

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Российский государственный профессионально-педагогический университет»

**РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА ТРАНСФОРМАТОРНОЙ ПОДСТАНЦИИ ДЛЯ  
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ УЧЕБНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ЦЕНТРА**

Выпускная квалификационная работа бакалавра  
по направлению подготовки 44.03.04. Профессиональное обучение  
(по отраслям)  
профилю подготовки «Энергетика»  
специализации «Энергохозяйство предприятий, организаций, учреждений и  
энергосберегающие технологии»

Идентификационный код ВКР: 686

Екатеринбург 2018

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Российский государственный профессионально-педагогический университет»  
Институт инженерно-педагогического образования  
Кафедра энергетики и транспорта

К ЗАЩИТЕ ДОПУСКАЮ:  
Заведующая кафедрой ЭТ  
\_\_\_\_\_ А.О. Прокубовская  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2018 г.

## **ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**

### **РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА ТРАНСФОРМАТОРНОЙ ПОДСТАНЦИИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ УЧЕБНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ЦЕНТРА**

Исполнитель:  
студент группы ДЗЭС-511

В.И. Маслов

Руководитель:  
старший преподаватель кафедры ЭТ

И.М. Морозова

Нормоконтролер:  
старший преподаватель кафедры ЭТ

Т.В. Лискова

Екатеринбург 2018

БР.44.03.04.686.2018



## АННОТАЦИЯ

Выпускная квалификационная работа выполнена на 56 страницах, содержит 14 рисунков, 13 таблиц, 33 источника литературы и содержит 3 приложения графического материала.

Ключевые слова: ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ, СОВРЕМЕННОЕ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ, ТРАНСФОРМАТОР, УЧЕБНЫЙ ЦЕНТР, ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ.

Маслов В.И. Разработка проекта трансформаторной подстанции для электроснабжения учебно-производственного центра / В.И. Маслов; Рос. гос. проф-пед. ун-т, Ин-т инж-пед. образования, Каф. энергетики и транспорта. – Екатеринбург, 2018. – 59 с.

Краткая характеристика содержания ВКР:

1. Тема выпускной квалификационной работы «Разработка проекта трансформаторной подстанции для электроснабжения учебно-производственного центра».

2. Цель выпускной квалификационной работы — разработать проект трансформаторной подстанции 6/0,4кВ для электроснабжения учебно-производственного центра.

3. В ходе выполнения выпускной квалификационной работы выполнен анализ нагрузок учебного центра и выбор силовых трансформаторов, произведен расчет токов короткого замыкания и выбор устройств защитной аппаратуры, произведен расчет заземляющего устройства, произведено технико-экономическое сравнение двух схем электроснабжения и выбор одной из них.

4. В выпускной квалификационной работе выполнен выбор современного и надежного электрооборудования. Материалы, которые используются в проекте, обладают высокими характеристиками, длительными сроками службы и просты в эксплуатации.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	5
1 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА ПРОЕКТИРОВАНИЯ .....	7
2 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТРАНСФОРМАТОРНОЙ ПОДСТАНЦИИ ДЛЯ УЧЕБНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ЦЕНТРА .....	11
2.1 Выбор числа и мощности трансформаторов на трансформаторной подстанции .....	11
2.2 Выбор и обоснование схемы электроснабжения трансформаторной подстанции учебного центра.....	15
2.3 Расчет токов короткого замыкания .....	20
2.4 Расчет силовой сети и выбор защитной аппаратуры на трансформаторной подстанции .....	24
2.4.1 Выбор сечения питающих кабельных линий.....	24
2.4.2 Выбор электрооборудования .....	26
2.5 Расчет заземляющего устройства трансформаторной подстанции .....	42
2.6 Разработка инструкции по обслуживанию и эксплуатации силовых трансформаторов .....	44
2.6.1 Область применения инструкции.....	44
2.6.2 Требования при выборе и монтаже трансформаторов.....	45
2.6.3 Порядок эксплуатации .....	46
2.6.4 Объем и сроки регламентного обслуживания .....	49
2.6.5 Требования охраны труда в аварийных ситуациях .....	50
2.6.6 Требования охраны труда по окончанию работ .....	51
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	52
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	53

## **ВВЕДЕНИЕ**

Рынок электрооборудования и электромонтажных материалов не стоит на месте, а каждый день выпускается новая и усовершенствованная продукция и материалы. В связи с постройкой нового здания постараемся выбрать из большого ряда новое и качественное электрооборудование, электромонтажные материалы, а также методику выполнения проекта электроснабжения трансформаторной подстанции 6/0,4 кВ для электроснабжения учебно-производственного центра.

Практическая значимость работы заключается в том, что готовый проект электроснабжения трансформаторной подстанции 6/0,4 кВ для электроснабжения учебно-производственного центра будет основан на реальных данных и будут получены результаты, которые можно применить на практике.

Актуальность темы заключается в том, что надежное электроснабжение учебно-производственного центра и проекты электроснабжения являются острым вопросом, как в наши дни, так и в будущем.

Объект исследования — учебно-производственный центр организации ООО «Газпром добыча Надым».

Предмет исследования — система электроснабжения учебно-производственного центра.

