

АННОТАЦИЯ

В данной квалификационной работе «Реконструкция электрооборудования распределительного пункта 6 кВ подстанции ПАО «МРСК Волги» рассмотрен выбор современного электрооборудования части понизительной подстанции в замен устаревшего оборудования в связи сильным и моральным износом из-за длительной эксплуатации.

Главной задачей данной работы является – обеспечение современным электрооборудованием распределительного пункта 6 кВ, для повышения надежности электроснабжения социально значимых объектов.

В данной работе рассматривается:

1. Определение ожидаемые электрические нагрузки потребителей питаемых от РП 6 кВ, а также их характеристики;
2. Выбор схемы распределительного пункта 6 кВ;
3. Приведены расчеты токов короткого замыкания;
4. Выбор электрооборудования РП 6 кВ, отвечающие всем условия надёжности.
5. Выбор микропроцессорной релейной защиты.

Данная работа выполнена на 41 листах формата А4 и содержит 2 рисунка, 8 таблиц, выполненную на 6 листах формата А1 графическую часть.

ABSTRACT

The topic of the given graduation work is reconstruction of electrical equipment of the IDGC of Volga, PJSC 6 kV substation distribution point.

The aim of the work is supplying of modern electrical equipment for a distribution of a point of the substation to replace outdated equipment due to heavy wear and durable use.

The senior thesis describes in details the selecting of modern electrical equipment of the substation instead of physically and morally outdated because of long-term service.

Learning the object of designing the main consumers of electrical energy and reliability classes were determined. As the substation is located within the city, its basic consumers might be: residential and public buildings, industrial and utility-household enterprises.

First, expected power loads of consumers supply energy are determined in the graduation project. Then the number of calculations is made. On their basis the equipment for the substation, materials and conductor areas, the most economically profitable ways of transmission of electrical energy are selected. As the object of designing is building without windows, special attention is paid to selecting and calculating of lighting system.

In conclusion we would like to stress that the reconstruction of the substation will actually reduce the losses and supply all the consumers with electrical energy.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 Краткая характеристика объекта.....	6
2 Анализ приходящихся нагрузок на РП 6 кВ.....	7
3 Выбор места расположения РП 6 кВ.....	15
4 Выбор схемы РП и расчет токов короткого замыкания.....	17
4.1 Выбор схемы РП.....	17
4.2 Расчет токов короткого замыкания.....	18
5 Выбор электрического оборудования и его проверка.....	21
5.1 Выбор КРУ.....	21
5.2 Выбор выключателей.....	23
5.3 Выбор трансформатора тока.....	25
5.4 Выбор трансформатора напряжения.....	26
5.5 Выбор жестких шин.....	27
5.6 Выбор предохранителя.....	30
5 Расчет собственных нужд распределительного пункта.....	31
6 Расчет заземления.....	32
7 Микропроцессорная релейная защита.....	37
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	38
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	39

ВВЕДЕНИЕ

Система электроснабжения городских электрических сетей имеет очень разветвленную структуру. Это связано с тем что на территории городов нагрузка потребителей и сами потребители разнородны и значительно удалены друг от друга, особенно это характерно для районов с жилыми кварталами расположенные неподалеку от промышленных городских зон.

Такое расположение характерно для городов, которые строились в начале 50х – 60х годов, двадцатого века. Так как данный период характеризуется бурным развитием промышленности на территории еще тогда РСФСР. При этом, чаще всего жилые кварталы строились рядом с теми промышленными территориями, которые не относились химической металлургической промышленности и не имели высоких показателей по загрязнению окружающей среды.

Система электроснабжения таких территорий многоуровневая, так как с одной стороны необходимо обеспечить промышленных потребителей электрической энергией на напряжение 6-10 кВ и электрической энергией на напряжение 0,4 кВ бытовых потребителей.

Поэтому на таких территориях в качестве электроустановок для распределения электрической энергии широкое применение получили распределительные пункты на 6 кВ. Основное достоинство данных данной системы заключается в том, что РП 6 кВ можно использовать в качестве источника питания, как для бытовых, так и для промышленных потребителей, при этом обеспечивая требуемую надежность для потребителей различных категорий [3].

С развитием городских территорий, возрастает электрическая нагрузка приходящиеся на данные РП 6 кВ, а также возникает необходимость подключения новых потребителей. В связи с этим, становится актуальным вопрос модернизации существующих РП с установкой современного электрооборудования.

1 Краткая характеристика объекта

Распределительный пункт (РП) 6 кВ относящийся к сетям ПАО «МРСК Волги» построен, по типовым проектным решениям для городских электрических сетей. РП 6 кВ установлен в здании капитального строения.



Рисунок 1 – Капитальное строение РП 6 кВ

Распределительный пункт введен в эксплуатацию в 1980 году. Оборудование РП 6 кВ морально устарело. При этом за счет увеличения количества подключаемых потребителей необходимо дополнительный ввод ячеек 6 кВ распределительного пункта.

Основными потребителями РП-6 кВ являются бытовые, социально-значимые, а также небольшие промышленные предприятия расположенные рядом с жилыми микрорайонами.

2 Анализ приходящихся нагрузок на РП 6 кВ

На первом этапе реконструкции распределительного пункта 6 кВ произведём расчёт ожидаемой электрической нагрузки подключаемого нового завода.

Расчётная максимальная мощность, потребляемая электроприёмниками завода, меньше суммарной паспортной мощности всех приёмников. Связано это неполной загрузкой оборудования электропотребителей (ЭП), и разновременностью их работы.

Основные заданные параметры ЭП МЦ указаны в таблице 2.1

Таблица 2.1 – Заданные параметры ЭП МЦ

Наименование Электрооборудования	Кол.	$P_{\text{пасп}}$, кВт	$\cos\varphi$	$\text{tg}\varphi$	$K_{\text{и}}$	ПВ %
1	2	3	4	5	6	7
Шлифовальные станки	5	88,5	0,5	1,73	0,14	100
Обдирочные станки РТ-341	5	45	0,5	1,73	0,14	100
Кран мостовой	2	30	0,5	1,73	0,25	25
Обдирочные станки РТ-250	7	35	0,5	1,73	0,12	100
Анодно-механические станки МЭ-31	8	18,4	0,4	2,36	0,12	100
Анодно-механические станки МЭ-12	9	10	0,4	2,36	0,12	100
Приточно-вытяжная вентиляция	4	19,5	0,8	0,75	0,7	50

Приведём нагрузку потребителей повторно-кратковременного режима работы (ПКР) к длительному режиму работы по следующей выражению 2.1:

$$P_{\text{НОМ}} = P_{\text{ПОТ}} \overline{\text{ПВ}}, \quad (2.1)$$

где $P_{\text{НОМ}}$ – номинальная активная мощность;

$P_{\text{пасп}}$ – паспортная активная мощность;

ПВ – продолжительность включения относительно 1.

Воспользуемся выражением 2.1 для расчета крана мостового:

$$P_{\text{ном}} = 60 \cdot \overline{0,25} = 30 \text{ кВт}$$

Для всех электроприемников согласно [1] найдем соответствующие коэффициенты мощности $\cos\varphi$ и коэффициенты использования ($K_{\text{и}}$).

