

$$n' = R_{\text{обэ}} / R_{\text{н}}, \quad (24)$$

где  $R_{\text{н}}$  – максимально допустимое сопротивление ЗУ, Ом» [5].

$$n' = 46,87 / 4 = 11,7 \approx 12 \text{ шт}$$

«Длина ГЭ:

$$l_z = 1,05 \cdot a \cdot n', \quad (25)$$

где  $a$  – расстояние между ВЭ, м.

$$a = l_{\text{пер}} / n', \quad (26)$$

где  $l_{\text{пер}}$  – периметр здания, м» [5].

$$l_{\text{пер}} = 2 \cdot (12,6 + 5,6) = 36,4 \text{ м,}$$

$$a = 36,4 / 12 = 3,03 \text{ м,}$$

$$l_z = 1,05 \cdot 3,03 \cdot 12 = 38,18 \text{ м.}$$

«Сопротивление растеканию ГЭ:

$$R_{\text{эз}} = \frac{\rho_{\text{рз}}}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \ln \left( \frac{l^2}{d \cdot t} \right), \quad (27)$$

где  $l$  – длина ГЭ, м;

$d$  – расчетный диаметр ГЭ, м;



$t$  – расстояние от поверхности до центра ГЭ, м.

$$d = 0,5 \cdot b, \quad (28)$$

где  $b$  – ширина полосы, м» [5].

Схема 3У – на рисунке 16.

