

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 электрической части распределительного пункта 6кВ ПАО
Саратовского нефтеперерабатывающего завода»

Обучающийся

С.Б. Туктаров

(И. О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н. В.И. Платов

(ученая степень, звание, И. О. Фамилия)

Тольятти 2023

Аннотация

Объектом разработки является распределительный пункт 6кВ ПАО Саратовского нефтеперерабатывающего завода.

Цель работы: реконструкция электрической части распределительного пункта 6кВ ПАО Саратовского нефтеперерабатывающего завода.

В ходе выполнения работы были рассмотрены следующие вопросы:

- расчет электрических нагрузок;
- расчет токов короткого замыкания;
- выбор кабельных и коммутационных аппаратов;
- расчет системы РЗиА;
- расчет системы освещения;
- расчет заземления и молнезащиты.

Результатом настоящей выпускной квалификационной работы является проект реконструкции распределительного устройства 6кВ, системы освещения здания распределительного устройства, а также системы заземления и молниезащиты.

В работе выдержаны требования действующих ГОСТов, норм и правил устройства электрических установок.

Содержание

Введение.....	4
1 Обоснование целей, задач и объема реконструкции	5
2 Расчет электрических нагрузок и выбор оборудования подстанции	7
2.1 Расчет электрических нагрузок.....	7
2.2 Расчет токов короткого замыкания	10
2.3 Выбор кабелей и коммутационных аппаратов.....	14
3 Обеспечение безопасности, надежности и эргономичности подстанции	22
3.1 Расчет системы РЗА	22
3.2 Расчет системы освещения.....	23
3.3 Расчет заземления и молниезащиты подстанции.....	44
Заключение	50
Список используемых источников.....	51

Введение

Целью данной выпускной работы является проектирование электрической части распределительного пункта 6кВ ПАО Саратовского нефтеперерабатывающего завода.

Модернизация РП необходима в связи с физическим и моральным старением оборудования, отсутствием резервных запчастей, а также данная подстанция не имеет резервных ячеек для подключения новых мощностей.

Большинства силового коммутационного электрооборудования снято с производства, отсутствуют запасные детали для текущего ремонта и обслуживания выключателей, разъединителей и т.п. Оборудование полностью амортизировано, морально и физически изношено и устарело.

Установка нового, современного оборудования в ходе реконструкции приведет к уменьшению трудовых и материальных затрат на техническую эксплуатацию оборудования. Позволит быстро и безопасно производить оперативные переключения, что значительно сократит простой технологического процесса во время аварий и инцидентов.

Годовое число часов использования максимума нагрузки составляет 7650 ч/год.

РУ-6кВ представляет собой ячейки КРУ с выдвижным механизмом коммутационных аппаратов. Коммутационные аппараты представлены вакуумными выключателями. В качестве системы управления и защиты используются микропроцессорные терминалы защит.

Электропитание обеспечивается от ячейки 3 (секция I) и ячейка 32 (секция II) главного распределительного устройства 6кВ ТЭЦ. Электропитание осуществляется через существующую кабельную линию АСБ-3(3×150).

Силовые кабели прокладываются по существующим кабельным конструкциям.

1 Обоснование целей, задач и объема реконструкции

Целью выпускной работы является повышение надежности электроснабжения, повышение эксплуатационной гибкости, улучшение условий труда эксплуатирующего персонала, увеличение пропускной способности электрической распределительного пункта, который запитывает часть технологических установок ПАО Саратовского нефтеперерабатывающего завода. Достигаться данные цели будут путем реконструкции системы электроснабжения предприятия.

Существующий РП укомплектовано ячейками К-3у с масляными выключателями ВМГ-133 и приводом ППМ-10.

Некоторые ячейки и опорные швеллера подверглись деформации, что оказалось причиной перекоса ячеек. Из-за данного перекоса при вкатывании/выкатывании выключателя появляются закливания тележки.

Данное оборудование снято с производства, отсутствуют запасные детали для текущего ремонта и обслуживания выключателя. Оборудование полностью амортизировано, морально и физически изношено и устарело.

Существующий распределительный пункт не имеет резервных ячеек, что не дает возможность расширения для подключения новых мощностей.

Установка нового, современного оборудования в ходе реконструкции приведет к уменьшению трудовых и материальных затрат на техническую эксплуатацию оборудования. Позволит быстро и безопасно производить оперативные переключения, что значительно сократит простой технологического процесса во время аварий и инцидентов.

Использование устаревшего оборудования приводит к частым внеплановым и аварийным отключениям из-за технических неполадок или самопроизвольного отказа данного оборудование. Такие отключения влекут за собой нарушение производственного процесса, вызывают простой технологического оборудования.

В данной работе в объем реконструкции будет включать в себя

рассмотрение следующих вопросов:

- расчет электрических нагрузок;
- расчет токов короткого замыкания;
- выбор кабельных, силовых и коммутационных аппаратов;
- расчет системы РЗА;
- расчет системы освещения;
- расчет заземления и молнезащиты.

Реконструкция представляет собой процесс принятия решений по схемам электрических соединений, составу и компоновке электрооборудования, так же связано со множеством электрических расчетов для выбора оборудования, его конструктивных исполнений, настройки уставок релейной защиты, для защиты данного оборудования.

2 Расчет электрических нагрузок и выбор оборудования подстанции

2.1 Расчет электрических нагрузок

Проектируемая распределительный пункт служит для электроснабжения ряда трансформаторных подстанций технологических установок завода. Расчетные данные потребителей приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики потребителей 6кВ

Наименование потребителя	S_n , кВА	$\cos\varphi$	K_u
РТП-138 Ввод 1	1730	0,85	0,6
РТП-138 Ввод 2	1730	0,85	0,6
РТП-109 Ввод 1	3200	0,85	0,6
РТП-109 Ввод 2	3200	0,85	0,6
РТП-98 Ввод 1	3000	0,85	0,6
РТП-98 Ввод 2	3000	0,85	0,6
РТП-94 Ввод 1	1300	0,85	0,6
РТП-94 Ввод 2	1300	0,85	0,6
ТП-139А Т1	1600	0,85	0,6
ТП-139А Т2	1600	0,85	0,6
ТП-104 Т1	1000	0,85	0,6
ТП-104 Т2	1000	0,85	0,6
ТП-85 Т1	1600	0,85	0,6
ТП-85 Т2	1600	0,85	0,6
ТП-55 Т1	1000	0,85	0,6
ТП-55 Т2	1000	0,85	0,6
ТП-93Б Т1	1600	0,85	0,6
ТП-93Б Т2	1600	0,85	0,6

«Расчетная активная нагрузка предприятия (на шинах напряжением 6-10кВ РП, ГПП или ГПВ) определяется по формуле:

$$P_p = K_o \cdot \sum_{i=1}^m (K_{ui} \cdot P_{ni}) + P_{po} + \Delta P_T, \quad (1)$$

где K_o – коэффициент одновременности максимумов нагрузок;

m – число присоединений на сборных шинах 6-10кВ РП, ГПП или ГПВ, включая высоковольтные электроприемники;

K_{ui} – среднее значение коэффициента использования i -ого присоединения;

P_{ni} – суммарная номинальная мощность электроприемников i -ого присоединения;

P_{po} – суммарная расчетная активная осветительная нагрузка i -ого присоединения;

ΔP_T – потери активной мощности трансформаторов i -ого присоединения.

Расчетная реактивная нагрузка предприятия на шинах напряжением 6-10кВ РП, ГПП или ГПВ определяется по выражению:

$$Q_p = K_o \cdot \sum_{i=1}^m (K_{ui} \cdot P_{ni} \cdot tg\varphi) + Q_{po} + \Delta Q_T, \quad (2)$$

где $tg\varphi$ – среднее значение коэффициента реактивной мощности i -ого присоединения;

Q_{po} – суммарная расчетная реактивная осветительная нагрузка i -ого присоединения;

ΔQ_T – потери реактивной мощности трансформаторов i -ого присоединения» [19].

Групповой коэффициент использования:

$$K_u = \frac{\sum P_{ni} \cdot K_{ui}}{\sum P_{ni}}. \quad (3)$$

Коэффициент одновременности K_o определяется по [19, таблица 3].

Рассчитаем значение K_u для нагрузки 1 секции:

$$K_u = \frac{0,6 \cdot (1730 + 3200 + 3000 + 1300 + 1600 + 100 + 1600 + 1000 + 1600)}{1730 + 3200 + 3000 + 1300 + 1600 + 100 + 1600 + 1000 + 1600} = 0,6.$$

По рассчитанному значению K_u и количеству подключенных фидеров по [19, таблица 3] принимаем $K_o = 0,9$.