Коэффициент использования – это значение, которое характеризует степень использования установленного и работающего оборудования по времени и по мощности.

$\text{tg}\varphi$ – это значение показывающие угол потерь в ЭП

Рассчитаем суммарную активную мощность каждого типа ЭП на основании таблицы 2.1 по выражению 2.2:

$$P_{\text{ном}\Sigma} = P_{\text{ном}} \cdot n, \quad (2.2)$$

Для шлифовальных станков:

$$P_{\text{ном}\Sigma} = 88,5 \cdot 5 = 442,5 \text{ кВт},$$

Остальные электроприёмники рассчитываем аналогичным методом и полученные результаты заносим в таблицу 2.2.

Рассчитаем коэффициент силовой сборки для всех ЭП МЦ по выражению 2.3:

$$m = \frac{P_{\text{ном макс}}}{P_{\text{ном мин}}}, \quad (2.3)$$

где m – коэффициент силовой сборки,

$P_{\text{ном макс}}$ – это номинальная максимальная активная мощность ЭП МЦ;

$P_{\text{ном мин}}$ – это номинальная минимальная активная мощность ЭП МЦ.

$$m = \frac{88,5}{10} = 8,85 > 3,$$

Далее рассчитываем среднюю активную и реактивную мощность для каждой подгруппы электроприемников по выражениям (2.3), (2.4):

$$P_{\text{ср}} = P_{\text{ном}\Sigma} \cdot K_{\text{и}}, \quad (2.3)$$

$$Q_{\text{ср}} = P_{\text{ср}} \cdot \text{tg}\varphi, \quad (2.4)$$

где $P_{\text{ср}}$ – средняя активная мощность ЭП,

$Q_{\text{ср}}$ – средняя реактивная мощность ЭП,

$K_{\text{и}}$ – коэффициент использования.

Для шлифовальных станков:

$$P_{\text{ср}} = 442,5 \cdot 0,14 = 61,95 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{ср}} = 61,95 \cdot 1,73 = 107,17 \text{ квар},$$

Остальные расчётные данные оборудование рассчитываем аналогичным методом и полученные результаты заносим в таблицу 2.2.

Таблица 2.2 – Расчётные данные потребителей МЦ

Тип оборудования	$P_{\text{ном}\Sigma}$	$P_{\text{ср}}$ кВт	$Q_{\text{ср}}$ квар
1	2	3	4
Шлифовальные станки	442,5	61,95	107,7
Обдирочные станки типа РТ-341	225	31,5	54,49
Обдирочные станки типа РТ-250	210	25,2	43,59

Продолжение таблицы 2.2

Кран мостовой	30	7,5	12,9
Анодно-механические станки типа МЭ-31	147,4	17,66	41,68
Анодно-механические станки типа МЭ-12:	90	10,8	25,49
Приточно-вытяжная вентиляция	78	54,6	40,95
Σ	1222,7	209,21	326,34

На основании таблицы 2.2 рассчитаем средний коэффициент использования и средний $\text{tg}\varphi_{\text{cp}}$ по выражениям (2.5), (2.6):

$$K_{\text{и.ср}} = \frac{\sum P_{\text{ср}\Sigma}}{\sum P_{\text{ном}\Sigma}}, \quad (2.5)$$

$$\text{tg}\varphi_{\text{ср}} = \frac{\sum Q_{\text{ср}\Sigma}}{\sum P_{\text{ср}\Sigma}}, \quad (2.6)$$

где $K_{\text{и.ср}}$ – средний коэффициент использования,

$$K_{\text{и.ср}} = \frac{209,21}{1222,7} = 0,17,$$

$$\text{tg}\varphi_{\text{ср}} = \frac{326,34}{209,21} = 1,56,$$

Рассчитаем эффективное число ЭП по выражению 2.7:

$$n_{\text{э}} = \frac{2P_{\text{пасп}\Sigma}}{P_{\text{н max}}}, \quad (2.7)$$

где $n_{\text{э}}$ – эффективное число электроприёмников.

$$n_{\text{э}} = \frac{2 \cdot 334,9}{88,5} = 7,6 \approx 8 \text{ шт.}$$

Согласно [1] определяем коэффициент максимума:

$$K_{\text{макс}} = 1,$$

Найдем расчетные активные и реактивные нагрузки трехфазных электроприемников:

$$P_{\text{расч}} = P_{\text{ср}} \cdot K_{\text{макс}} = 209,21 \cdot 1 = 209,21 \text{ кВт}$$

Так как эффективное число ЭП_э < 10, тогда по выражению 2.8

$$Q_{\text{расч}} = \sum 1,1 \cdot P_{\text{ном}} \cdot K_{\text{макс}} \cdot \text{tg}\varphi, \quad (2.8)$$

$$Q_{\text{расч}} = 1,1 \cdot 326,34 = 358,9 \text{ квар},$$

Определяем полную расчетную мощность нагрузки рассчитываем по выражению 2.9:

$$S_{\text{рас}} = \sqrt{P_{\text{рас}}^2 + Q_{\text{рас}}^2}, \quad (2.9)$$

$$S_{\text{рас}} = 415,4 \text{ кВА},$$

Рассчитываем ток для ЭП узла нагрузки МЦ по выражению 2.10:

$$I_{\text{рас}} = \frac{S_{\text{рас}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}}, \quad (2.10)$$

где $I_{\text{рас}}$ – расчётный ток МЦ.

$$I_{\text{рас}} = \frac{415,4}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 599,6 \text{ А.}$$

Определяем полную суммарную нагрузку по цеху:

$$S_{\text{рас}\Sigma} = \sqrt{P_{P\Sigma} + Q_{Q\Sigma}} = \sqrt{229,51^2 + 587,49^2} = 630,7 \text{ кВА},$$

Определяем суммарный расчетный ток:

$$I_{\text{рас}\Sigma} = \frac{S_{\text{рас}\Sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{630,7}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 910 \text{ А}.$$

Используя результаты расчетов, проведенных в предыдущих разделах, составим сводную ведомость нагрузок по цеху нового предприятия и заносим в таблицу 2.3.

Таблица 2.3 – Сводная ведомость нагрузок по МЦ

Наименование узла питания или групп электроприёмников	Р _{уст} , приведенная к ПВ=100%		К _и	Cos/tgφ	Средняя нагрузка		Расчетная нагрузка			
	1 ЭП, кВт	∑ кВт			Р _{см} кВт	Q _{см} квар	Р _р кВт	Q _р квар	S _р кВА	I _р А
Шлифовальные станки	88,5	442,5	0,14	0,5/1,73	61,95	107,17				
Обдирочные станки типа РТ-341	45	225	0,14	0,5/1,73	31,50	54,49				
Кран мостовой	30	30	0,25	0,5/1,73	7,50	12,97				
Обдирочные станки типа РТ-250	35	210	0,12	0,5/1,73	25,20	43,59				
Анодно-механические станки МЭ-31	18,4	147,2	0,12	0,4/2,36	17,66	41,68				
Анодно-механические станки МЭ-12	10	90	0,12	0,4/2,36	10,80	25,49				
Приточно-вытяжная вентиляция	19,5	78	0,7	0,8/0,75	54,6	40,95				
Итого по цеху без освещения	304,9	1222,7	0,17	0,53/1,56	209,21	326,34	209,21	358,9	415,4	600,6
Освещение							20,3	12,8	20,3	27,3
Итого							229,51	371,7	434,5	627,9

Остальные цеха и производственные здания рассчитаны аналогичным методом и полученные значения занесены в таблицу 2.4

Таблица 2.4 – Сводные данные нагрузки завода.