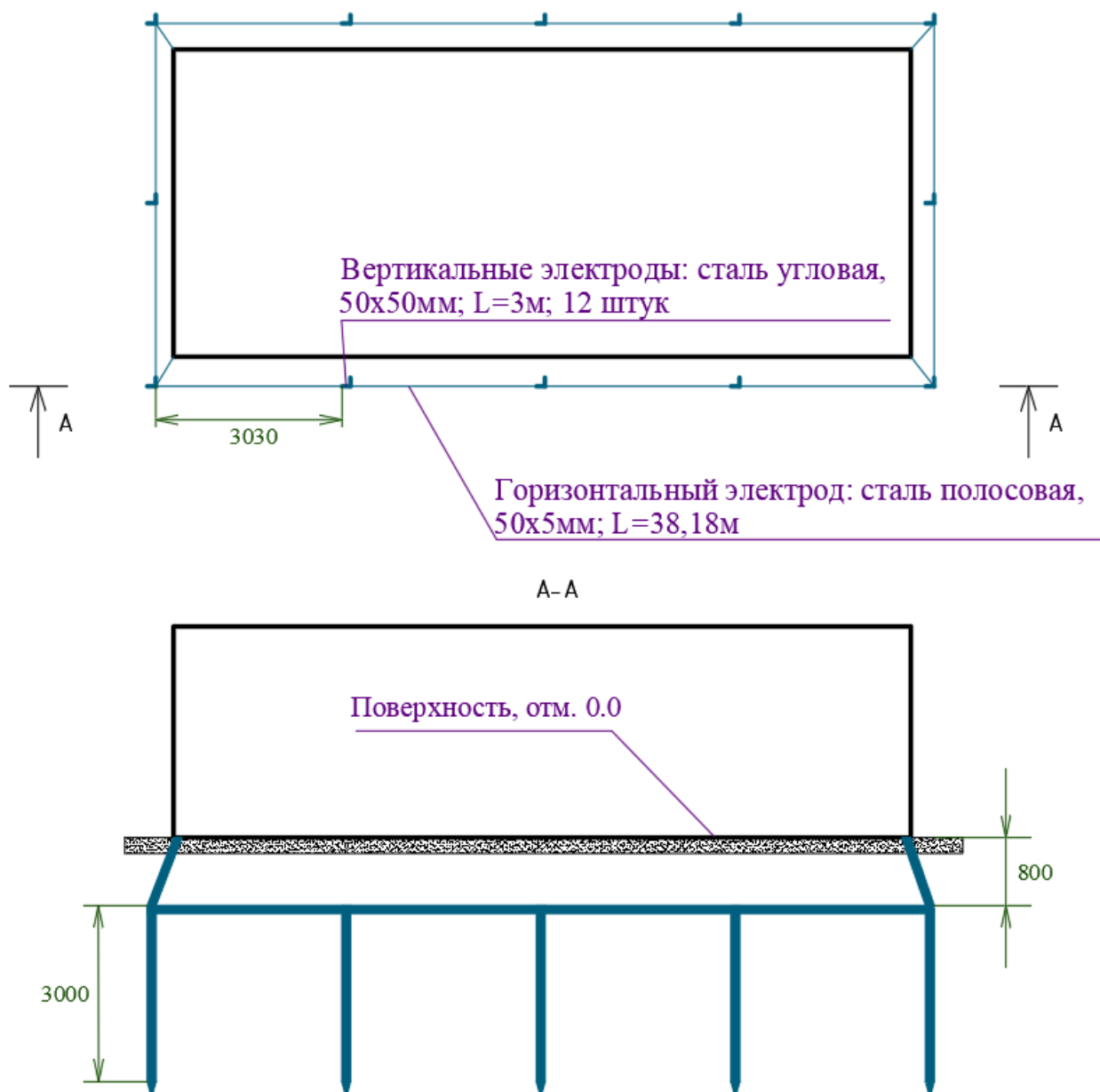


Рисунок 16 – Схема заземления

Для ГЭ, по (27,28):

$$d = 0,5 \cdot 0,05 = 0,025 \text{ м},$$

$$t = 0,05 / 2 + 0,8 = 0,825 \text{ м},$$

$$R_{зэ} = \frac{2800}{2 \cdot 3,14 \cdot 38,18} \cdot \ln \left( \frac{38,18^2}{0,025 \cdot 0,825} \right) = 2,597 \text{ Ом}.$$

«Сопротивление ЗУ:

$$R_{зр} = \frac{R_{оэз} \cdot R_{зэ}}{R_{оэз} \cdot \eta_6 \cdot n + R_{зэ} \cdot \eta_2}, \quad (29)$$

где  $\eta_6$  – коэффициент использования ВЭ;

$\eta_2$  – коэффициент использования ГЭ.

$$R_{зр} = \frac{46,87 \cdot 2,597}{46,87 \cdot 0,51 \cdot 16 + 2,597 \cdot 0,3} = 3,711 \text{ Ом} < 4 \text{ Ом}$$

«Исходя из небольшой относительной длины здания, принимаем тип молниезащиты: одиночный стержневой молниеотвод (МО) на крыше здания, в геометрическом центре защищаемой площади.

Так как МО будет установлен на крыше здания, то в данном случае достаточно рассчитать зону защиты на уровне крыши.

Радиус конуса защиты:

$$r_0 = 1,2 \cdot h, \quad (30)$$

где  $h$  – высота МО, м.

Высота конуса защиты:

$$h_0 = 0,85 \cdot h, \quad (31)$$

где  $h$  – высота МО, м.

Высоту МО подбираем эмпирически, так, чтобы обеспечивалась защищенность объекта:

$$\sqrt{(A/2)^2 + (B/2)^2} < r_0, \quad (32)$$

где  $A$  – длина здания, м;

$B$  – ширина здания, м.

Радиус конуса защиты, по (30):

$$r_0 = 1,2 \cdot 6 = 7,2 \text{ м}$$

Высота конуса защиты, по (31)» [5]:

$$h_0 = 0,85 \cdot 6 = 5,1 \text{ м}$$

Проверка зоны защиты, по (32):

$$\sqrt{(12,6/2)^2 + (5,6/2)^2} < 7,2,$$

$$\sqrt{(6,3)^2 + (2,8)^2} < 7,2,$$

$$6,89 \text{ м} < 7,2 \text{ м}.$$

Защита обеспечивается.

Схема молниезащиты – на рисунке 17.