Цель выпускной квалификационной работы — разработать проект трансформаторной подстанции 6/0,4 кВ для электроснабжения учебно-производственного центра.

Задачи выпускной квалификационной работы:

- выполнить выбор силовых трансформаторов;
- рассчитать токи короткого замыкания;
- выполнить выбор основного электрооборудования и линий системы электроснабжения учебно-производственного центра;

- выполнить расчет контура заземления трансформаторной подстанции 6/0,4 кВ.

Данная работа, включает в себя следующие расчеты:

- анализ электрических нагрузок центра;
- разработка двух вариантов схем электроснабжения трансформаторной подстанции 6/0,4 кВ для электроснабжения учебно-производственного центра;
- расчет и выбор электрооборудования 6 и 0,4 кВ;
- определение потерь мощности и электроэнергии в питающих линиях и трансформаторах;
- расчет заземляющего устройства трансформаторной подстанции.

В ходе работы будут рассчитаны два варианта схемы электроснабжения, отвечающие современным требованиям надежности питания электрических нагрузок, на основе технико-экономического расчета будет выбран наиболее приемлемый вариант.

## 1 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Электроснабжение трансформаторной подстанции (ТП) 6/0,4 кВ для электроснабжения учебно-производственного центра (УПЦ) организации ООО «Газпром добыча Надым» будет осуществляться по кабельным линиям (КЛ). По степени надежности электроснабжения приемники учебно-производственного центра согласно ТУ (техническим условиям) относятся к потребителям второй категории. Здание учебно-производственного центра будет построено из кирпича, внешне стены центра будут утеплены пенопластом, толщина которого составляет 10 см.

Учебно-производственный центр организации ООО «Газпром добыча Надым» — это будет один из немногих центров в Ямало-Ненецком автономном округе для обучения работников нефтяной и газовой промышленности. В связи с выходом на новые мощности Бованенковского нефтегазоконденсатного месторождения, крупнейшего на полуострове Ямал, предприятию ООО «Газпром добыча Надым» стало необходимо повышать квалификации своих специалистов, а так же подготавливать новые кадры, для дальнейшего трудоустройства. Поэтому единственного учебного комбината в городе стало недостаточно и требуется постройка нового учебного центра.

Отопление здания учебно-производственного центра осуществляется централизованно от газовой котельной, расположенной неподалеку от строящегося центра, то есть выполнение электрического отопления, согласно ТУ не предусмотрено.

Режим работы электрооборудования учебно-производственного центра – продолжительный.

Установленная мощность центра, согласно ТУ, составляет:

- УПЦ ВРУ (ввод №1) –  $P_y = 118,2$  кВт,  $\cos\varphi = 0,92$ ;
- УПЦ ВРУ (ввод №2) –  $P_y = 123,3$  кВт,  $\cos\varphi = 0,91$ .



Для обеспечения надежного электроснабжения электроприемников второй категории схема сети должна иметь резервные элементы, которые вводятся в работу (после повреждения основных элементов) оперативным персоналом.

Основным принципом построения распределительной сети для электроснабжения приемников второй категории является сочетание петлевых линий напряжением 6 кВ, обеспечивающее двухстороннее питание ТП и петлевых линий напряжением 0,4 кВ, присоединяемых к ТП для питания потребителей. Допускается использование автоматизированных схем, если их применение приводит к увеличению затрат на сооружение сети не более чем на 5%. К таким схемам относятся многолучевые с автоматическим вводом резерва (АВР) на стороне 0,4 кВ или 6 кВ ТП, замкнутые сети на напряжение 0,4 кВ.

Питающую сеть 6 кВ рекомендуется выполнять по одному из следующих вариантов схем:

- питание с распределительного пункта (РП) по двум линиям 6 кВ с раздельной или параллельной работой линий;
- питание с РП по трем линиям 6 кВ, две из которых работают параллельно.

Резервирование раздельно работающей линии производится в РП с помощью секционного выключателя, оборудованного устройством АВР одностороннего действия.

Для обеспечения отклонений напряжения в пределах (ГОСТ 13109-97) нужно при проектировании электрических сетей (КЛ 6/0,4 кВ) рассчитывать допустимые потери напряжения. Начальными данными для расчета есть разрешенные отклонения напряжения, допустимые потери напряжения у потребителей, уровни напряжения в центре в момент минимальных и максимальных нагрузок, а также наличие средств регулирования напряжения.

По действующим нормам для потребителей первой категории напряжение не должно отклоняться больше чем  $+5\% U_{ном}$ . Для второй и третьей категорий потребителей отклонение разрешается на  $+7,5\% U_{ном}$  (ГОСТ

13109-97). Далее производится расчет и проверка показателей качества электроэнергии на допустимую потерю напряжения в КЛ 0,4 кВ учебно-производственного центра. Расчетная схема указана на рисунке 1.