Наименование объекта	$P_{расч}$ кВт	$Q_{расч}$ квар	$S_{расч}$ кВА	$I_{расч}$ А	Категория потреб.
1	2	3	4	5	6
Производственный цех 1	229,5	371,7	434,5	627,9	II
Производственный цех 2	154,3	115,7	192,9	278,8	III
Производственное предприятие	137,7	118,4	183,6	265,3	III
Вспомогательное производство	97,5	83,9	130	187,9	III
Административное здание	84,3	63,225	105,38	152,3	II
Жилой дом 1	82,8	62,1	103,5	149,6	III
Жилой дом 2	79,4	59,55	99,25	143,4	III
Освещение территории	3,3	2	3,6	5,2	III
Σ	865,5	874,58	1249	1802,7	III

Таким образом, увеличение нагрузки приходящаяся на РП составит 1,5 МВА. В связи с этим необходимо рассмотреть вопросы

3 Выбор места расположения РП 6 кВ

Так, как потребляемая подключенных потребителей существенная, то необходимо РП расположить непосредственно возле потребителя с наибольшей нагрузкой

Наиболее целесообразно в условиях развития городских территорий разместить РП 6 кВ в отдельно стоящем исполнении.

Для того чтобы приблизить источник питания к центру потребления электроэнергии и сократить протяженность линий с низким напряжением, место расположение РП, экономически выгодно располагать как можно ближе к центру электрических нагрузок.

Определяем ориентировочное место расположения РП, для этого используем графоаналитический метод с сеткой координат (X, Y) показанной на рисунке 4.1 и производим расчёты пользуясь таблицей 3.1.

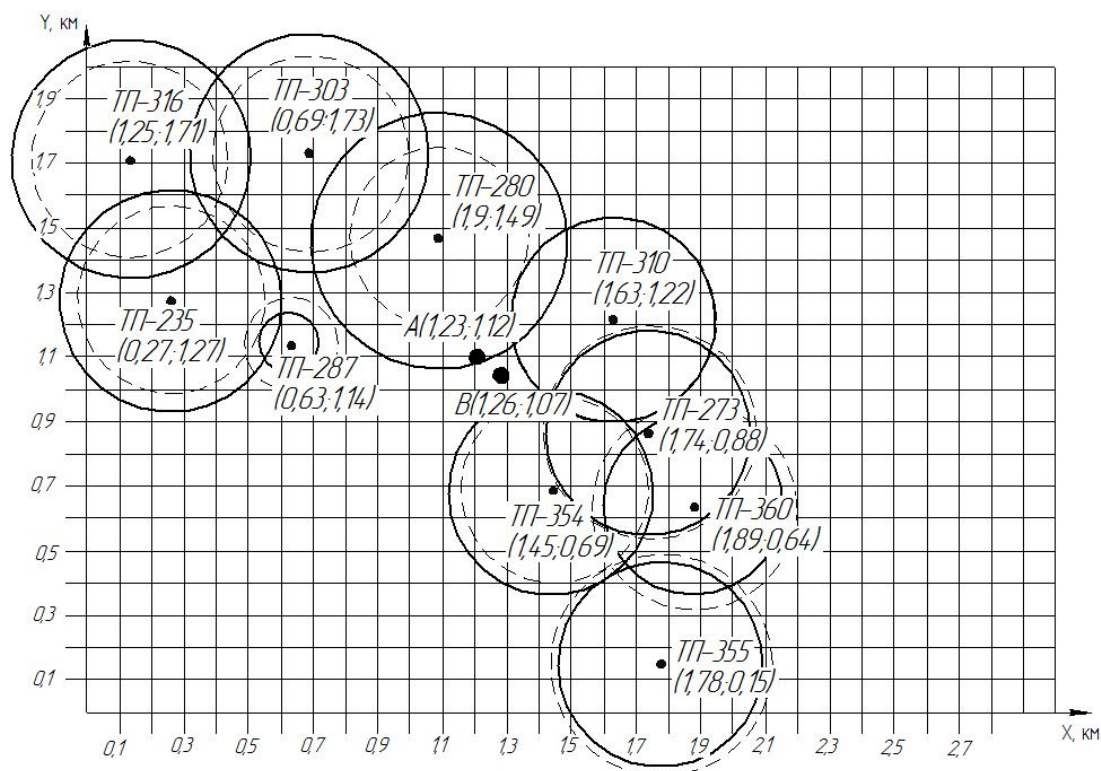


Рисунок 3.1 - Картограмма нагрузок

Рассчитываем координаты центра нагрузок по выражению (3.1), (3.2):

$$X = \frac{\sum_i S_i \times X_i}{\sum S_{\text{рас}}}, \quad (3.1)$$

$$Y = \frac{\sum_i S_i \times Y_i}{\sum S_{\text{рас}}}, \quad (3.2)$$

где X_i , Y_i – абсцисса, ордината координатной сетке i -го потребителя;

S_i – максимальная мощность i -го потребителя кВА.

Все значения X и Y занесем в таблицу 3.1.

Таблица 3.1 – Координаты для расчетов ЦН

Параметры				
Трансформаторная подстанция	P, кВт	X, км	Y, км	cosφ
Городская ТП-235	7000	0,3	1,3	0,8
Производственная ТП-316	7400	0,1	1,7	0,8
Городская ТП-287	570	0,63	1,14	0,5
Производственная ТП-280	8600	1,9	1,49	0,9
Производственная ТП-303	7400	0,7	1,73	0,8
Городская ТП-310	5900	1,63	1,22	0,7
Городская ТП-273	6000	1,74	0,88	0,7
Городская ТП-360	4500	1,89	0,64	0,6
Производственная ТП-354	6000	1,45	0,69	0,9
Производственная ТП-355	6300	1,78	0,15	0,7

Исходя из рисунка 3.1 делаем вывод, что перенос РП не целесообразен, в связи с этим реконструируемое РП останется на том же месте, при этом место соответствует всем нормам ПУЭ [3], по условию подъезда транспортной техники и минимально допустимому расстоянию до технологических построек и зданий.