Расчетная нагрузка 1 секции:

$$P_p = 0,9 \cdot 0,6 \cdot (1730 + 3200 + 3000 + 1300 + 1600 + 1000 + 1600 + 1000 + 1600) = 7358 \text{ кВт};$$

$$Q_p = 0,9 \cdot (0,6 \cdot (0,62 \cdot 1730 + 0,62 \cdot 3200 + 0,62 \cdot 3000 + 0,62 \cdot 1600 + 0,52 \cdot 1000 + 0,62 \cdot 1600 + 0,62 \cdot 1000 + 0,62 \cdot 1600)) = 4560 \text{ квар.}$$

Расчет нагрузок на шинах 6кВ оформлен в таблице 2

Таблица 2 – Определение расчетных нагрузок

Наименование ЭП	P_n , кВт	k_u	$tg\varphi$	$K_u \cdot P_n$	$K_u \cdot P_n \cdot tg\varphi$	K_o	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА	I_p , А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1 секция										
РТП-138 Ввод 1	1470	0,6	0,62	882	546,6	-	-	-	-	-
РТП-109 Ввод 1	2720	0,6	0,62	1632	1011	-	-	-	-	-
РТП-98 Ввод 1	2550	0,6	0,62	1530	948,2	-	-	-	-	-
РТП-94 Ввод 1	1105	0,6	0,62	663	410,9	-	-	-	-	-
ТП-139А Т1	1360	0,6	0,62	816	505,7	-	-	-	-	-
ТП-104 Т1	850	0,6	0,62	510	316,1	-	-	-	-	-
ТП-85 Т1	1360	0,6	0,62	816	505,7	-	-	-	-	-
ТП-55 Т1	850	0,6	0,62	510	316,1	-	-	-	-	-
ТП-93Б Т1	1360	0,6	0,62	816	505,7	-	-	-	-	-
Итого по 1 секции	13625	0,6	0,62	8175	5066	0,9	7358	4560	8656	793
2 секция										
РТП-138 Ввод 1	1470	0,6	0,62	882	546,6	-	-	-	-	-
РТП-109 Ввод 1	2720	0,6	0,62	1632	1011	-	-	-	-	-
РТП-98 Ввод 1	2550	0,6	0,62	1530	948,2	-	-	-	-	-
РТП-94 Ввод 1	1105	0,6	0,62	663	410,9	-	-	-	-	-
ТП-139А Т1	1360	0,6	0,62	816	505,7	-	-	-	-	-

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ТП-104 Т1	850	0,6	0,62	510	316,1	-	-	-	-	-
ТП-85 Т1	1360	0,6	0,62	816	505,7	-	-	-	-	-
ТП-55 Т1	850	0,6	0,62	510	316,1	-	-	-	-	-
ТП-93Б Т1	1360	0,6	0,62	816	505,7	-	-	-	-	-
Итого по 2 секции	13625	0,6	0,62	8175	5066	0,9	7358	4560	8656	793

2.2 Расчет токов короткого замыкания

Для расчета токов КЗ в сети выше 1000В используется ГОСТ 27514-87 [4] и РД 153-34.0-20.527-98 [17].

«Для выбора и проверки электрооборудования допускается упрощенные методы расчета токов КЗ, если их погрешность не превышает 5-10%. При этом определяют:

- начальное значение периодической составляющей тока КЗ;
- ударный ток КЗ.» [4, п. 1.1.3].

«При приближенных расчётах начальное действующее значение периодической составляющей тока в месте КЗ допускается определять по методу эквивалентного генератора, приняв ЭДС всех источников электроэнергии равной нулю и используя формулу

$$I_{n0} = \frac{U_0}{\sqrt{3} \cdot x_{\text{экв}}}, \quad (4)$$

где U_0 – номинальное напряжение (линейное сети) сети, в которой произошло короткое замыкание, кВ;

$x_{\text{экв}}$ – результирующее эквивалентное сопротивление расчётной схемы относительно точки КЗ, Ом.» [4, п. 2.6].

«Если расчетная схема содержит только последовательно включенные элементы, то ударный ток следует определять по формуле:

$$i_{y\partial} = \sqrt{2} \cdot I_{n0} \cdot K_{y\partial}, \quad (5)$$

где $K_{y\partial}$ – ударный коэффициент.» [17, п. 5.4.4].

Для оценки термической стойкости элементов электрической сети используется понятие импульс квадратичного тока, который рассчитывается как [21]:

$$B_k = I_{n0}^2 (t_{окл} + T_a), \quad (6)$$

где $t_{окл}$ - время действия защиты;

T_a - постоянная времени [1, таблица 2.3].

Для каждого участка схемы питания примем следующие времена действия защит [5]:

- питающая линия - 1;
- ввод РУ-6кВ - 0,6с;
- отходящие линии РУ-6кВ - 0,2...0,4с.

Расчетная схема участка сети представлена на рисунке 1.

«Если для конкретного узла сети известно значение тока трехфазного КЗ от системы $I_{кз.с}$, то эквивалентное индуктивное сопротивление системы в омах может быть определено по выражению [3]:

$$X_c = \frac{U_{ср.ном}}{\sqrt{3} \cdot I_{кз.с}}, \quad (7)$$

где $U_{ср.ном}$ – среднее номинальное напряжение сети соответствующей ступени напряжения, в узле которой известно $I_{кз.с}$.» [4, п. 1.2.2].

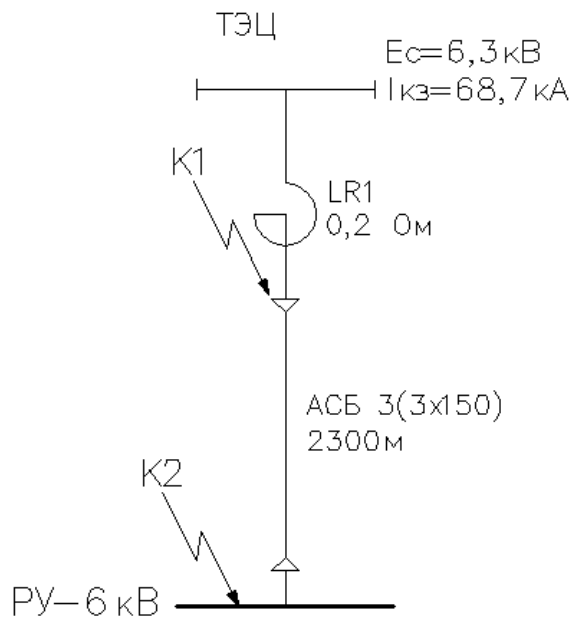


Рисунок 1 – Расчетная схема

«Сопротивление линии электропередач:

$$R_L = R_{L,y\delta} \cdot L, \quad (8)$$

$$X_L = X_{L,y\delta} \cdot L, \quad (9)$$

где $R_{L,y\delta}$, $X_{L,y\delta}$ - удельное активное и реактивное сопротивления кабеля соответственно, Ом/км.

L – длина линии, км» [2].

Сопротивление системы:

$$X_c = \frac{6,3}{\sqrt{3} \cdot 68,7} = 0,053 \text{ Ом.}$$

Активное и индуктивное сопротивления питающей кабельной линии соответственно:

$$R_L = \frac{0,206 \cdot 2,3}{3} = 0,158 \text{ Ом},$$

$$X_L = \frac{0,074 \cdot 2,3}{3} = 0,058 \text{ Ом},$$

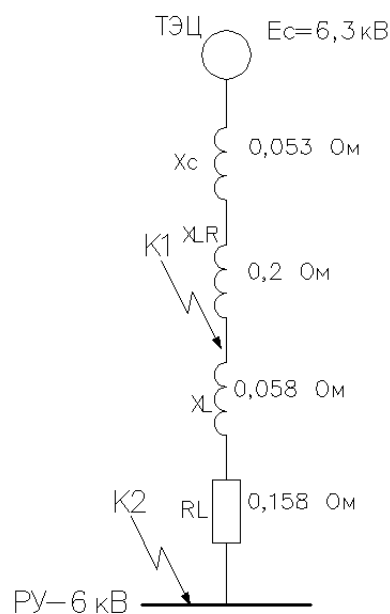


Рисунок 2 – Схема замещения

Действующее значение тока КЗ, ударный ток КЗ и импульс квадратичного тока для точки *K1*:

$$I_{n0(K1)} = \frac{6,3}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{0^2 + (0,053 + 0,2)^2}} = 14,4 \text{ кА},$$

$$i_{y\partial} = \sqrt{2} \cdot 14,4 \cdot 1,8 = 36,6 \text{ кА},$$

$$B_{\kappa(K1)} = 14,4^2 \cdot (1 + 0,04) = 215 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Действующее значение тока КЗ, ударный ток КЗ и импульс квадратичного тока для точки *K2*:

$$I_{n0(K1)} = \frac{6,3}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{0,158^2 + (0,053 + 0,2 + 0,058)^2}} = 10,5 \text{ кА},$$

$$i_{y\partial} = \sqrt{2} \cdot 10,5 \cdot 1,8 = 26,6 \text{ кА},$$

$$B_{\kappa(K1.1)} = 10,5^2 \cdot (0,6 + 0,04) = 70,1 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

2.3 Выбор кабелей и коммутационных аппаратов

Сперва определим значения токов в линиях.

Расчетный ток для линий ТП:

$$I_{p(ТП)} = \frac{S_T}{\sqrt{3} \cdot U_H}. \quad (10)$$

Расчетный ток в линии к РТП:

$$I_{p(РТП)} = \frac{S_{РТП}}{\sqrt{3} \cdot U_H}. \quad (11)$$

Определение токов отходящих линий произведено в таблице 3.