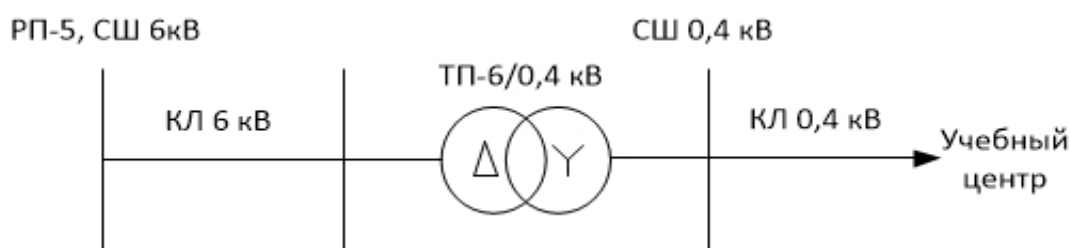


Рисунок 1 — Расчетная схема

Согласно ПУЭ разрешенное отклонение напряжения для потребителя –  $U_n \pm 7,5\%$ . Потери напряжения в силовом трансформаторе будут равны (-4%) при нагрузке – 100% и при 25% нагрузке (-1%).

Показание напряжения в начале линии на шинах 6 кВ  $U^{100} = (+5\%)$  и  $U^{25} = 0$ . Вышеперечисленные данные перенесем в таблицу 1.

Таблица 1 — Потери и отклонения напряжения в элементах проектируемых сетей

Элементы электрической сети		Режимы нагрузки	
		100%	25%
Секция шин 6 кВ РП 35/6 кВ	$\delta U_{ш}$	+ 5%	0%
КЛ - 6 кВ	$\Delta U_6$	- 8,5%	- 1,5%
Трансформатор 6/0,4 кВ	Надбавки $\delta U_{тр-р}$	+ 7,5%	+ 7,5%
	Потери $\Delta U_{тр-р}$	- 4%	- 1%
КЛ - 0,4 кВ	$\Delta U_{0,4}$	- 7,5%	0%
Отклонение напряжения у потребителей	$\delta U_{п}$	- 7,5%	+ 5,0%

Надбавка трансформатора –  $\delta U_{тр-р} = (+7,5\%)$ . При этом допустимая потеря напряжения в линии будет равна:

$$\Delta U^{100} = U_{ш}^{100} + \delta U_{тр-р}^{100} + \Delta U_{тр-р}^{100} - (-U_{потр}^{100}) \%, \quad (1)$$

$$\Delta U^{100} = 5 + 7,5 - 4 + 7,5 = 16 \%$$

Далее находится разделение допустимых потерь напряжения 16% между линиями 0,4 кВ и 6 кВ: на линию 0,4 кВ – 7,5%, на линию 6 кВ – 8,5%.

Далее выполняется проверка для одного из потребителей на уровень напряжения в период минимальных нагрузок [13]:

$$\Delta U_{\text{потр}}^{25} = U_{\text{и}}^{25} + \Delta U_{\text{кл-6}}^{25} + \delta U_{\text{тр-р}}^{25} + \Delta U_{\text{тр-р}}^{25} + \Delta U_{\text{кл-0,4}}^{25}, \quad (2)$$

$$\Delta U_{\text{потр}}^{25} = (-1,5) + 7,5 - 1 = 5,0 \%$$

$$\Delta U_{\text{потр}}^{25} \leq +7,5\%$$

5,0% ≤ +7,5% – что является допустимым.

С чего можно сделать вывод, что допустимая потеря напряжения в КЛ – 0,4 кВ будет равна 7,5%.

## 2 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТРАНСФОРМАТОРНОЙ ПОДСТАНЦИИ ДЛЯ УЧЕБНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ЦЕНТРА

### 2.1 Выбор числа и мощности трансформаторов

Выбор мощности и числа силовых трансформаторов (Тр-р), установленных в ТП учебного центра, должен быть экономически и технически обоснован, так как этот выбор оказывает большое влияние на рациональное построение системы и схемы электроснабжения учебно-производственного центра.

При выборе трансформаторов учитываются допустимая их перегрузка при аварии и предшествовавшая недогрузка трансформатора до аварии, определенная по расчету или замеру для работающих трансформаторов.

Так как, учебно-производственный центр относится к потребителям второй категории по надежности электроснабжения, то согласно [22] для его электроснабжения необходимо два независимых резервируемых источника, поэтому принимаем минимальное количество трансформаторов равное двум.

Расчёт мощности трансформаторов в ТП учебного центра производится по следующей формуле:

$$S_{p.t} = \frac{S_p}{k_3 \cdot N_t} \text{ кВт}, \quad (3)$$

где  $S_p$  – расчетная мощность учебного центра, кВА;

$k_3$  – коэффициент загрузки трансформаторов, который равен:

0,65–0,7 при преобладании потребителей первой категории по надежности электроснабжения;

0,75–0,85 при преобладании потребителей второй и третьей категорий по надежности электроснабжения;

$N_t$  – количество трансформаторов в ТП, шт.

Рассчитаем мощность учебного центра по формуле:

$$S_p = \frac{P_p}{\cos \varphi} \text{ кВА}, \quad (4)$$

где  $P_p$  — активная мощность, кВт;

$\cos\varphi$  — коэффициент мощности.

$$S_p = \frac{118,2}{0,92} + \frac{123,3}{0,91} = 128,48 + 135,5 = 263,98 \text{ кВА.}$$

Мощность трансформаторов для питания наибольшей расчетной активной нагрузки (УПЦ ВРУ ввод №1) + (УПЦ ВРУ ввод №2) (при  $\kappa_3=0,75$ ).