4 Выбор схемы РП и расчет токов короткого замыкания

4.1 Выбор схемы РП

В РП6 кВ ПАО «МРСК Волги» электрическая схема выполнена с одной рабочей системой шин и секционным выключателем. Данная электрическая схема показана на рисунке 4.1

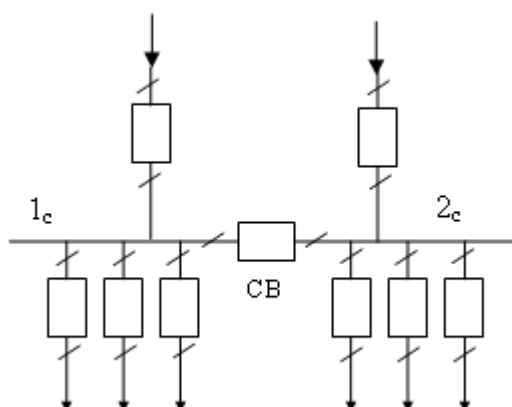


Рисунок 4.1 – Электрическая схема РП по стороне 6 кВ

На различных подстанциях применяется данная схема, РУ напряжением до 35кВ. От двух фидеров подстанции ПАО «МРСК Волги» через вводные выключатели запитаны каждая секция шин РП 6 кВ. Отсюда следует, что «выключатели и шинные разъединители производят подключение к кабельной линии до ТП через сборные шины» [1]. «Благодаря секционным выключателям осуществляется секционирование сборных шин, для того, чтобы каждая секция имела источник питания» [1]. В нормальном режиме работы секционный выключатель разомкнут, это связано с тем, чтобы снизить токи короткого замыкания в кабельных линиях 6 кВ, так как при параллельной работе в момент возникновения короткого замыкания, сопротивление в точке короткого замыкания ниже, чем при раздельной работе [7].

«В случае, возникновения аварийных ситуаций, таких как, выход из строя питающей кабельной линии, за счет наличия автоматического ввода резерва (АВР) секционный выключатель автоматически включается» [7], а при КЗ на одной из секций шин происходит отключение поврежденной секции путем отключения линии источника питания после срабатывания релейной защиты.

4.2 Расчет токов короткого замыкания

Схема замещения для определения тока двухфазного и трехфазного КЗ должна содержать все элементы расчетной схемы. Так же будем учитывать активное переходное сопротивление на каждой ступени расчетной схемы, которое возьмем из справочника.

«Большую опасность представляет трехфазный ток в сетях 6(10)кВ» [13], в связи с этим, на основании полученных расчетных данных трехфазного тока короткого замыкания, как раз и определяют возможность установки выбираемого электрооборудования.

В соответствии с методикой расчета «все расчеты проводятся в условных единицах, приведенных к базовым расчетным характеристикам» [13].

В соответствии с методикой расчета «расчет токов КЗ начинают с составления расчетной схемы электроустановки. По расчетной схеме составляется электрическая схема замещения» [13] (рисунок 4.1).

Так как в РП отсутствуют силовые трансформаторы, то токи короткого замыкания в РП 6 кВ будут незначительно отличаться в различных точках короткого замыкания, поэтому достаточно просчитать, только одну ветвь (рисунок 4.1)

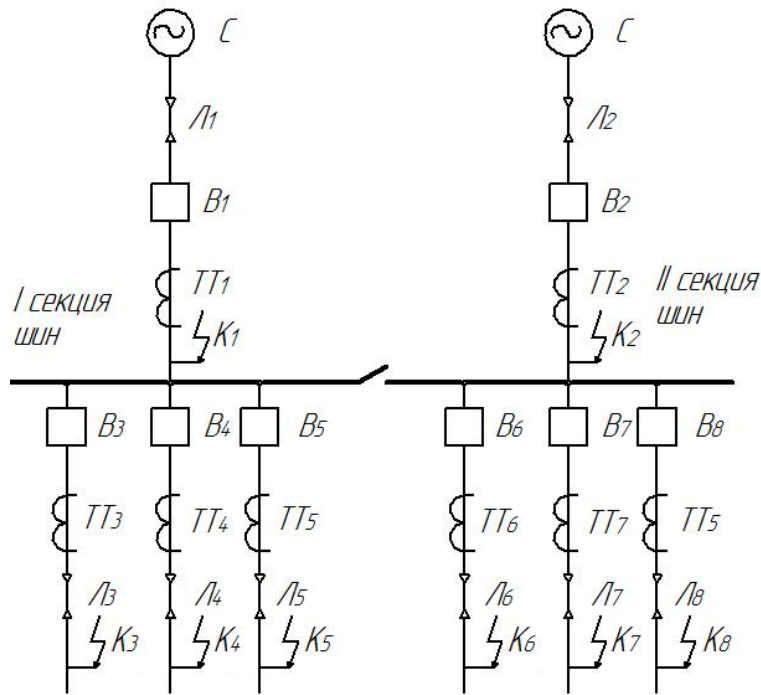


Рисунок 4.1 – Данные для расчета ТКЗ

Для того чтобы рассчитать токи КЗ, найдем сопротивления элементов схемы.

Базисная мощность ЭДС $S_{б} = 1000$ МВА.

Сопротивления системы [13]:

$$X_{б.с} = \frac{S_{б}}{S_{к}}, \quad (4.1)$$

$$X_{б.с} = \frac{1000}{232} = 4,31.$$

Сопротивление линии [13]:

$$X_{б.л} = X_{уд} \cdot l \cdot \frac{U_{б}}{U_{ср}^2} \quad (4.2)$$

где параметры линии составляют $X_{уд} = 0,4$ Ом / км, $L = 0,95$ км.

$$X_{\bar{\sigma}.л} = 0,4 \cdot 0,95 \cdot \frac{1000}{6,3^2} = 9,574.$$

Определим значения токов короткого замыкания 3ф КЗ:

1) Для точки К1:

Расчет результирующего сопротивления до точки К1:

$$X_{рез} = X_{\bar{\sigma}.с} + X_{\bar{\sigma}.л} \quad (4.3)$$

$$X_{рез} = 4,310 + 9,574 = 13,884.$$

Расчет базисного тока [13]:

$$I_{\bar{\sigma}} = \frac{S_{\bar{\sigma}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\bar{\sigma}}} \quad (4.4)$$

$$I_{\bar{\sigma}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 91,643 \text{ кА}.$$

Значения тока КЗ при быстром нарастании тока кз:

$$I_{n,0}^3 = \frac{E_{\bar{\sigma}}''}{X_{рез.(\bar{\sigma})}} \cdot I_{\bar{\sigma}} \quad (4.5)$$

$$I_{n,0}^3 = \frac{1}{13,884} \cdot 91,643 = 6,6 \text{ кА}.$$

Ток короткого замыкания при наихудших условиях:

$$I_{y\delta} = \sqrt{2} \cdot I_{n,0}^3 \cdot K_{y\delta} \quad (4.6)$$

$$I_{y\delta} = \sqrt{2} \cdot 6,6 \cdot 1,72 = 16,054 \text{ кА}.$$

где $K_{уд} = 1,72$ - коэффициент утяжеления тока короткого замыкания.

5 Выбор электрического оборудования и его проверка

Поскольку данная РП 6 кВ была построена в 80хгодах прошлого столетия, изначально на ней было установлено оборудование на напряжение 6/10 кВ. Но из-за нехватки современного оборудования на 6 кВ, и переводе электрических сетей в городах с 6 кВ на 10 кВ, будем производить выбор всего оборудования на напряжение 10 кВ.