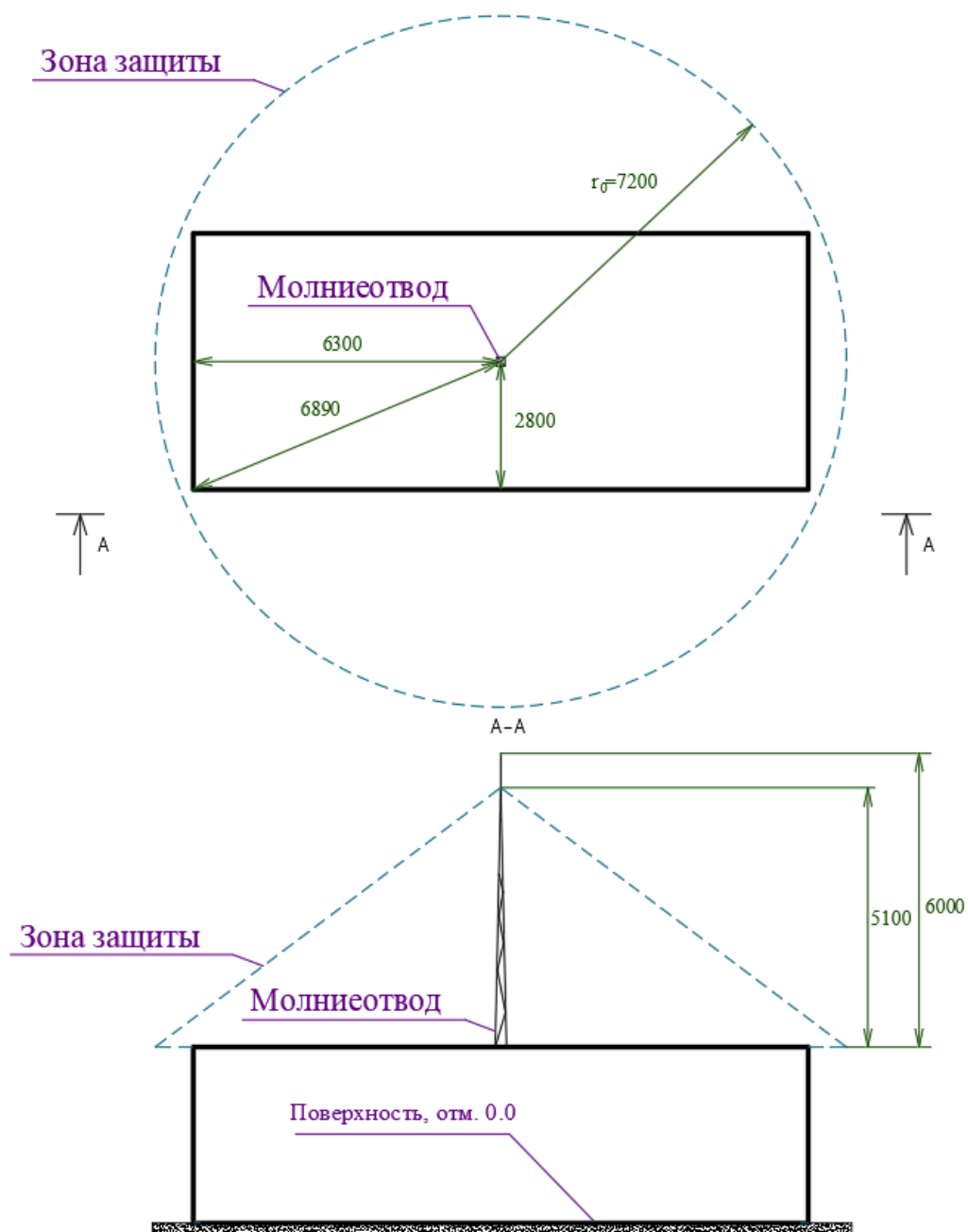


Рисунок 17 – Схема молниезащиты

Выводы. В соответствии с актуальными электрическими нагрузками потребителей выбрано новое оборудование электрической части РУ, которое ввиду высоких технико-эксплуатационных характеристик обеспечит надежное электроснабжение потребителей. ЭО проверено по допустимым параметрам. Новые заземляющее устройство и молниезащита обеспечат безопасную эксплуатацию РУ.

### 3 Микропроцессорная релейная защита

#### 3.1 Защита питающей линии и отходящих фидеров

«Защиту КЛ 10 кВ будут обеспечивать МУРЗ Сириус-2Л-02, внешний вид – на рисунке 18.



Рисунок 18 – МУРЗ Сириус-2Л-02

Токовая отсечка (ТО):

$$I_{C3} \geq K_{отс} \cdot I_{НОМ.Т} , \quad (33)$$

где  $K_{отс}$  – коэффициент отстройки.