Таблица 3 – Расчетные токи линий 6кВ

Линия	Нагрузка S_n , кВА	I_p , А
1	2	3
РТП-138 Ввод 1	1730	159
РТП-138 Ввод 2	1730	159
РТП-109 Ввод 1	3200	294
РТП-109 Ввод 2	3200	294
РТП-98 Ввод 1	3000	275
РТП-98 Ввод 2	3000	275
РТП-94 Ввод 1	1300	119
РТП-94 Ввод 2	1300	119
ТП-139А Т1	1600	147
ТП-139А Т2	1600	147

Продолжение таблицы 3

1	2	3
ТП-104 Т1	1000	92
ТП-104 Т2	1000	92
ТП-85 Т1	1600	147
ТП-85 Т2	1600	147
ТП-55 Т1	1000	92
ТП-55 Т2	1000	92
ТП-93Б Т1	1600	147
ТП-93Б Т2	1600	147

Выбор сечения кабелей напряжение свыше 1000В производится по экономической плотности тока согласно ПУЭ п.1.3.25-1.3.32 [13]:

$$F_{\text{э}} = \frac{I_p}{j_{\text{э}}}, \quad (12)$$

где I_p – расчетный ток линии, А;

$j_{\text{э}}$ – экономическая плотность тока, А/мм².

Экономическая плотность тока выбирается по [13, таблица 1.3.36].

Сечение, полученное в результате указанного расчета, округляется до ближайшего стандартного сечения. Расчетный ток принимается для нормального режима работы, т.е. увеличение тока в послеаварийных и ремонтных режимах сети не учитывается [1].

Выбранные по $j_{\text{эк}}$ кабели проверяются:

- по допустимому току;
- на термическую стойкость.

«Проводники любого назначения должны удовлетворять требованиям в отношении предельно допустимого нагрева с учетом не только нормальных, но и послеаварийных режимов, а также режимов в период ремонта и возможных неравномерностей распределения токов между линиями, секциями шин и т.п.» [13, таблица 1.3.2].

Проверка кабелей по допустимому току:

$$I_{\text{дон}} \geq I_p, \quad (13)$$

где $I_{\text{дон}}$ – длительно допустимый ток проводника, А;

I_{pa} – ток в послеаварийном режиме, А.

«Сечение кабеля по термической устойчивости:

$$F \geq \frac{\sqrt{B_k}}{C_T}, \quad (14)$$

где B_k – тепловой импульс тока КЗ, $\text{А}^2\text{с}$;

C_T – коэффициент проводника, $\text{А} \cdot \text{с}^{0,5}/\text{мм}^2$ » [2].

Для примера выберем кабель для линии РТП-138.

Сечение по экономической плотности тока:

$$F_{\text{э}} = \frac{159}{1,2} = 133 \text{ мм}^2.$$

Примем кабель АПвП (3×150) с $I_{\text{дон}} = 300 \text{ А}$.

Проверка кабеля на действие тока нагрева:

$$300\text{А} \geq 159\text{А}.$$

Тепловой импульс тока КЗ:

$$B_k = 10,5^2 \cdot 0,4 = 48,2 \cdot 10^6 \text{ А}^2 \cdot \text{с}.$$

Минимальное сечение по термической стойкости:

$$F = \frac{\sqrt{48,2 \cdot 10^6}}{90} = 77 \text{ мм}^2.$$

Принимаем к прокладке кабель АПвП (3×150). Выбор проводников произведен в таблице 4

Таблица 4 – Выбор кабельных линий 6кВ

Линия	I_p , А	Расчетные сечения		Выбранный кабель		
		F_{Σ} , мм ²	F_T , мм ²	Марка	Число и сечение жил	$I_{доп}$, А
РТП-138 Ввод 1	159	133	77	АПвП	3×150	300
РТП-138 Ввод 2	159	133	77	АПвП	3×150	300
РТП-109 Ввод 1	294	245	77	АПвП	3×240	392
РТП-109 Ввод 2	294	245	77	АПвП	3×240	392
РТП-98 Ввод 1	275	229	77	АПвП	3×240	392
РТП-98 Ввод 2	275	229	77	АПвП	3×240	392
РТП-94 Ввод 1	119	99	77	АПвП	3×95	255
РТП-94 Ввод 2	119	99	77	АПвП	3×95	255
ТП-139А Т1	147	123	57	АПвП	3×120	265
ТП-139А Т2	147	123	57	АПвП	3×120	265
ТП-104 Т1	92	77	57	АПвП	3×95	255
ТП-104 Т2	92	77	57	АПвП	3×95	255
ТП-85 Т1	147	123	57	АПвП	3×120	265
ТП-85 Т2	147	123	57	АПвП	3×120	265
ТП-55 Т1	92	77	57	АПвП	3×95	255
ТП-55 Т2	92	77	57	АПвП	3×95	255
ТП-93Б Т1	147	123	57	АПвП	3×120	265
ТП-93Б Т2	147	123	57	АПвП	3×120	265

РУ-6кВ будет представлено комплектным распределительным устройством (рисунок 3). Выбор ячеек КРУ приведен в таблице 5.

Таблица 5 – Выбор и проверка КРУ

Условие выбора и проверки	Расчетные данные	Каталожные данные: UniGear ZS1-12
Выбор КРУ		
$U_n \geq U_p$, кВ	6,3	12
$I_n \geq I_p$, А	793	1250
Проверка на электродинамическую стойкость		
$i_{дин} \geq i_{уд}$, кА	26,6	63
Проверка на термическую стойкость		
$I_{тер.н.}^2 \cdot t_{тер.н} \geq B_k$, кА ² с	70,1	4000



Рисунок 3 – КРУ типа UniGear ZS1-12

Выбор выключателя оформлен в таблице 6.

Таблица 6 – Выбор и проверка выключателей

Условие выбора и проверки	Расчетные данные	Каталожные данные: VD4.12.12
Выбор выключателя		
$U_n \geq U_p$, кВ	6,3	12
$I_n \geq I_p$, А	793	1250
Проверка на отключающую способность		
$I_{откл} \geq I_n$, кА	10,5	25
Проверка на электродинамическую стойкость		
$i_{дин} \geq i_{уд}$, кА	26,6	50
Проверка на термическую стойкость		
$I_{тер.н.}^2 \cdot t_{тер.н} \geq B_k$, кА ² с	70,1	2500

Внешний вид выключателя VD4.12.12 представлен на рисунке 4.



Рисунок 4 – Вакуумный выключатель VD4.12.12

Выбор заземляющих ножей оформлен в таблице 7.

Таблица 7 – Выбор и проверка ЗН

Условие выбора и проверки	Расчетные данные	Каталожные данные: ЕК6
Выбор ЗН		
$U_n \geq U_p$, кВ	6,30	12
Проверка на электродинамическую стойкость		
$i_{дин} \geq i_{уд}$, кА	26,6	63
Проверка на термическую стойкость		
$I_{тер.н.}^2 \cdot t_{тер.н} \geq B_k$, кА ² с	70,1	400

Выбор трансформаторов тока оформлен в таблице 8.

Допускается применение трансформаторов тока с завышенным коэффициентом трансформации (по условиям электродинамической и термической стойкости или защиты шин), если при максимальной нагрузке присоединения ток во вторичной обмотке трансформатора тока будет

составлять не менее 40% номинального тока счетчика, а при минимальной рабочей нагрузке - не менее 5% [6].

Таблица 8 – Выбор и проверка трансформаторов тока

Условие выбора и проверки	Расчетные данные	Каталожные данные: ТПУ 43.13
Выбор трансформаторов тока		
$U_n \geq U_p$, кВ	6,3	12
$I_n \geq I_p$, А	92-793	150-1000
Выбор по вторичной нагрузке		
$S_{2n} \geq S_p$, ВА	4	10
Проверка на электродинамическую стойкость		
$i_{дин} \geq i_{уд}$, кА	26,6	50
Проверка на термическую стойкость		
$I_{тер.н.}^2 \cdot t_{тер.н} \geq B_k$, кА ² с	70,1	400

Внешний вид трансформаторов тока ТПУ 43.13 представлен на рисунке 5.



Рисунок 5 – Трансформатор тока ТПУ 43.13

Выбор трансформаторов напряжения оформлен в таблице 9.

Таблица 9 – Выбор и проверка трансформаторов напряжения

Условие выбора и проверки	Расчетные данные	Каталожные данные: ТНР 4.2
Выбор трансформаторов напряжения		
$U_n = U_p$, кВ	6,3	6,3
Выбор по вторичной нагрузке		
$S_{2n} \geq S_p$, ВА	3	10

Внешний вид трансформатора напряжения ТНР 4.2 представлен на рисунке 6.



Рисунок 6 – Трансформаторов напряжения ТНР 4.2

Вывод по разделу.

В данном разделе производился расчет электрических нагрузок подстанции, значений расчетных токов питающей и распределительной сети, а также токов короткого замыкания. Затем на основании данных расчетов был произведен выбор кабельных линий отходящих фидеров и силового электрооборудования подстанции. Выбранное электрооборудование является актуальным и соответствует всем техническим параметрам и нормам [23].

3 Обеспечение безопасности, надежности и эргономичности подстанции

3.1 Расчет системы РЗА

Система защиты и управления ячеек реализована на базе цифровых комплексов защит REF-545 и REF-541.

Рассмотрим комплекс защит, используемый на ячейки отходящего фидера РТП-138. В терминале задействованы следующие виды защит [3]:

- максимальная токовая защита (NOC3High);
- защита от однофазных замыканий на землю (NEF1High);
- направленная защита от однофазных замыканий на землю (DEF2High).