5.1 Выбор КРУ

Комплектные распределительные устройства (КРУ) выбираются по в соответствии с требованиями ПУЭ по следующим параметрам:

1. Номинальному напряжению:

$$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{сет.ном}}, \quad (5.1)$$

$$10 \text{ кВ} \geq 6 \text{ кВ}.$$

2. Номинальному току:

$$I_{\text{ном.дл}} \leq I_{\text{ном}}. \quad (5.2)$$

Произведем расчет тока продолжительного режима с учетом 40% перегрузки:

$$I_{\text{р.мах}} = I_{\text{р}} \cdot 1,4, \quad (5.3)$$

$$I_{\text{р.мах}} = 220 \cdot 1,4 = 308 \text{ А},$$

$$308 \text{ А} \leq 630 \text{ А}.$$

Распределительное пункт 6 кВ необходимо выполнить закрытого типа, соответственно в данной работе будет выбрано ЗРУ 10 кВ модульного типа в

виде комплектного распределительного устройства одностороннего обслуживания (КРУ).

Одним из перспективных типов ячеек для установки в РП 6 кВ являются ячейки КСО типа СЭЩ. Данные ячейки имеют множество преимуществ, одно из которых высокая степень локализации производства данных ячеек на заводе изготовителе, что повышает качество сборки данных ячеек, а также увеличивает срок службы электрооборудования.

Данные ячейки будут укомплектованы вакуумными выключателями производства завода изготовителя КСО ВВУ-СЭЩ, трансформаторами тока типа ТОЛ, трансформаторами напряжения НАЛИ-СЭЩ, ограничителями перенапряжения ОПН на 10 кВ, микропроцессорной релейной защитой.

Полная компоновка необходимым электрооборудованием данных ячеек на заводе изготовителя является оптимальным решением.

Данные ячейки КСО комплектуются стандартным оборудованием в соответствии с каталогами производителя.

Также рассмотрим возможность установки КСО производителя «Тавридаэлектрик».

На основании данных представленных в открытых источниках в ходе проведения анализа установили, что «данная компания производит камеры типа КСО-207 «Новация». КСО-298 - это самая одна из удачных самых удачных рассматриваемых вариантов» [9]. При сравнении с аналогичными ячейками для РП 6 кВ, данная камера обладает меньшими габаритными размерами, и в следствии и «временные издержки на обслуживание интегрирующих составляющих» [9].

Чтобы повысить надежность этой ячейки, конструкцией предусмотрели плотное расположение разъединителей и силового выключателя. В связи с этим, получилось намного лучше расположить электрические элементы и аппараты и увеличить полезный объем для лучшего монтажа и работы для обслуживающего персонала.

В итоге для установки в РП 6 кВ выберем ячейки КСО производителя Электрощит.

5.2 Выбор выключателей

Были установлены вакуумные выключатели на замену старым, так как у них нет потребности в пополнении и замене дугогасящей камеры, а также биозащите для окружающей среды, потому что нет электрических и магнитных полей, невысокая степень шума, минимизированное обслуживание, полностью пожаробезопасно для дугогасительных камер.

«Значения номинальных параметров коммутационного оборудования выбирают из ряда стандартных значений» по ГОСТ Р 52565 -2006. На первоначальном этапе подберем вакуумные выключатели по паспортным характеристикам, также необходимо отметить, что выбираемые выключатели имеют следующие особенности:

1. Принцип гашения дуги у выбираемых выключателей – вакуум;
2. Тип привода у выключателей – пружинный.
3. При первом включении выключателя в случаи отсутствия оперативного тока, конструктивно предусмотрено ручной взвод пружины оперативно-ремонтным персоналом. При наличии оперативного тока и напряжения взвод пружины осуществляется электромагнитным приводом.

В таблице 5.1 укажем паспортные характеристики выбираемых вакуумных выключателей.

Таблица 5.1 - Технические характеристики выключателей ВВУ-СЭЩ

Наименование параметра	Единица измерения	Вакуумный выключатель ВВУ-СЭЩ
$U_{ном},$ кВ	кВ	10
$I_{ном},$ А	А	2000
$I_{дин},$	кА 3 сек	40
$I_{период}$ КЗ,	кА	40
$B_{к},$	кА	100
$t_{выкл.соб},$	сек	0,04
$t_{выкл.пол},$	сек	0,06

Произведем расчет термической стойкости с продолжительностью к.з. при времени срабатывания выключателя 0,3 сек.

$$B_{\kappa} = I_{n,0}^3 \cdot (t_{откл} + T_a) \quad (5.4)$$

$$B_{\kappa} = 6,6^2 \cdot (0,3 + 0,03) = 14,37 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

Так как время срабатывания выключателя $t_{откл} < t_T$, определим термическое воздействие тока короткого замыкания на выключатель:

$$B_{\kappa} = I_T^2 \cdot t_{откл} \quad (5.5)$$

$$B_{\kappa} = 20^2 \cdot 0,3 = 120 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Проверка на электродинамическую стойкость:

$$I_{n,0} \leq I_{нрс} \quad (5.6)$$

$$6,6 \text{ кА} \leq 20 \text{ кА}$$

$$i_{y\delta} \leq i_{нрс} \quad (5.7)$$

$$16,054 \text{ кА} \leq 50 \text{ кА}.$$

Отключение ВВУ апериодической составляющей тока к.з.:

$$i_{ном} = (\sqrt{2} \cdot \beta_{нор} / 100) \cdot I_{ном.откл}, \quad (5.8)$$

$$i_{ном} = \sqrt{2} \cdot 0,3 \cdot 20 = 8,48 \text{ кА},$$

$$i_{a,\tau} = \sqrt{2} \cdot I_{n,0} \cdot e^{\tau/T_a} \quad (5.9)$$

$$i_{a,\tau} = \sqrt{2} \cdot 6,6 \cdot 0,14 = 1,3 \text{ кА}.$$

Таким образом, выбранный выключатель соответствует требованиям.

5.3 Выбор трансформатора тока

На основании условий выбора п.6 и 6.1 выбираем трансформаторы тока типа ТОЛ, которые производятся на заводе изготовителе ячеек КСО типа СЭЩ.

Трансформаторы тока выбираются по номинальным параметром рабочему напряжению и прежде всего по рабочему току [12]. Так как трансформаторы тока необходимы для измерения тока в силовой цепи, то значения тока в первичной цепи ТТ подбирают таким образом, чтобы оно было приближено к расчетному рабочему току.

Так как трансформаторы тока производится на заводе изготовители КСО, то ТТ выберем того же производителя, единственное подберем ТТ по необходимым параметрам (таблица 5.2).

Таблица 5.2 - Выбор и проверка трансформатора тока

Параметр	Условие	Единица измерений
Условия выбора	$U_{уст} \leq U_{ном}$,	кВ
	$I_{ном} \leq I_{ном}$,	А
	$i_y \leq i_{пр.с}$,	кА
	$В_K \leq I_T^2 \cdot t_T$,	кА ² ·с
Расчётные данные	6	кВ
	245	А
	14,7	кА
	$21,6 \cdot 10^6$	кА ² ·с
Паспортные данные	6	кВ
	300	А
	254,6	кА
	$58,8 \cdot 10^6$	кА ² ·с

В качестве подключаемых измерительных приборов ко вторичной обмотки трансформатора тока, выбираем счетчики электрической энергии типа СЭТ4М, амперметры, а также микропроцессорные блоки Р3иА.