МТЗ:

$$I_{C3} \geq \frac{K_H \cdot K_{C3}}{K_B} \cdot I_{p.макс}, \quad (34)$$

где  $I_{p.макс}$  – расчетный ток КЛ, А.

Ток срабатывания реле:

$$I_{CP} = I_{C3} \cdot \frac{k_{cx}}{n_T}, \quad (35)$$

где  $k_{cx}$  – коэффициент схемы подключения ТТ;

$n_T$  – коэффициент трансформации ТТ.

Коэффициент чувствительности защиты» [1]:

$$k_q = \frac{I_K^{(2)}}{I_{C3}}, \quad (36)$$

«Защита от замыканий на землю (ЗНЗ). Ток срабатывания:

$$I_{C.з.} \geq k_{отс} \cdot k_B \cdot I_C, \quad (37)$$

где  $k_{отс}$  – коэффициент отстройки;

$k_B$  – коэффициент броска тока;

$I_C$  – ёмкостный ток, А.

$$I_C = I_{CO} \cdot L, \quad (38)$$

где  $I_{CO}$  – удельный ёмкостный ток, А/км;

$L$  – длина линии, км» [4].

Для фидера 1 по (33-38):

$$I_{C3} \geq 5 \cdot 0,199 = 0,997 \text{ кА},$$

$$I_{C3} \geq \frac{1,1 \cdot 1,18}{0,935} \cdot 398,6 = 553,4 \text{ А},$$

$$I_{CP} = 553,4 \cdot \frac{1}{400/5} = 6,9 \text{ А},$$

$$k_u = \frac{2879}{398,6} = 5,2 \geq 1,5,$$

$$I_C = 1,18 \cdot 1,11 = 1,3 \text{ А},$$

$$I_{C.3} \geq 1,2 \cdot 2,5 \cdot 1,3 = 3,9 \text{ А}.$$

Результаты сведены в таблицу 7.

Таблица 7 – Уставки РЗ фидеров

Фидеры, №	Исз ТО, кА	Исз МТЗ, А	Кч МТЗ	Исз ЗНЗ, А
1	0,997	553,4	5,2	3,9
2	0,93	514,8	5,5	3,7
3	1,50	830,7	3,5	5,1
4	0,65	179,8	13,4	2,3
5	0,46	128,3	18,4	2,5
6	0,49	135,5	17,6	2,4

Автоматический ввод резерва обеспечит бесперебойное питание потребителей 1 категории.

### 3.2 Автоматический ввод резерва

«Лицевая панель терминала Сириус-АВР – на рисунке 19.



Рисунок 19 – Лицевая панель Сириус-АВР

Уставки АВР по напряжению.

Первая уставка:

$$U_{CP1} = (0,25 - 0,4) \cdot U_{НОМ}, \quad (39)$$

$$U_{CP1} = 0,4 \cdot 10,5 = 4,2 \text{ кВ.}$$

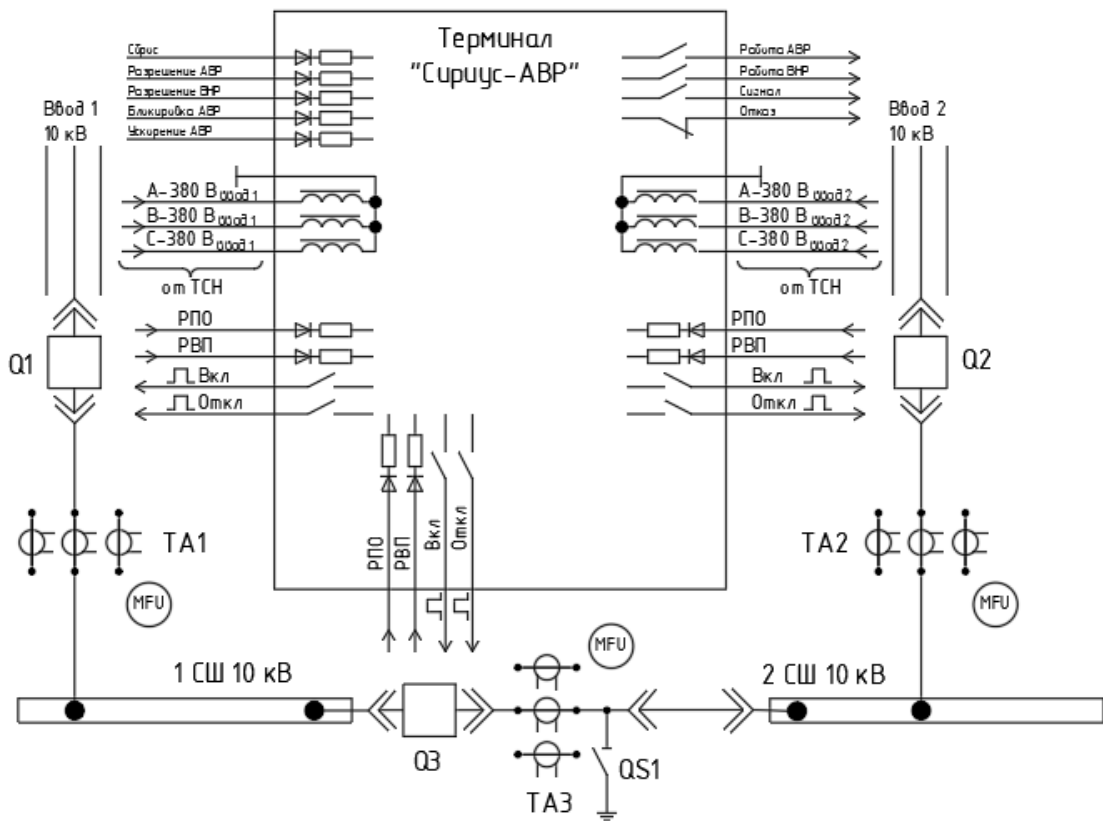
Вторая уставка:

$$U_{CP2} = (0,65 - 0,7) \cdot U_{НОМ}, \quad (40)$$

$$U_{CP2} = 0,7 \cdot 10,5 = 7,4 \text{ кВ.}$$

Схема АВР – на рисунке 20.





Зона	Поз. обозн.	Обозначение	Кол.	Примечание
		Высоковольтные выключатели		
	Q1..Q3	ВВ/TEL-10	3	
		Трансформаторы тока		
	TA1..TA3	ТТЭ0-10	3	
		Разъединитель		
	QS1	РВ-10	1	

Рисунок 20 – Схема АВР

Первая уставка по времени:

$$t_{ABP1} = t_{C3.макс} + \Delta t, \quad (41)$$

где  $t_{C3.макс}$  – время АВР, 9 с;

$\Delta t$  – выдержка селективности, с.

Вторая уставка по времени:

$$t_{ABP2} = t_{CB} + t_{зан}, \quad (42)$$

где  $t_{CB}$  – время включения выключателя, с;

$t_{зан}$  – запас времени, с» [9].

$$t_{ABP1} = 9 + 0,5 = 9,5 \text{ с},$$

$$t_{ABP2} = 0,1 + 0,4 = 0,5 \text{ с}.$$

Настройка и наладка релейной защиты будет проводиться с помощью поставляемого производителем программного обеспечения (ПО).

### 3.3 Программное обеспечение релейной защиты

«Уставки РЗ задаются программно.

Поставщиком терминалов РЗ также предоставляется специализированное ПО. На рисунке 21 показано главное окно ПО Старт-3.