По условию селективности уставка МТЗ устанавливается с 5% запасом от уставки на вводе, а уставка по времени принимается на ступень выше (+0,2 с):

$$I_{cp.mtz} = K_{cx} \cdot K_{отс.} \cdot I_{cp.max}, \quad (15)$$

где K_{cx} – коэффициент схемы;

$K_{отс.}$ – коэффициент отстройки, принимается равным 1,05;

$I_{cp.max}$ – ток уставки срабатывания МТЗ на вводе отходящего фидера, А.

Уставка срабатывания МТЗ:

$$I_{cp.mtz} = 1 \cdot 1,05 \cdot 1800 = 1900 \text{ А.}$$

Уставки защит фидера питания РТП-138 приведены в таблице 10.

Таблица 10 - Уставки защит фидеров питания РТП-138 ввод 1(2)

Защита	Уставки	
	Параметр	Параметр
NOC3Inst	Ток пуска	$6,34 \times I_n$ (1900 А)
	Время срабатывания	0,4 с
NEF1High	Хар-ка срабатывания	Независимая выдержка времени
	Пусковой ток	$0,5 \times I_n$ (5 А)
	Время срабатывания	2 с
DEF2High	Ток пуска	$10\% I_n$ (1 А)
	Пусковое напряжение	$15\% U_n$
	Время срабатывания	2 с

«Терминалы серии REF 541, REF 543 и REF 545 предназначены для выполнения функций защиты, местного и дистанционного управления, сигнализации, измерения и мониторинга (контроля) различных типов присоединений в сетях 6...35кВ, на ПС высокого класса напряжения 110...500кВ, а также в распределительных устройствах собственных нужд станций, в качестве основной или резервной защиты [7]. Устройства имеют встроенные библиотеки:

- функций защит;
- функций управления;
- функций измерения;
- функций мониторинга состояния;
- функций связи;
- стандартных функций (логические элементы), которые используются при разработке внутренней конфигурации, что делает терминалы унифицированной платформой для реализации сложных алгоритмов схем защиты, автоматики и управления [9].

Устройства имеют широкий набор функций защит: направленные и ненаправленные МТЗ, направленные и ненаправленные защиты от замыканий на землю, защиты максимального и минимального напряжения, защиты по частоте, специальные защиты. Терминалы имеют порты последовательной связи для передачи данных в систему АСУ ТП

предприятия. Связь осуществляется через RS485 порт по SPA или LON - шине. Терминалы совместимы и входят в состав комплексной системы защиты и управления концерна АBB» [22].



Рисунок 7 – REF-545

«Терминалы применяются на электростанциях и подстанциях для комплексного решения задач управления, защиты, сигнализации, измерения и мониторинга различных присоединений: кабельных и воздушных линий, трансформаторов собственных нужд, асинхронных двигателей средней и большой мощности, реакторов, конденсаторных батарей и т.д. Выбор необходимого типоразмера устройства производится исходя из требований защищаемого энергообъекта и реализуется путем использования соответствующей аппаратной платформы (количества трансформаторов тока, напряжения, входных и выходных цепей) и набора требуемых функций защиты, автоматики, управления, сигнализации и измерений. Привязка функциональных блоков защит, управления, автоматики и других функций к входным и выходным цепям устройства при разработке конфигурации терминала, выполняется специальной программой CAP505 (свободно

программируемая логика), а параметризация при эксплуатации, программой САР501. Рекомендуется применение терминалов на вновь вводимых и реконструируемых объектах с постоянным оперативным током» [22].

«Терминалы выполняются в универсальном, с улучшенными механическими характеристиками корпусе, внутри которого располагаются различные блоки [11]. На передней панели терминала расположен большой 19-ти строчный (5”) жидкокристаллический дисплей, на котором может быть изображена мнемосхема присоединения с динамически изменяющимся положением коммутационных аппаратов, оперативных ключей или другого оборудования, а также могут выводиться до 5-ти измеряемых параметров (напряжение, ток, частота и др.). На передней панели терминала имеется 8 свободно программируемых светодиодных индикаторов для сигнализации, кнопки выбора и управления объектом, а также кнопки перемещения по меню. Терминал снабжен передним оптоэлектрическим портом для подключения персонального компьютера. На задней стенке терминала расположены разъемы для подключения цепей тока и напряжения, а также цепей дискретных входных и выходных сигналов. Помимо традиционных трансформаторов тока и напряжения, в терминале предусмотрена возможность подключения датчиков тока и напряжения (катушки Роговского и делителя напряжения)» [22].

На пятом чертеже изображена принципиальная электрическая схема управления фидером РТП-138 проектируемого распорядительного пункта на базе терминала REF-541. На ней отображена схема коммутации измерительных трансформаторов, высоковольтного выключателя, а также других электрических аппаратов, находящихся в релейном отсеке и участвующих в управлении и контроле самой ячейкой. к терминалу. Измерение тока и напряжения производится с помощью аналоговых входов терминала. Контроль за состоянием коммутационного оборудования (включенное/отключенное положение выключателя, вкаченное/выкаченное положение тележки выключателя и др.) и других параметров управления

(наличие опертока, включенное/отключённое положение автоматических выключателей обогрева, взвода пружин, цепей напряжения и др.) производится с помощью дискретных входов терминала. Функции управления, блокировок и защит действуют согласно закаченной конфигурации устройства, которая определяет логику работы терминала.

3.2 Расчет системы освещения

Общее освещение - освещение, при котором светильники размещаются в верхней зоне помещения равномерно (общее равномерное освещение) или применительно к расположению оборудования (общее локализованное освещение) [12].

В эксплуатацию примем светильники типа ДПП со светодиодными источниками света [8].

Параметры помещений подстанции приведены в таблице 11.

Таблица 11 – Параметры помещений

Наименование помещений	Размер помещения (АхВхН), м	Площадь, м ²	Нормированная освещенность (E_{min}), лк
РУ-6кВ	13,1×6,9×3,5	90,4	150
ТП-9ЗБ	17,7×6,9×3,5	122,1	150
Приточная венткамера	6,9×4,4×3,5	30,4	50

Расчетная высота подвеса светильников (H_p) определяются в зависимости от высоты помещения (H), высоты свеса светильника (h_c), высоты рабочей поверхности (h_p) (рисунок 3):

$$H_p = H - (h_c + h_p). \quad (16)$$

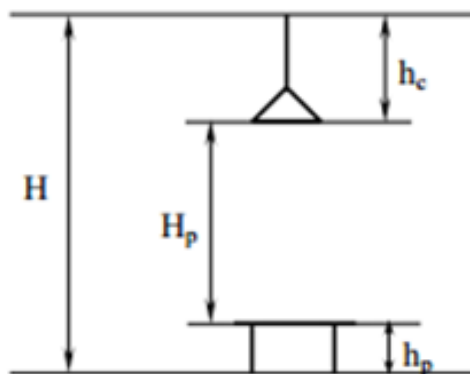


Рисунок 7 - Размещение светильника по высоте помещения

Определим значение H_p для каждого помещения:

$$H_{P(РУ-6кВ)} = 3,5 - (0,5 + 0,8) = 2,2 \text{ м,}$$

$$H_{P(ПП93Б)} = 3,5 - (0,5 + 0,8) = 2,2 \text{ м;}$$

$$H_{P(ПВ)} = 3,5 - (0,5 + 0,8) = 2,2 \text{ м.}$$

При расчете люминесцентного или светодиодного освещения и при расположении светильников рядами до светотехнического расчета намечается количество и расположение рядов, в процессе же расчета производится компоновка рядов, т. е. определение количества, расположения и мощности светильников в каждом ряду [14].

Расстояние между светильниками зависит от наивыгоднейшего относительного расстояния между светильниками (L/H_p), которое определяется кривой силы света светильника:

$$L = \left(\frac{L}{H_p} \right) \cdot H_p. \quad (17)$$

«Число рядов светильников определяется по выражению:

$$R = \frac{B - 2 \cdot l}{L} + 1, \quad (18)$$

где B – ширина помещения, м.

l - расстояние от крайних светильников или рядов светильников до стены (принижается (0,3-0,5) L в зависимости от наличия вблизи стен рабочих мест).

Полученный результат округляется до ближайшего целого числа, после чего пересчитывается реальное расстояние:

$$L_B = \frac{B - 2l}{R - 1} \gg [10]. \quad (19)$$

Расчет размещения рядов светильников для помещения РУ-6кВ:

$$L = 1,6 \cdot 2,2 = 3,5 \text{ м.}$$

$$l = (0,3 \dots 0,5) \cdot 3,5 = 1,5 \text{ м.}$$

$$R = \frac{6,9 - 2 \cdot 1,5}{3,5} + 1 \approx 3.$$

$$L_B = \frac{6,9 - 2 \cdot 1,5}{3 - 1} = 1,95 \text{ м.}$$

Расчет размещения рядов светильников для помещения ТП-93Б:

$$L = 1,6 \cdot 2,2 = 3,5 \text{ м.}$$

$$l = (0,3 \dots 0,5) \cdot 3,5 = 1,5 \text{ м.}$$

$$R = \frac{6,9 - 2 \cdot 1,5}{3,5} + 1 \approx 3.$$

$$L_B = \frac{6,9 - 2 \cdot 1,5}{3 - 1} = 1,95 \text{ м.}$$

Расчет размещения рядов светильников для помещения приточной
венткамеры:

$$L = 1,6 \cdot 2,2 = 3,5 \text{ м.}$$

$$l = (0,3 \dots 0,5) \cdot 3,5 = 1,2 \text{ м.}$$

$$R = \frac{4,4 - 2 \cdot 1,2}{3,5} + 1 \approx 2.$$

$$L_B = \frac{4,4 - 2 \cdot 1,2}{2 - 1} = 2 \text{ м.}$$

Результаты расположения рядов занесем в таблицу 12.