Сопротивление подключаемых приборов к вторичной обмотки трансформатора тока:

$$R_{\text{приб.}} = \frac{S_{\text{приб.}}}{I_T^2} = \frac{0,68}{5^2} = 0,03 \text{ Ом}$$

где $I_2 = 5 \text{ А}$ – величина тока во вторичной цепи трансформатора тока.

Полное сопротивление во вторичной цепи трансформатора тока:

$$R_{\text{пров}} = Z_{2\text{ном}} - R_{\text{приб}} - R_{\text{конт}} = 1,2 - 0,03 - 0,1 = 1,07 \text{ Ом},$$

где $R_k = 0,1 \text{ Ом}$ - сопротивление контактов.

Определим допустимое сечение проводов, которым будет осуществлено подключение измерительных приборов к вторичной обмотки трансформатора тока:

$$s = \frac{\rho \cdot I_p}{R_{\text{пр}}} = \frac{0,0175 \cdot \sqrt{3} \cdot 40}{1,07} = 1,1 \text{ мм}^2$$

Подключение измерительных приборов к вторичной обмотки трансформатора тока будет осуществлено с помощью проводов с медными жилами сечением $S = 1.5 \text{ мм}^2$.

К установке принимаем трансформатор тока соответствующие выше указанным требованиям.

5.4 Выбор трансформатора напряжения

Трансформаторы напряжения выбираем того же производителя, что ячеек КСО, для повышения степени локализации сборки ячеек КСО.

Мощность подключаемых приборов к вторичной обмотке трансформатора напряжения равна $S_{\text{приб}} = 7,65 \text{ ВА}$. В качестве вторичных приборов выбираем вольтметры, ват метры и счетчики электрической энергии СЭТ4М.

Таблица 5.3 – Условия выбора трансформатора напряжения

Параметр	Условие	Единица измерений
Условия выбора	$U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном}}$, кВ	кВ
	$S_{2\Sigma} \leq S_{\text{ном}}$,	ВА
Расчётные данные	6	кВ
	7,65	ВА
Паспортные данные	6	кВ
	120	ВА

К установке принимаем трансформатор напряжения удовлетворяющий выше указанным требованиям, класс точности 0,5.

5.5 Выбор жестких шин

Выбираем к установке КСО жесткие шины. «Одним из важных пунктов будет расчет термической стойкости при коротком замыкании КЗ, который рассчитывается по формуле» [20].

Сечение жестких шин по экономической плотности тока [11]:

$$S = \frac{I_{\text{раб.ном}}}{j_{\text{эк}}} \quad (5.10)$$

$$S = \frac{308}{1,3} = 236,92 \text{ мм}^2.$$

где $j_{\text{эк}}$ – плотность тока для алюминиевых шин [11].

Выбираем шины прямоугольного сечения размерами 50x5 мм² с допустимым длительным током $I_{\text{доп}} = 665 \text{ А}$.

Проверим шины по длительно допустимому току из условия их нагрева [11]:

$$I_{\max} \leq I_{\text{дон}}, \quad (5.11)$$
$$308 \text{ A} \leq 665 \text{ A}.$$

Проведем проверку по термической стойкости [11]

$$S_{\min} = \frac{\sqrt{B_{\kappa}}}{C_T}, \quad (5.12)$$
$$S_{\min} = \frac{\sqrt{14,37 \cdot 10^3}}{90} = 42,12 \text{ мм}^2.$$

При этом частота собственных колебаний при прохождении тока составит [11]:

$$f_0 = \frac{r_1^2}{2\pi l} \cdot \sqrt{\frac{EJ}{m}}, \quad (5.13)$$
$$f_0 = \frac{4,73^2}{2 \cdot 3,14 \cdot 1^2} \cdot \sqrt{\frac{7 \cdot 10^{10} \cdot 0,052 \cdot 10^{-8}}{0,675}} = 26,16 \text{ Гц}.$$

где « r_1 – параметр собственной частоты шины,

m – масса шины,

E – модуль упругости материала,

J – момент инерции поперечного сечения шины,

l – длина пролета между изоляторами» [11].

Массу шины определим по формуле [11]:

$$m = \rho \cdot b \cdot h \cdot l, \quad (5.14)$$

$$m = 2,7 \cdot 10^{-3} \cdot 5 \cdot 0,5 \cdot 100 = 0,675 \text{ кг/м.}$$

Момент инерции поперечного сечения шины:

$$J = \frac{hb^3}{12} \quad (5.15)$$

$$J = \frac{5 \cdot 0,5^2}{12} = 0,052 \cdot 10^{-8} \text{ м.}$$

Поскольку частота собственных колебаний оказалась меньше 30 Гц, то механического резонанса не возникает.

Проведем проверку по электродинамической стойкости:

$$\sigma_{\max} = \frac{\sqrt{3} \cdot 10^{-7} \cdot l_{\text{из}}^2 \cdot i_{\text{уд}}^2 \cdot \kappa_{\text{ф}} \cdot \kappa_{\text{расп}}}{\lambda \cdot W \cdot a}, \quad (5.16)$$

$$\sigma_{\max} = \frac{\sqrt{3} \cdot 10^{-7} \cdot 1^2 \cdot (16054)^2 \cdot 0,7 \cdot 1}{12 \cdot 0,21 \cdot 10^{-6} \cdot 0,8} = 15,5 \text{ МПа.}$$

где « $l_{\text{из}}$ – длина пролета,

a – расстояние между фазами,

$\kappa_{\text{ф}}$ – коэффициент формы, берущийся из [4, 15],

$\kappa_{\text{расп}}$ – коэффициент, зависящий от взаимного расположения проводников» [15],

« λ – коэффициент, зависящий от условия закрепления шины из» [11],

W – момент поперечного сечения шины.

$$W = \frac{hb^2}{6} \quad (5.17)$$

$$W = \frac{5 \cdot 0,5^2}{6} = 0,21 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3.$$

Выбранные шины механически прочные, поскольку:

$$\sigma_{раб} \leq \sigma_{доп} \quad (5.18)$$

$$15,5 \text{ МПа} \leq 75 \text{ МПа} .$$

5.6 Выбор предохранителя

В соответствии с техническими требованиями «предохранители выбираются для защиты трансформаторов напряжения по следующим условиям» [16]:

Номинальному напряжению $U_{уст} < U_{ном}$.

Номинальному току $I_n < I_n$.

Определим значение тока:

$$I_{раб} = \frac{\Sigma S_{приб}}{\sqrt{3}U_M} = \frac{0,061}{1,73 \cdot 6,6} = 0,005 \text{ А} < I_M = 3,2 \text{ А}$$

Отметим, что трансформаторы напряжения по вторичной цепи работают в режиме холостого хода, т.е., вторичная обмотка разомкнута.