Согласно формуле (3) произведем расчет мощности трансформатора:

$$S_{p.t} = \frac{263,98}{2 \cdot 0,75} = 175,98 \text{ кВА.}$$

Выбрали два трансформатора мощностью  $S_{ном.} = 250$  кВА.

Теперь необходимо определить реальный коэффициент загрузки трансформаторов при нормальном режиме работы [14]:

$$k_{з.ф.} = \frac{S_p}{N_T \cdot S_{ном}}. \quad (5)$$

Реальный коэффициент загрузки трансформатора:

$$k_{з.ф.} = \frac{263,98}{2 \cdot 250} = 0,53 \leq 0,7 \text{ о.е.}$$

Для ТП учебно-производственного центра будем применять трансформаторы типа – ТМГ 11 (рисунок 2). Трансформатор типа – ТМГ 11 наделен многими преимуществами, которые выгодно отличают его от аналогичных устройств. К его достоинствам можно отнести:

- абсолютную герметичность, которая препятствует ослаблению диэлектрических свойств масла вследствие окисления, увлажнения и шламообразования;
- отсутствие необходимости в дополнительных пробах масла;
- отсутствие необходимости делать профилактический ремонт.



Рисунок 2 — Внешний вид силового трансформатора типа ТМГ 11

Поскольку на объекте есть осветительная нагрузка (однофазная нагрузка), то схема соединения обмоток силового трансформатора Д/У<sub>н</sub> – 11, которая дает меньшие сопротивления нулевой последовательности (нейтраль может нагружаться до 75% номинального тока фазы против 25% при схеме У/У<sub>н</sub>) и улучшает условия защиты от однофазных коротких замыканий (КЗ) на землю. Параметры выбранных трансформаторов в ТП берем из [27] и укажем в таблице 2.

Таблица 2 — Технические данные трансформаторов

Тип трансформатора	$S_{\text{ном. т}},$ кВА	$U_{\text{вн}},$ кВ	$U_{\text{нн}},$ кВ	$u_{\text{к}},$ %	$\Delta P_{\text{х}},$ кВт	$\Delta P_{\text{к}},$ кВт	$I_{\text{х}},$ %
ТМГ11-250/6	250	6	0,4	4,21	0,586	4,233	1,11

Рассчитаем потери мощности в трансформаторах. Для расчета потерь в трансформаторах (Тр-р 1 и Тр-р 2) используются их паспортные данные, которые указаны в таблице 2.

1) Потери активной мощности в трансформаторах:

$$\Delta P_{\text{тп}} = N_{\text{т}} (\Delta P_{\text{хх}} + k_{\text{з.ф}}^2 \cdot \Delta P_{\text{кз}}), \text{ кВт}, \quad (6)$$

где  $\Delta P_{\text{х.х.}}$  – потери ХХ (холостого хода) трансформатора, кВт;

$\Delta P_{\text{к.з.}}$  – потери КЗ трансформатора, кВт;

$N_{\text{т}}$  – количество трансформаторов, шт.;

$k_{з.ф.}$  – фактический коэффициент загрузки трансформатора.

2) Потери реактивной мощности в трансформаторах:

$$\Delta Q_{\text{тп}} = N_{\text{т}} \left( \sqrt{\left( \frac{I_{\text{x}} \% \cdot S_{\text{ном.т}}}{100} \right)^2 - \Delta P_{\text{x}}^2} + k_{з.ф.}^2 \cdot \frac{u_{\text{к}} \% \cdot S_{\text{ном.т}}}{100} \right) \text{кВар}, \quad (7)$$

где  $I_{\text{x}}$  – ток холостого хода трансформатора, %;

$u_{\text{к}}$  – напряжение короткого замыкания трансформатора, %.

Результаты расчёта потерь мощности в трансформаторах сведены в таблицу 3.

Таблица 3 — Результаты расчёта потерь мощности в трансформаторах

Трансформатор	Тип тр-ра	$S_{\text{т.ном.}}$ , кВА	$\Delta P_{\text{x.х.}}$ , кВт	$\Delta P_{\text{к.з.}}$ , кВт	$u_{\text{к}}$ , %	$I_{\text{x}}$ , %	$n$ , шт.	$K_{з.ф.}$	$\Delta P_{\text{т.}}$ , кВт	$\Delta Q_{\text{т.}}$ , кВар
Тр-р 1	ТМГ11-250/6	250	0,58	4,23	4,21	1,11	1	0,51	2,34	1,35
Тр-р 2	ТМГ11-250/6	250	0,58	4,23	4,21	1,11	1	0,54	2,40	1,45
Итого:									4,74	2,80

Также проверим энергоэффективность выбранных трансформаторов. Сравним два трансформатора ТМГ 11 и ТМГ 12 и сведем показатели в таблицу 4.