Таблица 12 – Размещение рядов светильников

Наименование помещений	h_c , м	h_P , м	H_P , м	L , м	l , м	R	L_B , м
РУ-6кВ	0,5	0,8	2,2	3,5	1,5	3	1,95
ТП-93Б	0,5	0,8	2,2	3,5	1,5	3	1,95
Приточная венткамера	0,5	0,8	2,2	3,5	1,2	2	2

«В результате светотехнического расчета освещения определяются значения светового потока принятого источника света Φ_l , на основании которого по справочной литературе выбирается стандартная лампа определенной мощности и светового потока, значение которого не должно отличаться от Φ_l более чем на $-10 \dots +20\%$. Если такой источник подобрать не удастся, то принимается лампа со значением светового потока, ближайшим к Φ_l , а далее корректируется число светильников в помещении и осуществляется повторный расчет освещения [15].

При расчете освещения при использовании люминесцентных или светодиодных светильников первоначально намечается число рядов R , затем рассчитывается световой поток ряда:

$$\Phi_R = \frac{E_H \cdot K_3 \cdot S \cdot z}{R \cdot \eta}, \quad (20)$$

где K_3 – коэффициент запаса;

S – площадь помещения, м²;

z – коэффициент неравномерности светового потока;

R – число рядов;

η – коэффициент использования светового потока» [10].

Нормы освещенности и коэффициенты запаса при расчете освещенности следует принимать по СП 52.13330.

Индекс помещения определяется его геометрическими размерами и расчётной высотой подвеса:

$$i = \frac{A \cdot B}{H_p (A + B)}, \quad (21)$$

где A и B – соответственно длина и ширина помещения.

По предварительно выбранному типу светильника, зная его световой поток Φ_l , определяется количество ламп в ряду:

$$N_R = \frac{\Phi_R}{\Phi_l}, \quad (22)$$

«Светильники с люминесцентными и светодиодными лампами могут располагаться вплотную друг к другу либо с разрывами (не более $0,5 \cdot H_p$). При этом расстояние между соседними светильниками в ряду:

$$L_A = \frac{A - 2 \cdot l - N_R \cdot l_c}{N_R - 1}, \quad (23)$$

где l_c – длина одного светильника, м.

В процессе расчетов необходимо следить, чтобы суммарная длина светильников с люминесцентными (светодиодными) лампами в одном ряду не превышала длины помещения» [10].

Произведем светотехнический расчет для помещения РУ-6кВ.

Индекс помещения РУ-6кВ:

$$i = \frac{13,1 \cdot 6,9}{2,2 \cdot (13,1 + 6,9)} = 2,05.$$

По [10] при данном значении индекса помещения $\eta = 0,48$.

Световой поток одного ряда:

$$\Phi_R = \frac{150 \cdot 1,4 \cdot 90,4 \cdot 1,05}{3 \cdot 0,48} = 14500 \text{ лм.}$$

Предварительно примем светильник ДПП 22-35-116 ($\Phi_{\lambda}=3850$ лм).

Необходимое количество светильников в ряду:

$$N_R = \frac{14500}{3850} = 4.$$

Принимаем $N_R = 5$.

Фактическое расстояние между светильниками ряда:

$$L_A = \frac{13,1 - 2 \cdot 1,5 - 5 \cdot 1,57}{5 - 1} = 0,56 \text{ м.}$$

При таком размещении светильников расстояние между краями соседних светильников составляет менее $0,5 \cdot H_p$. [16]. Данное расположение светильников принимается к монтажу. Принимаем к установке светильники

типа ДПП 22-35-116 мощностью 35 Вт и световым потоком 3850 лм.

Произведем светотехнический расчет для помещения ТП-93Б.

Индекс помещения ТП-93Б:

$$i = \frac{17,7 \cdot 6,9}{2,2 \cdot (17,7 + 6,9)} = 2,26.$$

По [10] при данном значении индекса помещения $\eta = 0,51$.

Световой поток одного ряда:

$$\Phi_R = \frac{150 \cdot 1,4 \cdot 122 \cdot 1,05}{3 \cdot 0,51} = 18438 \text{ лм.}$$

Предварительно примем светильник ДПП 22-24-116 ($\Phi_{\text{л}}=2560$ лм).

Необходимое количество светильников в ряду:

$$N_R = \frac{18438}{2560} = 7,2.$$

Принимаем $N_R = 7$.

Фактическое расстояние между светильниками ряда:

$$L_A = \frac{17,7 - 2 \cdot 1,5 - 7 \cdot 1,27}{7 - 1} = 0,87 \text{ м.}$$

При таком размещении светильников расстояние между краями соседних светильников составляет менее $0,5 \cdot N_R$. Данное расположение светильников принимается к монтажу. Принимаем к установке светильники типа ДПП 22-24-116 мощностью 24 Вт и световым потоком 2560 лм.

Произведем светотехнический расчет для помещения венткамеры.

Индекс помещения венткамеры:

$$i = \frac{4,4 \cdot 6,9}{2,2 \cdot (4,4 + 6,9)} = 1,22.$$

По [10] при данном значении индекса помещения $\eta = 0,33$.

Световой поток одного ряда:

$$\Phi_R = \frac{50 \cdot 1,4 \cdot 30 \cdot 1,05}{2 \cdot 0,33} = 3542 \text{ лм.}$$

Предварительно примем светильник ДПП 22-24-116 ($\Phi_{\text{л}}=2560$ лм).

Необходимое количество светильников в ряду:

$$N_R = \frac{3542}{2560} = 1,4.$$

Принимаем $N_R = 2$.

Фактическое расстояние между светильниками ряда:

$$L_A = \frac{6,9 - 2 \cdot 1,5 - 2 \cdot 1,27}{2 - 1} = 1,35 \text{ м.}$$

При таком размещении светильников расстояние между краями соседних светильников составляет менее $0,5 \cdot H_R$. Данное расположение светильников принимается к монтажу. Принимаем к установке светильники типа ДПП 22-24-116 мощностью 24 Вт и световым потоком 2560 лм. Результаты расчетов сведены в таблице 13.

Таблица 13 – Результаты расчетов расположения светильников

Наименование помещений	i	η	R	Φ_R , лм	N_R , шт	L_A , м	L_B , м
РУ-6кВ	2,05	0,48	3	14500	5	0,56	1,95
ТП-93Б	2,3	0,51	3	17814	7	0,87	1,95
Приточная венткамера	1	0,33	2	3542	2	1,35	2

Характеристика предварительно выбранных к установке светильников приведены в таблице 14.

Таблица 14 – Характеристики светильников

Наименование помещений	Тип светильника	Φ_l , лм	P , Вт	Тип КСС	Габаритные размеры, мм
РУ-6кВ	ДПП 22-35-116	3850	35	Д	1572×95×111
ТП-93Б	ДПП 22-24-116	2560	24	Д	1272×95×111
Приточная венткамера	ДПП 22-24-116	2560	54	Д	1272×95×111

Для реализации системы аварийного освещения будет принято часть светильников рабочего освещения. Данные светильники будут питаться от независимого источника аварийного освещения.

Питание светильников рабочего и аварийного освещения помещений осуществляется от соответствующих щитков ЩРО-1 и ЩАО-1, которые получают питание от щита освещения ЩО. Питание щита ЩО осуществляется от разных секций распределительного устройства ТП-93Б. В данном проекте светильники аварийного освещения являются частью светильников общего освещения помещений. В рядах аварийные светильники чередуются через один со светильниками общего освещения, что дает равномерное освещение помещений, в случае исчезновения напряжения в щите рабочего освещения. Для включения и выключения группы светильников рабочего и аварийного освещений в помещениях предусмотрены отдельные выключатели.

Кабели сети освещения прокладываются в пластиковых коробах по периметру помещений. В помещении венткамеры применена тросовая прокладка кабельных линий.

Для распределительной сети освещения приняты щиты навесные типа ЩО-8506.

Осветительная сеть будет защищаться автоматическими выключателями. Номинальные токи расцепителя автоматического выключателя [11, с. 67]:

$$I_{ном.р} \geq I_p, \quad (24)$$

где I_p – расчетный ток, А.

«Расчетная нагрузка на вводе в здание или в начале питающей линии, кВт, вычисляется по формуле:

$$P_{p0} = K_{co} \cdot K_{пра} \cdot P_l \cdot N_R, \quad (25)$$

где K_{co} – коэффициент спроса осветительной нагрузки;

$K_{пра}$ – коэффициент, учитывающий потери в пускорегулирующей аппаратуре газоразрядной лампы;

P_l – номинальная мощность одного светильника, Вт

N_R – количество светильников, питающихся по линии» [10, страница 309].

Для расчета групповой сети рабочего освещения и всех звеньев сети аварийного освещения K_{co} принимается равным единице.