Выбираем предохранители типа ПКТ – 101 – 12,5 – УЗ.

5 Расчет собственных нужд распределительного пункта

Для обеспечения нормального функционирования электрооборудования в РП 6 кВ необходима система электроснабжения собственных нужд.

Основными потребителями РП системы собственных нужд РП являются:

1. Привода вакуумных выключателей
2. Система отопления распределительного пункта 6 кВ
3. Система освещения РП 6 кВ
4. Блоки микропроцессорной релейной защиты.

Система электроснабжения собственных нужд состоит из трансформатора собственных нужд расположенный в специальной ячейке КСО с ТСН. ТСН подключен к сборным шинам 6 кВ, через предохранители типа ПКТ, также на щите ячейки КСО ТСН расположены измерительные приборы показывающие напряжение и токовую нагрузку в сети 0,4 кВ и счетчик электрической энергии СЭТ 4Т М.

Далее от трансформатора СН через кабельные линии подключается щит собственных нужд, от которого идет распределение электрической системы собственных нужд РП 6 кВ.

Установленная мощность ЭП системы собственных нужд в соответствии с проектной документацией на реконструкцию РП 6 кВ составляет 30 кВА.

Учитывая коэффициент загрузки трансформатора собственных нужд выбираем трансформатор 6/0,4 кВ мощностью 40 кВА. Данные трансформаторы будут располагаться в двух ячейках КСО типа СЭЩ и подключены к разным системам шин, обеспечивая тем самым требуемый уровень надежности потребителей системы СН РП 6 кВ

6 Расчет заземления

Расчёт производится для распределительного устройства 6 кВ.

Заземлитель, расположенный у трансформаторной подстанции. Естественных заземлителей нет. Ток замыкания на землю неизвестен, длина кабельных линий 6 кВ равна 0,7 км ($l_{\text{кл}}=0,7$ км). Заземлитель предполагается выполнить из угловой стали длиной $l_{\text{в}}=3$ м, сечением 40404 мм, верхние концы которого соединяются между собой с помощью горизонтального электрода, выполненного из стальной полосы сечением 440 мм, уложенной на глубине $H_0=0,7$ м. Удельное сопротивление земли $\rho_{\text{изм}}=100$ Ом•м (почва суглинистая).

6.1 Расчётный ток замыкания на землю.

Рассчитаем длину стержней заземлителя:

$$I_3 = \frac{U_{\text{ном}} \cdot l_{\text{кл}}}{10} = \frac{6 \cdot 0,7}{10} = 0,42.$$

где $U_{\text{ном}}$ - номинальное напряжение высокой стороны, кВ;

l - общая длина подключённых к сети кабельных линий, км, =0,7 км;

Требуемая норма сопротивления заземляющего устройства определяется из двух условий:

r_3 - Ом, но не более 10 Ом - для электроустановок выше 1 кВ при условии, что заземлитель используется одновременно для электроустановок до 1 кВ;

$$r_3 \leq \frac{125}{I_3};$$

r_3 - Ом - для заземления электрооборудования до 1 кВ.

За норму принимается наименьшее значение.

По первому условию:

$$r_3 = \frac{125}{0.7} = 297.6.$$

Принимается норма сопротивления заземляющего устройства Ом.

Коэффициенты сезонных колебаний сопротивления грунта, о.е.; =4,5;
=1,8.

$$P_e = 100 \cdot 1.8 = 180;$$

$$P = 100 \cdot 4.5 = 450.$$

Расположение вертикального электрода относительно поверхности земли представлено на рисунке.

Средняя глубина заложения вертикального электрода (расстояние от поверхности земли до середины вертикального электрода):

$$H = H_0 + 0,5 \cdot l_B, \quad 4.4$$

где H_0 - глубина заложения электродов, принимается равной 0,7 м;

l_B - длина вертикального электрода, м.

$$H = 0,7 + 0,5 \cdot 3,0 = 2,2.$$

Расчётное сопротивление растеканию тока одиночного вертикального электрода, Ом:

$$R_{e,об} = \frac{P_e}{2 \cdot \pi \cdot l} \ln \frac{2 \cdot l}{d} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4 \cdot H + l_e}{4 \cdot H - l}, \quad (6.1)$$

где d - эквивалентный диаметр вертикального электрода.

b - ширина сторон уголка.

При применении вертикальных электродов из угловой стали в формулу вместо диаметра трубы подставляется эквивалентный диаметр уголка, вычисленный по выражению;

$$R_{e,об} = \frac{180}{2 \cdot 3.14 \cdot 3} \ln \frac{2 \cdot 3}{0.04 \cdot 0.95} + \frac{1}{1} \ln \frac{4 \cdot 2.2 + 3}{4 \cdot 2.2 - 3} = 51.75.$$

Теоретическое число вертикальных электродов, шт:

$$N_e^T = \frac{R_{e,об}}{r}; \quad (6.2)$$

$$N_e = \frac{51.75}{4} = 12.94;$$

Принимается =13.

Определяется коэффициент использования вертикальных заземлителей (отношение расстояния между вертикальными электродами к их длине равно2).

Тогда необходимое количество вертикальных электродов, шт:

$$N = \frac{R_{e,об}}{K \cdot r} = \frac{51.75}{0.66 \cdot 4} 19.6; \quad (6.3)$$

Принимается =20.

Длина горизонтального электрода, м.

Расчётное сопротивление растеканию тока одиночного горизонтального электрода, Ом:

$$R_{r,об} = \frac{P_r}{2 \cdot \pi \cdot l} \ln \frac{2 \cdot l_r^2}{b \cdot H}, \quad (6.4)$$

где - ширина горизонтального электрода, =0,04м.

$$R_{r,об} = \frac{450}{2 \cdot 3.14 \cdot 114} \cdot \ln \frac{2 \cdot 114^2}{0.04 \cdot 0.7} = 8.64;$$

Определяется коэффициент использования горизонтальных заземлителей.

Сопротивление горизонтального электрода с учетом коэффициента использования полосы, Ом:

$$R_r = \frac{R_{r,об}}{K} = \frac{8.64}{0.56} = 15.43. \quad (6.5)$$

Требуемое сопротивление растеканию вертикальных электродов, Ом:

$$R = \frac{R_r \cdot r_3}{R - r_3} = \frac{15.43 \cdot 4}{15.43 - 4} = 5.4; \quad (6.6)$$

$$n = \frac{R_{в.о}}{R \cdot n} = \frac{51.75}{0.65 \cdot 5.4} = 14.17; \quad (6.7)$$

Принимается =15.

Уточняем значение расчётного сопротивления растекания горизонтального электрода (R_r), Ом:

$$R = \frac{450}{2 \cdot 3.14 \cdot 8.4} \ln \frac{2 \cdot 8.4^2}{0.04 \cdot 0.7} = 11.2.$$

Сопротивление растеканию группового заземлителя, Ом:

$$R = \frac{R_B \cdot R_\Gamma}{R \cdot n + R_\Gamma \cdot n \cdot n^2}, \quad (6.8)$$

где z_Γ , z_B - коэффициенты использования для горизонтального и вертикальных электродов, о.е.; $z_\Gamma = 0,69$; $z_B = 0,68$:

$$R = \frac{51.75 \cdot 11.2}{51.75 \cdot 0.68 + 11.2 \cdot 0.68 \cdot 15} = 3.86.$$

Полученное значение удовлетворяет необходимым условиям.