Таблица 4 — Сравнительные характеристики трансформаторов

Наименование характеристик	ТМГ11	ТМГ12	Ед. изм.
Мощность трансформатора	250	250	кВА
Потери холостого хода	0,61	0,83	кВт
Потери короткого замыкания	4,2	5,6	кВт
Тариф	2,75	2,75	Рос.руб./кВт·ч
Коэффициент загрузки (средний)	0,7	0,7	
Тариф за заявленную мощность в час пик (за кВт)	295,7	295,7	Рос.руб./кВт
Оплата за год	79,1	98,7	тыс. рос. руб.
Расход эл. энергии на потери в тр-ре (за год)	25089	31308	кВт·ч

Годовая экономия на потерях в трансформаторе для нагрузки  $\beta = 0,7$  составит около 6,2 тыс. кВт·ч и более 19,6 тыс. рублей.

## 2.2 Выбор и обоснование схемы электроснабжения трансформаторной подстанции учебного центра

Система электроснабжения любого объекта состоит из источников питания, линий электропередач, осуществляющих подачу электроэнергии к объекту, понизительных, распределительных и преобразовательных подстанций и связывающих их кабелей и воздушных линий.

Для питания силовых трансформаторов учебного центра используется радиальная схема.

Технико-экономический расчет производится для двух вариантов построения схем системы электроснабжения ТП 6/0,4 кВ учебно-производственного центра (рисунки 3 и 4), мы выполним технико-экономический расчет и сравним два варианта.

Вариант 1: предусматривается питание трансформаторов (2x250 кВА) от РУ 6 кВ РП-5 радиальными линиями, выполненными кабелем марки ААПл, проложенными в земле (рисунок 3).

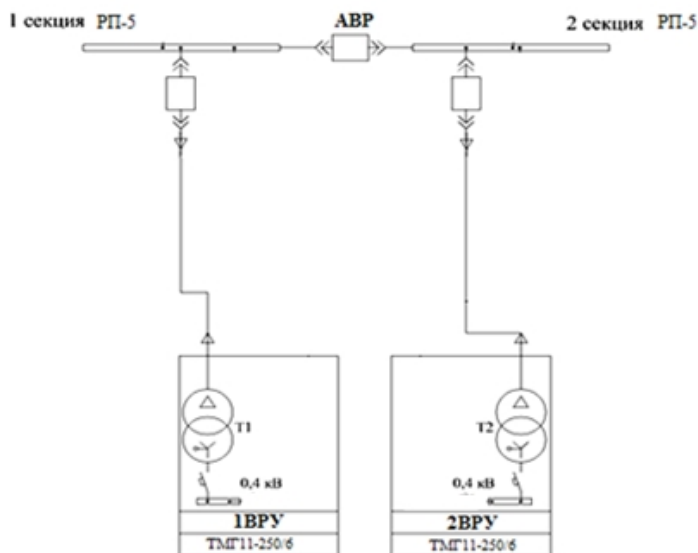


Рисунок 3 — Схема электроснабжения (вариант 1)

Достоинства первого варианта:

- простота и надежность;
- не требуется дополнительных затрат на строительство ТП;



– выдержка времени срабатывания релейной защиты меньше у одноступенчатой, чем у двухступенчатой.

Недостатки:

- увеличенный расход кабеля;
- большие потери в кабельных линиях.

Вариант 2: предусматривается сооружение трансформаторной подстанции 6/0,4 кВ от которой получают питание: Тр-р 1 и Тр-р 2 (250 кВА). Расстояние от РП-5 до ТП – 350 метров (рисунок 4).

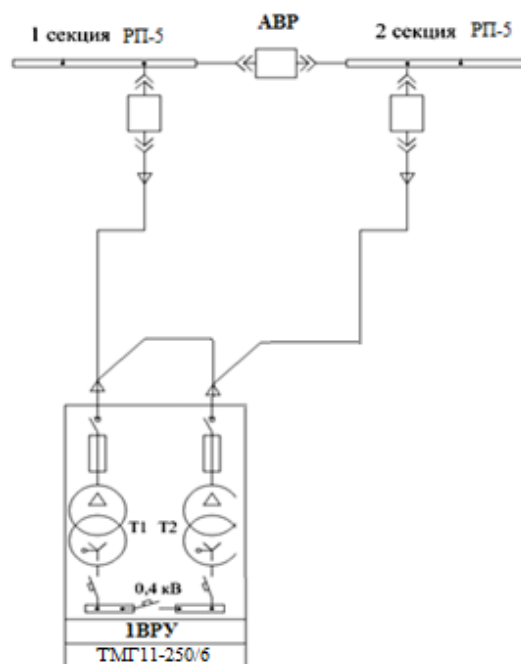


Рисунок 4 — Схема электроснабжения (вариант 2)

Достоинства второго варианта:

- уменьшение ячеек на РП-5;
- уменьшение расхода высоковольтного кабеля.

Недостатки второго варианта:

- увеличение времени действия релейной защиты;
- увеличение стоимости затрат на высоковольтную аппаратуру в ТП.

Наиболее экономичным решением выбора варианта схемы электроснабжения будет вариант, отвечающий требованиям и имеющий

наименьшие годовые приведенные затраты. При сравнении вариантов учитываются только те элементы, которые отличаются.