«Расчетные токи осветительной сети:

для однофазных участков:

$$I_p = \frac{P_{p0}}{U_\phi \cdot \cos\varphi}. \quad (26)$$

для трехфазных участков:

$$I_p = \frac{P_{p0}}{3 \cdot U_\phi \cdot \cos\varphi} = \frac{P_{p0}}{\sqrt{3} \cdot U_l \cdot \cos\varphi}. \quad (27)$$

где U_ϕ и U_l – соответственно номинальное фазное и линейной напряжение сети;

$\cos\varphi$ – коэффициент мощности активной нагрузки.

Для участка, питающего групповые линии с разными величинами $\cos\varphi$, определяется средневзвешенное значение коэффициента мощности по выражению:

$$\cos\varphi_{cp} = \frac{\sum \cos\varphi \cdot P_{p0}}{\sum P_{p0}} \gg [10, \text{станица } 315]. \quad (28)$$

Исходные данные групповых линий представлены в таблице 16.

Таблица 16 – Расчетные данные групповых линий

Групповая линия	K_{co}	$K_{пра}$	P_l , Вт	N_R	$\cos\varphi$	Число фаз на групповую линию
гр.1	1	1	35	7	0,95	1
гр.2	1	1	24	11	0,95	1
гр.3	1	1	24	4	0,95	1
гр.1а	1	1	35	8	0,95	1
гр.2а	1	1	24	10	0,95	1

Расчетная мощность ряда гр.1:

$$P_{p0} = 1 \cdot 1 \cdot 35 \cdot 7 = 245 \text{ Вт.}$$

Расчетный ток ряда гр.1:

$$I_p = \frac{245}{220 \cdot 0,95} = 1,17 \text{ А.}$$

Примем автоматический выключатель ВА-61-29-1 с номинальным током $I_n = 1,6 \text{ А}$ [21, таблица П29].

Результаты расчетов сведены в таблице 17.

Групповые однофазные линии необходимо распределить наиболее равномерно:

$$P_A = P_{ep1} = 245 \text{ Вт,}$$

$$P_B = P_{ep2} = 264 \text{ Вт,}$$

$$P_C = P_{ep3} = 0,096 \text{ Вт.}$$

Так как нагрузка распределена по фазам неравномерно, то суммарную нагрузку щитка примем утроенному значения самой нагруженной фазы:

$$P_{ЩРО} = 3 \cdot P_B = 3 \cdot 264 = 792 \text{ Вт.}$$

Ток щитка ЩРО:

$$I_{p(\text{ЩРО})} = \frac{792}{3 \cdot 220 \cdot 0,95} = 1,26 \text{ А.}$$

Результаты выбора автоматических выключателей сведены в таблице 17.

Таблица 17 – Результаты расчетов групповых и питающих линий

Групповая линия	P_{p0} , Вт	I_p , А	Кол-во и тип автомата	$I_{ном.а}$, А	$I_{ном.р}$, А
гр.1	245	1,17	ВА-61-29-1	63	1,6
гр.2	264	1,26	ВА-61-29-1	63	1,6
гр.3	96	0,46	ВА-61-29-1	63	0,5
гр.1а	280	1,34	ВА-61-29-1	63	1,6
гр.2а	240	1,15	ВА-61-29-1	63	1,6
ЩРО	1092	1,26	-	-	-
ЩАО	840	1,34	-	-	-

Одним из условий выбора кабелей осветительной сети является допустимая потеря напряжения. Потери напряжения зависят от момента нагрузки в линии. Для общего случая момент нагрузки определяется:

$$M = P_{p0} \cdot L, \quad (29)$$

где P_{p0} – расчётная нагрузка;

L – длина участка, м.

Для конфигурации линии, показанной на рисунке 8, суммарный момент нагрузки:

$$M = (P_1 + P_2 + P_3) \cdot L_1 + (P_2 + P_3) \cdot L_2 + P_3 \cdot L_3. \quad (30)$$

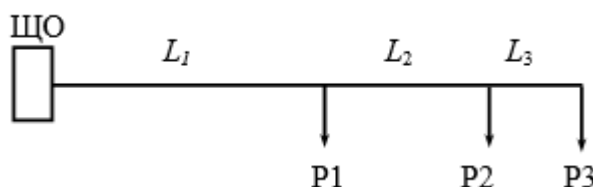


Рисунок 8 - Схема групповой осветительной линии

«Приведенный момент нагрузки рассчитывается по формуле:

$$M_{np} = \Sigma M + \Sigma \alpha \cdot t, \quad (31)$$

где ΣM – сумма моментов данного и всех последующих по направлению тока участков с тем же числом проводов в линии, что и на данном участке, Вт/м;

$\Sigma \alpha \cdot t$ – сумма приведенных моментов с другим числом проводов;

α – коэффициент приведения моментов» [10].

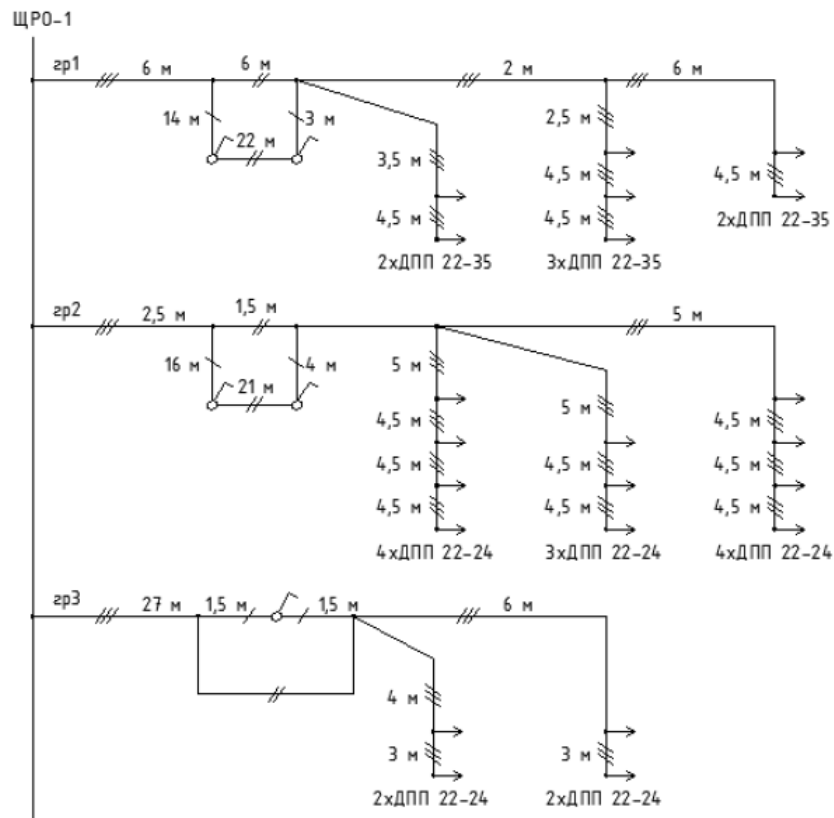


Рисунок 9 – Расчетная схема сети рабочего освещения

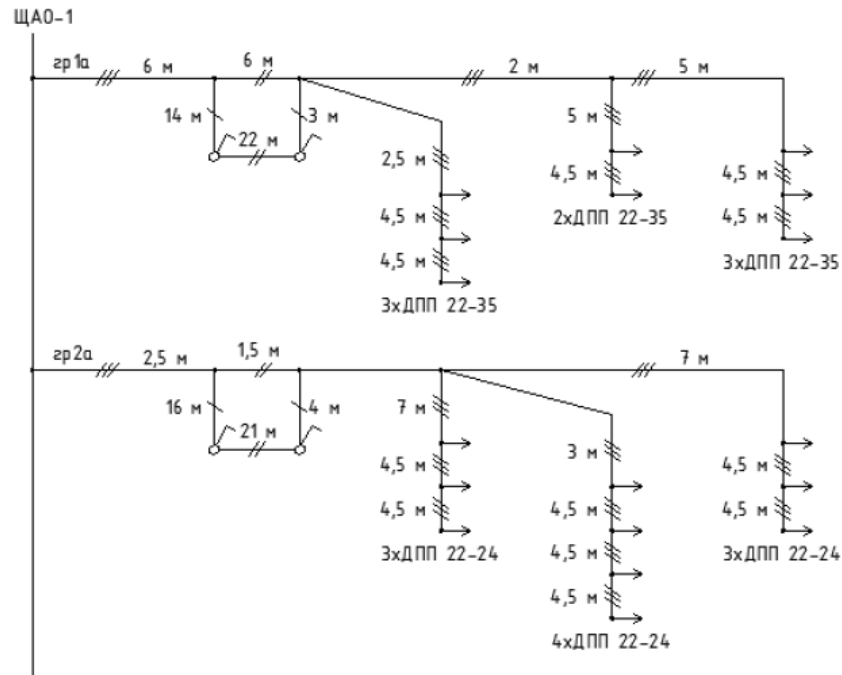


Рисунок 10 – Расчетная схема сети аварийного освещения

Момент нагрузки для линии гр.1:

$$M_{гр.1} = 35 \cdot 7 \cdot 45 + 35 \cdot 5 \cdot 2 + 35 \cdot 2 \cdot 6 = 11795 \text{ Вт}\cdot\text{м}.$$

Для оставшихся осветительных линий расчет производится аналогично. Собственный момент нагрузки питающей линии ЩРО:

$$M_{ЩРО} = 1,092 \cdot 20 = 21,8 \text{ кВт}\cdot\text{м}.$$

Приведенный момент нагрузки для ЩРО:

$$M_{ЩРО(пр)} = 21,8 + 1,85 \cdot (11,79 + 14,12 + 3,5) = 76,2 \text{ кВт}\cdot\text{м}.$$

Результаты расчетов сведены в таблице 18.