7 Микропроцессорная релейная защита

На сегодняшний день при распределительных устройств в качестве РЗА устанавливается микропроцессорная релейная защита, прежде всего это вызвано необходимостью создания системы АСУ ТП и системы регистрации аварийных ситуаций в системе электроснабжения.

Микропроцессорная РЗА имеет множество преимуществ по сравнению с электромеханической РЗА, однако, принцип логики работы релейной защиты у микропроцессорной такой же, как и электромеханической.

При этом тип РЗА и принцип работы микропроцессорной релейной защиты устанавливаемых на подстанциях на территории Российской Федерации должен соответствовать техническим требованиям законодательной базы РФ [17].

В качестве релейной защиты на в реконструируемом РП 6 кВ будем использовать типовые блоки микропроцессорной РЗА «Сириус», так как принцип тип РЗА и принцип работы микропроцессорной релейной защиты данного производителя полностью соответствует техническим требованиям законодательной базы РФ [17].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной квалификационной работе рассмотрен выбор современного электрооборудования части распределительного пункта 6 кВ в замен устаревшего оборудования в связи сильным и моральным износом из-за длительной эксплуатации, а также в связи с подключаемыми новыми электропринимающими устройствами нового предприятия.

Для достижения цели по обеспечению современным электрооборудованием распределительного пункта 6 кВ, и повышения надежности электроснабжения социально значимых объектов подключенных к данной РП 6кВ, на первоначальном этапе определили нагрузки приходящиеся на РП 6 кВ. С учетом полученных данных был проведен анализ электрической схемы РП 6 кВ в ходе которого установили, что существующая схема РП 6 кВ, обеспечивает требуемы уровень надежности по электроснабжению в соответствии с ПУЭ [11].

Для выбора электрооборудования РП 6 кВ рассчитали токи короткого замыкания и на основании полученных значений провели проверку на термическую и электродинамическую стойкость выбранное оборудование.

Для комплектации РП 6 кВ ячейками КСО, провели сравнительный анализ производителей КСО, в ходе которого из соображения высокой степени сборки ячеек КСО на заводе изготовителе выбрали ячейки КСО типа СЭЩ.

На основании имеющихся каталожных данных завода производителя выбрали вакуумные выключатели в вводных, в секционной и в отходящих ячейках, а также трансформаторы тока и напряжения и другое оборудование.

Выбранное электрооборудования РП 6 кВ, отвечает всем условиям по надежности.

Таким образом цели и задачи данной ВКР достигнуты.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. РФ. Госстрой России. СПЗ1-110-2003. Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий : утв. приказом №194 от 26.10.2013. М., 2003. 55 с.
2. РФ. Стандартиформ. ГОСТ Р 55710-2013. Освещение рабочих мест внутри зданий : утв. приказом №1364-ст от 08.11.2013. М., 2013. 20 с.
3. Gonen T. Electric Power Distribution System Engineering, 2nd Edition. Boca Raton : CRC Press, 2007. 856 p.
4. Sheldrake A.L. Handbook of Electrical Engineering. Hoboken : Wiley, 2003. P. 131.
5. Winders J.J. Power Transformers: Principles and Applications. New York : Marcel Dekker, 2002. 286 p.
6. Brown R.E. Electric Power Distribution Reliability (Power Engineering (Willis)), 2nd Edition. Boca Raton : CRC Press, 2008. 504 p.
7. РФ. Энергоатомиздат. РД 34.20.185-94. Инструкция по проектированию городских электрических сетей: утв. приказом №213 от 07.07.1994. М., 1994, 49 с.
8. Компенсация реактивной мощности: расчет мощности и выбор ступени регулирования конденсаторной батареи [Электронный ресурс]. Дата обновления: 22.04.2018. URL: <http://blog.avralsoft.ru/kompensatsiya-reaktivnoy-moshhnosti-raschet-moshhnosti-i-vyibor-stupeni-regulirovaniya-kondensatornoy-batarei.html> (дата обращения: 22.04.2019).
9. Приказ Министерства промышленности и энергетики РФ от 23 июня 2015 г. № 380 «О Порядке расчета значений соотношения потребления активной и реактивной мощности для отдельных энергопринимающих устройств (групп энергопринимающих устройств) потребителей электрической энергии».
10. РФ. Стандартиформ. ГОСТ Р 52719-2007. Трансформаторы силовые. Общие технические условия : утв. приказом №60-ст от 09.04.2007. М., 2007. 45 с.

11. Правила устройства электроустановок. 7-е издание / Ред. Л.Л. Жданова, Н. В. Ольшанская. М.: НЦ ЭНАС, 2013. 104 с.

12. Активные и индуктивные сопротивления линии [Электронный ресурс]. Дата обновления: 22.04.2019. URL:

https://www.websor.ru/aktivnj_i_induktivnje_soprotivleniya.html (дата обращения: 22.04.2019).

13. РФ. Издательство стандартов. ГОСТ 28249-93. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением ниже 1 кВ : утв. приказом от 21.10.1993. М., 1994. 66 с.

14. РФ. Стандартиформ. ГОСТ 31565-2012. Кабельные изделия. Требования пожарной безопасности : утв. приказом №1097-ст от 22.11.2012. М., 2012. 12 с.

15. Выбор автомата по мощности нагрузки и сечению провода [Электронный ресурс]. Дата обновления: 22.04.2019. URL:

<https://volgaproekt.ru/stati/vybor-avtomata-po-moshchnosti-nagruzki.html> (дата обращения: 22.04.2019).

16. РФ. Минэнерго России. СО 153-34.21.122-2003. Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций : утв. приказом №280 от 30.06.2003. М., 2003. 29 с.

17. РФ. Стандартиформ. ГОСТ 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях: утв. приказом №191-ст от 12.07.2012. М., 2011. 15 с.

18. РФ. Госстрой России. СНиП 2.04.05-91*. Отопление, вентиляции и кондиционирование : утв. приказом №18-11 от 15.05.1997. М., 1999. 71 с.

19. РФ. Минрегион России. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий : утв. приказом №265 от 30.06.2012. М., 2012. 139 с.

20. Коломиец Н.В., Пономарчук Н.Р., Шестакова В.В.. Электрическая часть электростанций и подстанций. Учебное пособие. 2014 г. 143с.

21. Гайсаров Р.В.. Режим работы электрооборудования электростанций и подстанций. 2015. 78 с.

22. Кудрин Б.И. Электроснабжение: учебник для студ. учреждений высш. проф. Образования. М.: Издательский центр «Академия», 2012. 2-е изд., перераб. и доп. 352 с.

23. Hughes A., Drury B. Electric Motors and Drives: Fundamentals, Types and Applications, 4th Edition. London : Newnes, 2013. 440 p.