При выборе экономически обоснованного варианта схемы электроснабжения ТП учебно-производственного центра, выполним экономическую оценку обоих вариантов. Основным показателем этой оценки по [3] есть максимум эффекта:

$$\mathcal{E}_T = P_T - Z_T = \max, \text{ руб.}, \quad (8)$$

где  $P_T$  — стоимостная оценка результатов выполнения одного из вариантов, руб.;

$Z_T$  — стоимостная оценка затрат на выполнения электроснабжения одного из вариантов, руб.

Эти варианты обусловлены тем, что выгоды по ним одинаковые ( $P_T = \text{const}$ ). Так же, по данному способу расчета, издержки, затраты на обслуживание и ремонт, потери энергии и прочее затраты будут неизменные в рассматриваемый период эксплуатации ( $Z_T = \text{const}$ ). В этом случае максимум эффекта будет определен по минимуму годовых приведенных затрат [3]:

Приведенные затраты определяются для отличий двух вариантов по формуле:

$$Z_T = r \cdot K + C, \text{ руб.}, \quad (9)$$

где  $K$  — капитальные затраты для двух вариантов, руб.;

$C$  — издержки на эксплуатацию на год, руб.

Процентная ставка находится по формуле:

$$r = \frac{E_n - b}{1 + b} = \frac{0,12 - 0,085}{1 + 0,085} = 0,03 \%,$$

где  $E_n$  — номинальная процентная ставка, %/год;

$b$  — средний уровень инфляции, %/год.

Годовые издержки на эксплуатацию при сдаче учебного центра в эксплуатацию, определяются по формуле:

$$C = C_a + C_{po} + C_s, \quad (10)$$

где  $C_a$  — годовые амортизационные отчисления, руб./год;  
 $C_{po}$  — годовые затраты на обслуживание и текущий ремонт, руб./год;  
 $C_3$  — стоимость годовых потерь электроэнергии на участках системы электроснабжения центра, руб./год.

Амортизационные отчисления находятся по годовым нормам амортизации ( $p_a$ ) от капиталовложений ( $K$ ) на возведение элементов системы электроснабжения:

$$C_a = p_a \cdot K. \quad (11)$$

Годовые затраты на обслуживание и текущий ремонт можно найти по годовым нормам отчислений на обслуживание и текущий ремонт ( $p_{po}$ ):

$$C_{po} = p_{po} \cdot K. \quad (12)$$

Таким образом формулу (9) можно представить в виде:

$$Z = p \cdot K + C_3,$$

$$p = r + p_a + p_0,$$

где  $p$  — суммарный коэффициент отчислений от капитальных затрат, о.е;

$p_a$  — норма амортизации, о.е;

$p_0$  — коэффициент отчисления на обслуживание и ремонт, о.е.

Стоимость потерь электроэнергии:

$$C_3 = \Delta W \cdot C_{y.e}, \quad (13)$$

где  $\Delta W$  — годовые потери активной электроэнергии, кВт·ч;

$C_{y.e}$  — тариф на электроэнергию, руб/кВт·ч.

Двухставочный тариф на потребление электроэнергии:

$$C_{y.e} = \frac{\alpha}{T_M} + \beta, \text{ руб/кВт}\cdot\text{ч}, \quad (14)$$

где  $\alpha$  — плата за мощность, 882 руб/кВт в месяц;

$\beta$  — плата за энергию, 1,42 руб/кВт · ч;

$T_M$  — годовое значение использования часов максимума электрической нагрузки, равное 4960 ч. (для нашего учебного центра).

$$C_{y.e} = \frac{\alpha}{T_M} + \beta = \frac{882}{4960} + 1,42 = 1,59 \text{ руб/кВт} \cdot \text{ч.}$$

Годовые электрические потери активной электроэнергии в КЛ - 6 кВ для центра находятся по формуле:

$$\Delta W = \Delta P \cdot \tau = \frac{3 \cdot \rho \cdot l}{F} \cdot I^2 \cdot \tau, \quad (15)$$

где  $\Delta P$  – потери активной мощности, кВт;

$F$  – сечение жилы, мм<sup>2</sup>;

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

$l$  – длина КЛ-6 кВ, м;

$I$  – расчетный ток жилы кабеля, кА;

$\tau$  – время максимальных потерь, ч., равное:

$$\tau = 0,7 \cdot T_M \text{ при } \frac{T_M}{T_r} \leq 0,7;$$

$$\tau = \frac{T_M^2}{T_r} \text{ при } \frac{T_M}{T_r} > 0,7,$$

где  $T_r$  — годовое время работы, ч.

$$\frac{T_M}{T_r} = \frac{4960}{6400} = 0,75;$$

$$\tau = \frac{T_M^2}{T_r} = \frac{4960^2}{6400} = 3844, \text{ ч.}$$

Беря во внимание вышеуказанные выражения затраты на возведение и эксплуатацию КЛ - 6 кВ центра, находятся по формуле:

$$Z = p \cdot K + \frac{3 \cdot \rho \cdot l}{F} \cdot I^2 \cdot \tau \cdot C_{y.e}. \quad (16)$$

Эти два варианта системы электроснабжения центра, которые рассматриваются, имеют отличия в таких элементах системы:

- КЛ - 6 кВ (длина кабеля и его сечение);
- использование устройства ввода высокого напряжения с выключателями нагрузки на ТП, которые питаются по радиальной схеме.