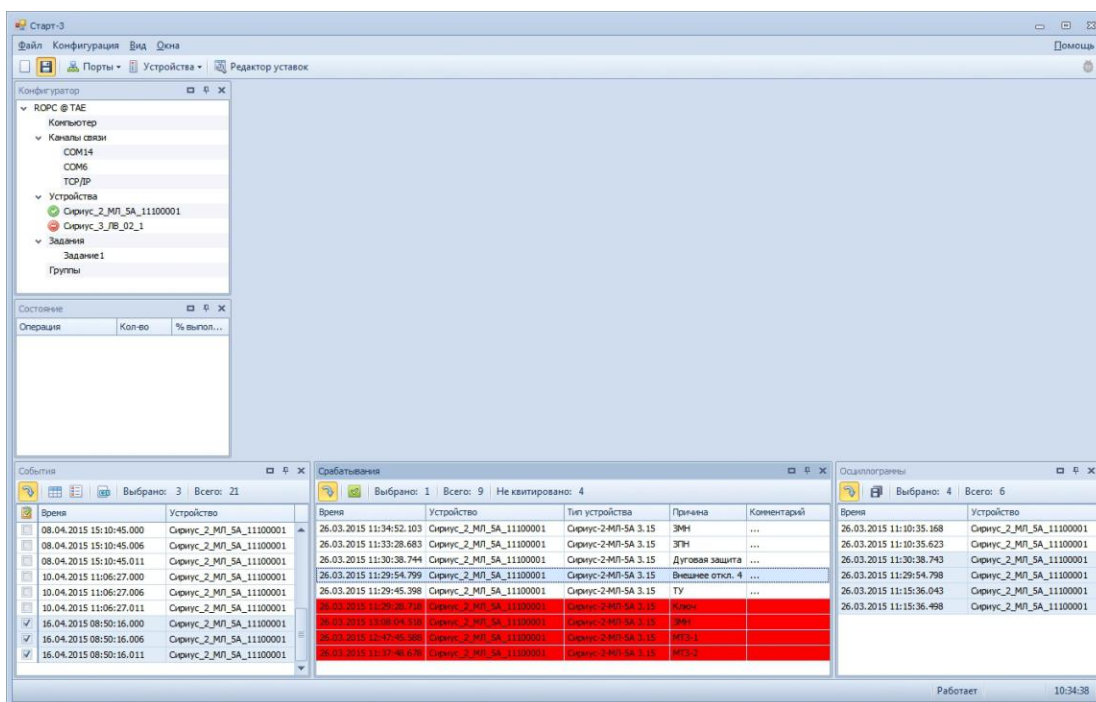


Рисунок 21 – Главное окно ПО Старт-3

Применение микропроцессорных терминалов РЗ позволит обеспечить эффективную защиту элементов СЭС согласно актуальным требованиям, также данные терминалы поддерживают передачу данных о работе РЗ и состоянии подконтрольных элементов в цифровую сеть предприятия, обеспечивают дистанционное управление выключателями.

На рисунке 22 показано окно ПО Старт-3 для расширенного анализа параметров режима работы электрических сетей (анализ гармоник, построение осциллограмм и т.д.)» [11].