«При выполнении расчета осветительной эклектической сети по потере

напряжения во всех случаях встает вопрос о ее допустимой величине, которая не может не иметь постоянного значения и зависит от параметров линий и трансформаторов и их нагрузок. Допустимая потеря напряжения определяется в предположении, что на выводах высшего напряжения (6-10кВ) силовых трансформаторов напряжение в период максимума нагрузки равно номинальному напряжению $U_{ном}$ и, следовательно, напряжение на стороне 0,4кВ в режиме холостого хода составляет $1,05U_{ном}$ или 105% номинального. В этом случае допустимая потеря напряжения в электрической сети источника питания (трансформатора) до наиболее удаленного электроприемника, включая потерю напряжения в самом трансформаторе ΔU_T может быть представлена:

$$\Delta U_{доп} = U_{xx} - U_{min} - \Delta U_T, \quad (32)$$

где U_{xx} – напряжение холостого хода на шинах низшего напряжения трансформатора (105%);

U_{min} – минимально допустимое напряжение у наиболее удаленной лампы (95%);

ΔU_T – потери напряжения в трансформаторе, %» [10, страница 324].

«В общем случае потери напряжения в трансформатор определяются по выражению:

$$\Delta U_T = \beta_T \cdot (U_{KA} \cdot \cos \varphi + U_{KP} \cdot \sin \varphi), \quad (33)$$

где β_T - коэффициент загрузки трансформатора;

U_{ka} и U_{kp} – активная и реактивная составляющие напряжения короткого замыкания трансформатора, %.

$\cos \varphi$ – коэффициент мощности нагрузки трансформатора.

Значение U_{ka} , которое представляет собой активное сопротивление обмоток трансформатора в процентах, определяется по формуле:

$$U_{KA} = \frac{P_K \cdot 100}{S_T}, \quad (34)$$

где P_K – потери КЗ трансформатора, кВт;

S_T – номинальная мощность трансформатора, кВА.

Реактивное сопротивление обмоток трансформатор находится по выражению:

$$U_{KP} = \sqrt{U_K^2 - U_{KA}^2}, \quad (35)$$

где U_K – напряжение короткого напряжения трансформатора» [10, страница 324].

Сечение кабеля по условию потери напряжения:

$$F = \frac{M}{C \cdot \Delta U_{дон}}, \quad (36)$$

где C – коэффициент, зависящий от системы сети и рода тока. [10, таблица 8.14].

Найденное значение сечения округляется до стандартного большего значения, после чего определяется фактическое значение потерь напряжения на участке:

$$\Delta U_{\phi} = \frac{M}{c \cdot F}. \quad (37)$$

Последующие участки рассчитываются аналогично по оставшейся потере напряжения:

$$\Delta U_{до} = \Delta U_{\delta} - \Delta U_{\phi}. \quad (38)$$

Допустимый длительный ток выбранного сечение кабеля должен соответствовать току уставки защитного аппарата линии $I_{ном.з}$:

$$I_{доп} \geq I_{ном.з}. \quad (39)$$

Механическая прочность обеспечивается применением проводов и кабелей, алюминиевые жилы которых должны быть не менее $2,5 \text{ мм}^2$ в сечении, а медные – не менее $1,5 \text{ мм}^2$.

На распределительном пункте установлено два трансформатора ТС 1600/6 с паспортными данными (см. раздел 1):

$$P_k = 11,6 \text{ кВт};$$

$$U_k = 5,5 \%;$$

$$\beta \approx 0,6.$$

Потеря напряжения в трансформаторе:

$$U_{ка} = \frac{11,6 \cdot 100}{1600} = 0,73\%,$$

$$U_{кп} = \sqrt{5,5^2 - 0,73^2} = 5,45\%,$$

$$\Delta U_T = 0,6 \cdot (0,73 \cdot 0,85 + 5,45 \cdot 0,52) = 4,5 \%,$$

$$\Delta U_{доп} = 10 - 4,5 = 5,5 \%.$$

Сечение кабеля для ЩРО по условию допустимой потере напряжения:

$$F = \frac{76,2}{72 \cdot 5,5} = 0,19 \text{ мм}^2.$$

По [14, таблица ПЗ.4] принимаем кабель ВВГнг – $1,5 \text{ мм}^2$ с длительно допустимым током $I_{доп} = 18 \text{ А}$.

Проверка кабеля на соответствие току расцепителя автомата:

$$18 \geq 10.$$

К прокладке принимаем кабель марки ВВГнг 5х1,5.

Действительное значение потерь напряжения в питающей линии ЩРО и допустимая потеря напряжения в групповых линиях:

$$\Delta U_{\phi} = \frac{21,8}{72 \cdot 1,5} = 0,2\%,$$

$$\Delta U_{\text{доп}} = 5,5 - 0,2 = 5,3\% .$$

Аналогично производится расчет для остальных линий. Результаты сведены в таблицу 18.

Таблица 18 – Выбор сечений проводов

Групповая линия	Выбор по допустимому падению напряжения					Выбор по номинальному току аппарата защиты		Принятое сечение		
	M_{np} , кВт·м	M , кВт·м	c	$\Delta U_{\text{доп}}$, %	F (ΔU), мм ²	I_{np} , А	F (I_{np}), мм ²	F , мм ²	$I_{\text{доп}}$, А	ΔU_{ϕ} , %
ЩРО	76,2	21,8	72	5,5	0,19	10	1,5	1,5	18	0,2
ЩАО	67,3	16,8	72	5,5	0,17	10	1,5	1,5	18	0,16
гр.1	-	11,79	12	5,3	0,19	1,6	1,5	1,5	18	0,66
гр.2	-	14,12	12	5,3	0,22	1,6	1,5	1,5	18	0,78
гр.3	-	3,5	12	5,3	0,06	0,5	1,5	1,5	18	0,19
гр.1а	-	14,17	12	5,34	0,22	1,6	1,5	1,5	18	0,79
гр.2а	-	13,13	12	5,34	0,2	1,6	1,5	1,5	18	0,73

3.3 Расчет заземления и молниезащиты подстанции

Заземление - преднамеренное электрическое соединение какой-либо точки сети, электроустановки или оборудования с заземляющим устройством.

«Заземляющее устройство электроустановок напряжением выше 1кВ (электрических станций и подстанций) должны обеспечивать нормируемые параметры по условиям обеспечения электробезопасности и ЭМС для нормальных и наиболее опасных аварийных режимах:

- однофазное (двухфазное) КЗ на землю на РУ;
- КЗ на землю на линиях, отходящих РУ;
- двойное замыкание на землю (замыкание на землю двух фаз в различных точках) в сети с изолированной нейтралью;
- стекание токов молнии с молниеотводов, установленных на зданиях и в РУ электрических станций и подстанций, и токов через ограничители перенапряжений;
- стекание токов несимметрии и токов шунтирующих реакторов» [5, п.7.4.1.1].

«Горизонтальные заземлители должны быть проложены по краю территории, занимаемой ЗУ так, чтобы они в совокупности образовывали замкнутый контур» [5, п.7.4.3.6].

«Продольные заземлители должны быть проложены вдоль рядов электрооборудования со стороны обслуживания на глубине 0,5-0,7 м от поверхности земли и на расстоянии 0,8-1,0 м от фундаментов или оснований оборудования. Допускается увеличение расстояний от фундаментов или оснований оборудования до 1,5 м с прокладкой одного заземлителя для двух рядов оборудования, если стороны обслуживания обращены одна к другой, а расстояние между основаниями или фундаментами двух рядов не превышает 3,0 м» [5, п.7.4.3.8].

Расчетное сопротивление грунта:

$$\rho_p = \rho \cdot K_{сез}, \quad (40)$$

где ρ – удельное сопротивление грунта, Ом·м;

$K_{сез}$ – коэффициент сезонности, [23, таблица 1.13.2].

Сперва необходимо определиться с конфигурацией заземляющего устройства, его типом, также выбрать сечение проводников заземлителя.

Затем рассчитывается сопротивление вертикального заземлителя по соответствующим формулам [7, таблица 8.4], которые зависят от принятого типа и сечения заземлителя.

Далее определяется сопротивление горизонтального электрода R_z [7, таблица 8.4], которое также зависит от принятого типа и сечения заземлителя.

Сопротивление горизонтального заземлителя рассчитывается в зависимости от типа проводника [7, таблица 8.4].

Общее сопротивление искусственных заземлителей:

$$R_u = \frac{R_g \cdot R_z}{R_g \cdot \eta_g + R_z \cdot \eta_z \cdot n}, \quad (41)$$

где η_g и η_z – коэффициенты использования вертикальных и горизонтальных заземлителей соответственно, [23, таблица 1.13.5]; n – количество вертикальных заземлителей.

Необходимое количество вертикальных заземлителей:

$$n = \frac{L_z}{a}, \quad (42)$$

где L_z – длина горизонтального электрода, м;

a – расстояние между вертикальными заземлителями.

Для проектируемого РП примем контурное размещение заземлителей.