Для получения суммарного коэффициента от капитальных затрат в элементах системы электроснабжения, которые отличаются, в таблице 5 указаны: реальная процентная ставка, нормы амортизации, коэффициенты отчисления на обслуживание и ремонт.

Таблица 5 — Коэффициенты отчислений для разных элементов системы электроснабжения трансформаторной подстанции учебно-производственного центра

Оборудование системы электроснабжения	$p_a$ , о.е.	$p_{po}$ , о.е.	$r$ , о.е.	$p$ , о.е.
КЛ - 6 кВ	0,0242	0,011	0,147	0,1741
Ячейка отходящей линии РУ - 6 кВ	0,0634	0,011	0,147	0,2133
Шкаф ввода ВН ТП 6/0,4 кВ	0,0634	0,011	0,147	0,2133

В результате технико-экономического сопоставления вариантов системы электроснабжения ТП 6/0,4 кВ учебно-производственного центра, которое выполнено по таблице 5, можно сделать вывод, что второй вариант системы электроснабжения ТП 6/0,4 кВ учебно-производственного центра является более экономически обоснованным. Годовой экономический эффект при этом составит:

$$\mathcal{E} = \mathcal{Z}_1 + \mathcal{Z}_2 = 387444,7 - 246791,4 = 140653,3 \text{ руб.}$$

### 2.3 Расчет токов короткого замыкания

Коротким замыканием (КЗ) называют всякое случайное или преднамеренное, не предусмотренное нормальным режимом работы, электрическое соединение различных точек электроустановки, при которых токи в ветвях электроустановки резко возрастают, превышая наибольший допустимый ток продолжительного режима [12].

В системе трехфазного переменного тока могут быть замыкания между тремя фазами, между двумя фазами и однофазные КЗ.

Нахождение трехфазного тока короткого замыкания на шинах ТП надо для проверки взятого защитного аппарата (коммутационного аппарата), на предельную отключающую способность.

Произведем расчет токов КЗ для РУНН 0,4 кВ второй секция шин ТП учебного центра (рисунок 5). Для первой секции шин расчет аналогичен.

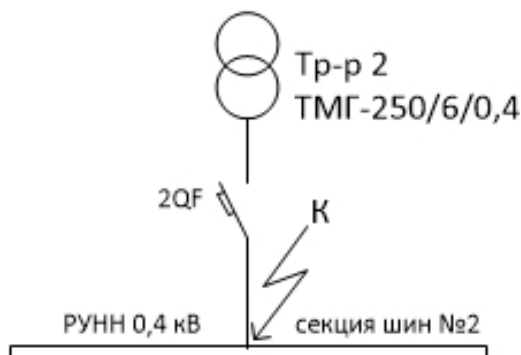


Рисунок 5 — Расчетная схема для распределительного устройства низкого напряжения 0,4 кВ второй секции шин

На основании расчетной схемы составляем схему замещения в упрощенном варианте (рисунок 6).

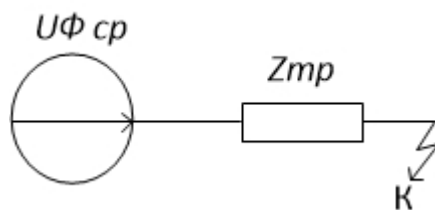


Рисунок 6 — Схема замещения для распределительного устройства низкого напряжения 0,4 кВ второй секции шин

Ток трехфазного короткого замыкания на шинах ТП ( $I_K^{(3)}$ ) находится по формуле:

$$I_K^{(3)} = \frac{U_{cp}}{\sqrt{3} \cdot Z_{mp}} \text{ кА}, \quad (17)$$

где  $U_{cp}$  — линейное среднее напряжение сети,  $U_{cp} = 0,4$  кВ;

$Z_{тр.}$  — полное сопротивление силового трансформатора, Ом.

$Z_{тр.250 \text{ кВА}} = 0,064$  Ом.

Следовательно, ток трехфазного короткого замыкания для силовых трансформаторов 250 кВА, согласно формуле (17), будет равен:

$$I_K^{(3)} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 0,064} = 3,62 \text{ кА}.$$

Правильный выбор коммутационного аппарата с учетом предельной отключающей способности определяется по условию:

$$I_{\text{пр.отк.}} \geq I_{\text{к}}^{(3)}, \quad (18)$$

где  $I_{\text{пр.отк.}}$  – максимальный ток отключения коммутационного аппарата, то есть предельный ток, который отключает нами выбранный защитный аппарат, кА.

Выбираем наименьшее значения  $I_{\text{пр.отк.}}$  и он равен  $I_{\text{пр.отк.мин.}} = 12,5$  кА.

Проверка условия (18):

$$I_{\text{пр.отк.}} = 12,5 \text{ кА} \geq I_{\text{к}}^{(3)} = 3,62 \text{ кА} \text{ – данное условие выполняется.}$$

Найдем ударный ток:

$$i_y = \sqrt{2} \cdot I_{\text{к}}^{(3)} \cdot K_y, \quad (19)$$

$$i_y = \sqrt{2} \cdot 3,62 \cdot 1,0 = 5,11 \text{ кА.}$$

Так как на первой секции шин установлено аналогичное электрооборудование то это значит, что все аппараты защиты по трехфазному току короткого замыкания, будем проверять по этим же параметрам.