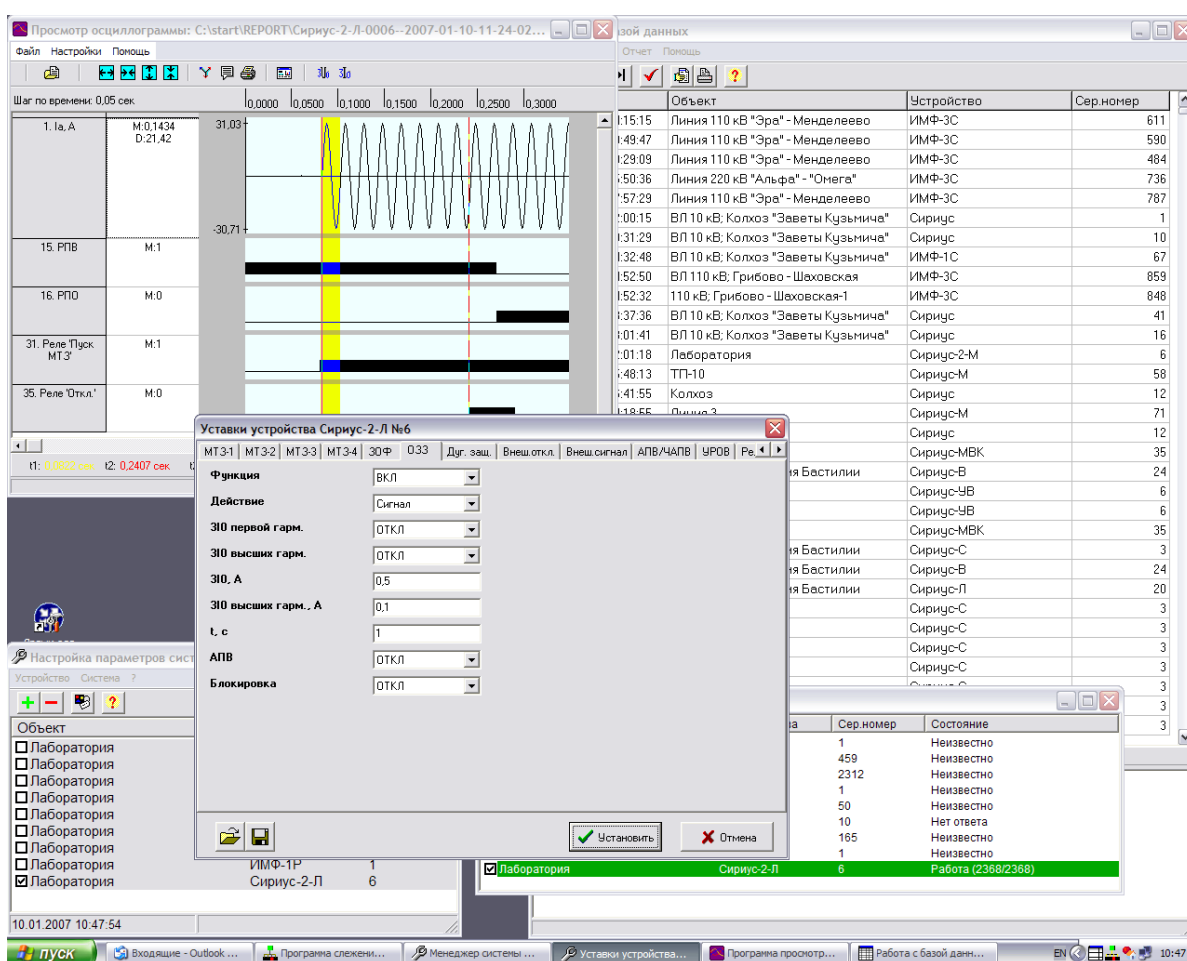


Рисунок 22 – Окно ПО Старт-3

Выводы. Современная микропроцессорная РЗА обеспечит должный уровень защиты электрооборудования РУ, питающей и отходящей КЛ 10 кВ. Определены уставки РЗА, рассмотрено ПО.

## Заключение

В соответствии с величинами актуальных электрических нагрузок потребителей нефтеперекачивающей станции №2 ООО «Ноябрьскэнергонепфть», предложены мероприятия по реконструкции действующего РУ 10 кВ, обеспечивающего электроснабжение потребителей НПС. Разработаны и предложены к реализации соответствующие технические решения:

- выбрано новое современное электрооборудование отечественного производства. Высоковольтные выключатели будут установлены вакуумного типа: ВВ/TEL-10/1000 на вводах ЗРУ и ВВ/TEL-10/630 на фидерах, что позволит повысить скорость и надежность коммутации цепей под нагрузкой и при аварийных отключениях, сократит эксплуатационные экономические и трудовые расходы на выключатели. Будут установлены разъединители марок: РВ-10/1000, РВ-10/400, электронно-оптические измерительные трансформаторы: ТТЭО-10/1000, ТТЭО-10/100...600, ТНЭО-10, применение оптических ТТ и ТН намного повысит точность измерений и работы релейной защиты и автоматики, также существенно повысится надежность всей системы измерений в целом. Нелинейные ограничители перенапряжений серии ОПН обеспечат высокий уровень защиты от перенапряжений, на отходящих фидерах необходимо установить дополнительные ОПН, что обеспечит нормальный режим работы вакуумных выключателей и ускоренное гашение электрической дуги при коммутации. Будут установлены энергоэффективные необслуживаемые трансформаторы собственных нужд ТМГ12-100, это уменьшит потери мощности и электроэнергии в ТСН и снизит расход энергии на собственные нужды в целом;