Вертикальный заземлитель будет выполнен стальным уголком $50 \times 50 \times 5$ мм длиной заземлитель формой стального уголка размером $50 \times 50 \times 5$ мм и длиной $L_g = 1$ м. Горизонтальный заземлитель примем в виде стальной полосы 40×4 . Заземлители будут установлены на глубину $t = 0,7$ м.

Заземлители имеют контурное размещение с расстоянием 1 м от стен здания. Длина горизонтального электрода по периметру:

$$L_g = (A + 2) \cdot 2 + (B + 2) \cdot 2 = (15 + 1) \cdot 2 + (18 + 1) \cdot 2 = 74 \text{ м.}$$

Сопротивление грунта:

$$\rho_p = 150 \cdot 1,5 = 225 \text{ Ом} \cdot \text{м.}$$

Сопротивление вертикального заземлителя:

$$R_g = \frac{\rho_p}{2 \cdot \pi \cdot L_g} \cdot \ln \left(\frac{2 \cdot L_g}{d} + \frac{1}{2} \cdot \ln \left(\frac{4(L_g / 2 + t) + L_g}{4(L_g / 2 + t) + L_g} \right) \right) =$$
$$\frac{150}{2 \cdot 3,14 \cdot 5} \cdot \ln \left(\frac{2 \cdot 5}{0,95 \cdot 0,05} + \frac{1}{2} \cdot \ln \left(\frac{4(5 / 2 + 0,7) + 5}{4(5 / 2 + 0,7) + 5} \right) \right) = 41 \text{ Ом.}$$

Расстояние между вертикальными заземлителями примем однократной длине трубы вертикального заземлителя:

$$a = 1 \cdot L_g = 1 \cdot 5 = 5 \text{ м.}$$

Предварительно количество вертикальных заземлителей:

$$n = \frac{74}{5} \approx 14.$$

Сопротивление горизонтального электрода:

$$R_z = \frac{\rho_p}{2 \cdot \pi \cdot L_z} \cdot \ln \left(\frac{4 \cdot L_z^2}{0,5 \cdot b \cdot t} \right) = \frac{225}{2 \cdot 3,14 \cdot 74} \cdot \ln \left(\frac{4 \cdot 74^2}{0,5 \cdot 0,004 \cdot 0,7} \right) = 7,6 \text{ Ом.}$$

По [23, таблица 1.13.5] коэффициенты использования вертикальных и горизонтальных заземлителей равны $\eta_в = 0,71$ и $\eta_z = 0,45$.

Сопротивление искусственного заземлителя:

$$R_u = \frac{41 \cdot 7,6}{41 \cdot 0,71 + 7,6 \cdot 0,45 \cdot 14} = 4 \text{ Ом.}$$

«В электроустановках напряжением выше 1кВ сети с изолированной нейтралью сопротивление заземляющего устройства при прохождении расчетного тока замыкания на землю в любое время года с учетом сопротивления естественных заземлителей должно быть не более 10 Ом» [13, п.1.7.96].

«Сопротивление заземляющего устройства, к которому присоединены нейтрали генератора или трансформатора или выводы источника однофазного тока, в любое время года должно быть не более 2, 4 и 8 Ом соответственно при линейных напряжениях 660, 380 и 220 В источника трехфазного тока или 380, 220 и 127 В источника однофазного тока» » [13, п.1.7.101].

Принимаем к сравнению меньшее значение. Расчетное значение сопротивления заземляющего устройства меньше допустимого значения.

В соответствии с инструкцией по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций [20] и РД 34.21.122–87 [18] здание относится к III категории молниезащиты с уровнем надежности от прямых ударов молнии 0,9. На основании этого молниезащиту реализуем с помощью молниеприемной сетки, которая прокладывается по периметру всей кровли с шагом ячейки, который зависит от категории молниезащиты. Шаг ячеек сетки должен составлять не менее 12×12м. Молниеприемная сетка

присоединяется к заземляющему устройству, рассчитанному ранее, в четырех точках, расположенных по углам здания подстанции.

Для защиты электротехнического оборудования КП, ТП и кабельных линий от грозových и коммутационных перенапряжений в шкафах КРУ установлены ограничители перенапряжения.

Вывод по разделу. В данном разделе вопросы безопасности, надежности и защиты проектируемой подстанции. В подразделе РЗиА в качестве примера была рассмотрена реализации системы защит и управления ячейки фидера РТП-138, где используется микропроцессорный терминал REF-541.

Далее был произведен расчет системы освещения подстанции. Система освещения спроектирована в соответствии со стандартами и требованиями. Уровни освещенности во всех помещениях соответствуют нормам и требованиям.

Для рассматриваемого объекта были спроектированы системы заземления и молниезащиты.

Заключение

В ходе работ была выполнена реконструкция электрической части распределительного пункта 6кВ на Саратовском нефтеперерабатывающем заводе.

Реконструкция обусловлена моральным и физическим и старением оборудования, отсутствием резервных запчастей. Также данная подстанция не имеет резервных ячеек для подключения новых мощностей.

Питание РП осуществляется от ТЭЦ кабельной линией 6кВ протяженностью 2,3км. В пункте приема используется распределительное устройство 6кВ со шкафами ABB ZS1 и выкатными элементами. Ячейки расположены в два ряда с нижним шинным мостом. В шкафах установлен вакуумный выключатель VD4-12 с пружинным приводом.

В работе был произведен расчет электрических нагрузок методом коэффициента спроса. Так же в работе были определены токи короткого замыкания на шинах распределительного устройства. На основании расчетов нагрузок и токов короткого замыкания было выбрано силовое оборудование распределительного устройства 6кВ, а также кабельные линии отходящих линий.

В проекте были проведены расчеты внутреннего освещения распределительного пункта 6кВ. В качестве источников света были приняты светильники со светодиодными лампами типа ДПП. Лампы LED имеют высокую световую отдачу, что благоприятно сказывается на производительности труда и расходе электроэнергии.

Спроектированная система электроснабжения отвечает ряду требований, таких как высокая надежность и экономичность, безопасность и удобство эксплуатации, обеспечение требуемого качества электроэнергии и соответствующих уровней напряжения.

Список используемых источников

1. Барыбин Ю.Г., Федорова Л.Е. Справочник по проектированию электроснабжения. М. : Энергоатомиздат, 1990. 576 с.
2. Бохан А.Н. Практическое пособие к решению задач по курсу "Электрическая часть станций и подстанций" для студентов дневной и заочной форм обучения по специальности Т.01.01 "Электроэнергетика". Гомель : ГГТУ им. П.О. Сухого, 2000.
3. ГОСТ 21.210-2014 Условные графические изображения электрооборудования и проводок на планах.
4. ГОСТ 27514-87 Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением свыше 1кВ.
5. ГОСТ Р 58882-2020 Заземляющие устройства. Системы уравнивания потенциалов. Заземлители. Заземляющие проводники. Технические требования.
6. Зоммер В.Г. AutoCAD 2008 Руководство чертежника, конструктора, архитектора. М. : Издательство БИНОМ, 2008. 805 с.
7. Карякин Р.Н. Нормы устройства сетей заземления. Москва : ФОРУМ, 2010. 240 с.
8. Каталог светодиодной продукции URL: <https://www.belintegra.by/catalog/svetodiodnaya-produkciya/> (дата обращения 20.12.2022).
9. Каталог. Решение АВВ для распределительных сетей
10. Козловская В.Б., Радкевич В.Н., Сацукевич В.Н. Электрическое освещение: учебник. Минск : Техноперспектива, 2011. 543 с.
11. Коновалова Л.Л. Электроснабжение промышленных предприятий и установок: учебник для средних специальных учебных заведений. М : Энергоатомиздат, 1989г. 528с.
12. Липкин Б.Ю. Электроснабжение промышленных предприятий и установок. М. : Высш. школа, 1990. 363 с.

13. Правило устройство электроустановок – 7 издание, перераб. И.доп. М. ; Энергоатомиздат, 2003.
14. Радкевич В.Н., Козловская В.Б. Выбор электрооборудования систем электроснабжения промышленных предприятий: пособие для студентов специальности «Электроснабжение». Минск : БНТУ, 2017. 173 с.
15. Радкевич В.Н., Козловская В.Б. Расчет электрических нагрузок промышленных предприятий: учебно-методическое пособие. Минск : БНТУ, 2013. 123 с.
16. Радкевич В.Н. Проектирование систем электроснабжения. Минск : НПО «Пион», 2001. 288 с.
17. РД 153-34.0-20.527-98 Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования.
18. РД 34.21.122–87 - Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений.
19. РТМ 36.18.32.4-92 «Указания к расчету электрических нагрузок», 1993
20. СО 153-34.21.122 - Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций, 2003.
21. Сумаркова Л.П. Электроснабжение промышленных предприятий: учебное пособие. Томск : издательство Томского политехнического университета, 2012. 288 с.
22. Продукты и решения для автоматизации распределительной сети/ Устройство защиты фидера REF 541 URL: <https://new.abb.com/medium-voltage/ru/reshenia-dlya-avtomatizatsii-raspred-seti/service-i-podderzhka-ustar-rele/ustarevsh-rele-i-instrumenty/ustroistvo-ref-541> (дата обращения 07.01.2023).
23. Шеховцов В.П Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению 2-е изд. ФОРУМ, 2011г. 202 с.