- в релейной защите и автоматике будут установлены микропроцессорные терминалы: Сириус-2Л-02 (защита отходящих фидеров), Сириус-АВР (автоматический ввод резерва на шинах 10 кВ). Будет повышена надежность и точность работы РЗА, ее удаленная настройка, мониторинг режимов работы и администрирование, а также автоматическая передача данных (в цифровом формате) в автоматизированную систему управления технологическими процессами (АСУТП). Комплектное поставляемое программное обеспечение от поставщика терминалов РЗА имеет понятный интуитивный интерфейс и расширенные функциональные возможности;
- выбранное новое электрооборудование закрытого распределительного устройства будет размещено в современных ячейках комплектных распределительных устройств марки К-204ЭП. Это упростит монтаж, замену и техническое обслуживание ЭО, обеспечит безопасную и удобную работу ремонтного и эксплуатационного персонала. Мнемосхема на лицевых панелях КРУ будет показывать состояние всего основного электрооборудования. Встроенная система защитных блокировок КРУ обеспечит отсутствие напряжения на элементах при проведении различных работ;
- спроектировано заземляющее устройство, расчетное эквивалентное сопротивление составило 3,77 Ом, что с запасом обеспечивает его надежную работу, согласно условиям ПУЭ (не более 4 Ом), также спроектирована молниезащита.

Предложенный вариант реконструкции РУ обеспечит его надежную эксплуатацию, с соблюдением всех нормативных требований, надежная и безопасная работа оборудования снизит риски для персонала и сократит экономические и трудовые эксплуатационные затраты.

## Список используемых источников

1. Бирюлин В.И. Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем : учебное пособие. М. : Инфра-Инженерия, 2022. 164 с.
2. Вантеев А. И. Обслуживание электрических подстанций: теория и практика : учебное пособие. М. : Инфра-Инженерия, 2021. 368 с.
3. Галишников Ю. П. Трансформаторы и электрические машины : курс лекций. М. : Инфра-Инженерия, 2021. 216 с.
4. Горемыкин С. А. Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем : учебное пособие. М. : ИНФРА-М, 2023. 191 с.
5. Грунтович Н. В. Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования : учебное пособие. М. : ИНФРА-М, 2023. 271 с.
6. Гуревич В. И. Защита оборудования подстанций от электромагнитного импульса : учебно-практическое пособие. М. : Инфра-Инженерия, 2023. 304 с.
7. Дубинский Г.Н. Наладка устройств электроснабжения напряжением выше 1000 В : учебное пособие. – 2-е изд., испр. и доп. М. : СОЛОН-Пресс, 2020. 538 с.
8. Иванов С.Н. Надежность электроснабжения : учебное пособие. М. : Инфра-Инженерия, 2022. 164 с.
9. Куксин А. В. Релейная защита электроэнергетических систем : учебное пособие. – М. : Инфра-Инженерия, 2021. 200 с.
10. Лакомов И. В. Техническое обслуживание электроустановок : учебное пособие. М. : Инфра-Инженерия, 2021. 152 с.
11. Любарский Ю. Я. Интеллектуальные электрические сети: компьютерная поддержка диспетчерских решений : учебное пособие. М. : ИНФРА-М, 2022. 160 с.

12. Монаков В. К. Электробезопасность: теория и практика : монография. – 2-изд. М. : Инфра-Инженерия, 2023. 184 с.
13. Немировский А. Е. Электрооборудование электрических сетей, станций и подстанций : учебное пособие. М. : Инфра-Инженерия, 2023. 176 с.
14. Петухов Р.А. Электроснабжение : учебное пособие. Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2022. 328 с.
15. Правила устройства электроустановок: действующие разделы 6-го и 7-го изданий. М. : ИНФРА-М, 2023. 832 с.
16. РД 153-34.0-20.527-98. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания. М. : Издательство НЦ ЭНАС, 2002. 149 с.
17. Сибикин Ю. Д. Современные электрические подстанции : учебное пособие. – 2-е изд., доп. М. : ИНФРА-М, 2023. 417 с.
18. Хорольский В.Я. Эксплуатация систем электроснабжения : учебное пособие. М. : ИНФРА-М, 2021. 288 с.
19. Шеховцов В. П. Осветительные установки промышленных и гражданских объектов : учебное пособие . М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2022. 158 с.
20. Школа для электрика. Сайт. [Электронный ресурс]. – <http://electricalschool.info/> (дата обращения: 20.11.2023).