Далее выполняются расчет токов однофазного короткого замыкания, для выбора и проверки защитных аппаратов.

Для примера рассмотрен расчет однофазного КЗ для кабеля марки ВВГ 4х185, который питает ввод №2 учебного центра (рисунок 7).

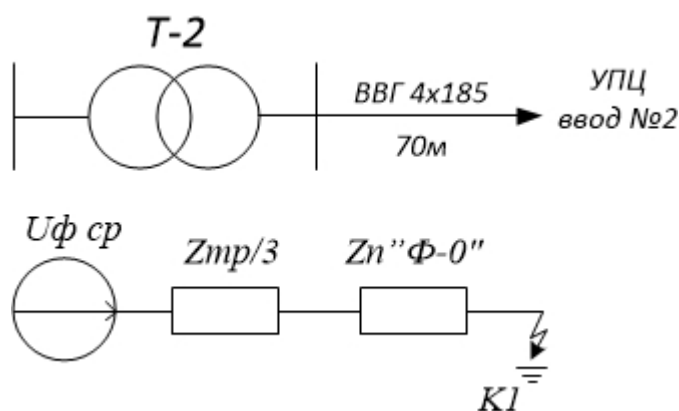


Рисунок 7 — Расчетная и эквивалентная схема замещения для кабеля марки ВВГ 4х185

Согласно справочной литературе [15], для кабелей разных сечений определяется удельное полное сопротивление петли «фаза-ноль».

$$Z_{\text{оп}(\phi-0)} = \sqrt{(R_{\phi} + R_o)^2 + (x_{\phi} + x_o)^2} \text{ Ом/км}, \quad (20)$$

где  $R_{\phi}, R_o$  – активные сопротивления фазного и нулевого проводов, Ом;

$X_{\phi}, X_o$  – индуктивные сопротивления фазного и нулевого проводов, Ом.

Удельное сопротивление петли «фаза-ноль» для кабеля ВВГ 4x185, будет равно:

$$Z_{\text{оп}(\phi-0)} = 1,06 \text{ Ом/км}.$$

Полное сопротивление петли «фаза-ноль» для участков линии, равно:

$$Z_{\text{оп}(\phi-0)\Sigma} = \sum_i Z_{\text{оп}(\phi-0) \cdot l} \text{ Ом}, \quad (21)$$

где  $l$  – длина кабеля рассчитываемого участка,  $l = 0,1$  км.

$$Z_{\text{оп}(\phi-0)\Sigma} = 1,06 \cdot 0,1 = 0,106 \text{ Ом}.$$

Следовательно, ток однофазного КЗ в удаленной точке линии Тр-р 2 – УПЦ (ввод №2), равен:

$$I_k^{(1)} = \frac{U_{\text{ср.}\phi}}{\frac{Z_t^{(1)}}{3} + \sum_{i=1}^n Z_{\text{н}(\phi-0)}} \text{ А}, \quad (22)$$

где  $U_{\text{ср.}\phi}$  – среднее фазное напряжение сети, В:

$$U_{\text{ср.}\phi} = 230 \text{ В};$$

$Z_t$  – полное сопротивление трансформатора, Ом,

$$I_k^{(1)} = \frac{230}{0,021+0,106} = 1811 \text{ А}.$$

Надежное отключение автоматическим выключателем однофазного тока КЗ выполняется за счет выполнения уравнения:

$$K_{\text{ч}} \geq 3,$$

где  $K_{\text{ч}}$  — коэффициент чувствительности защит.

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_k^{(1)}}{I_{\text{т.р.}}}, \quad (23)$$

где  $I_{\text{т.р.}}$  – ток теплового расцепителя, А;

$I_k^{(1)}$  – ток однофазного короткого замыкания, А.



$$K_{\text{ч}} = \frac{1811}{400} = 4,52,$$

где  $K_{\text{ч}} = 4,52 \geq 3$ , то есть чувствительность работы защит удовлетворительная.

Так как в линии Тр-р 1 – УПЦ (ввод №1) такие же данные, то результат расчетов токов короткого замыкания будет аналогичным.

Составим таблицу 6 со значениями однофазных коротких замыканий.

Таблица 6 — Значения однофазных токов короткого замыкания

Участок, линия	Сопротивление участков линии петли “фаза-ноль” $Z_{\text{п(ф-0)}}$ , Ом	Сопротивление трансформатора $\frac{Z_{\text{т}}^{(1)}}{3}$ , Ом	Ток однофазного короткого замыкания $I_{\text{к}}^{(1)}$ , кА	Коэффициент чувствительности $K_{\text{ч}}$
Тр-р 1–УПЦ (ввод №1)	0,106	0,021	1,8	4,52
Тр-р 2–УПЦ (ввод №2)	0,106	0,021	1,8	4,52

## 2.4 Расчет силовой сети и выбор защитной аппаратуры на трансформаторной подстанции

### 2.4.1 Выбор сечения питающих кабельных линий

В данном разделе выполняется выбор питающих кабельных линий 6 кВ для питания ТП-6/0,4 кВ учебного центра.

Выбор кабеля будет выполнен по экономической плотности тока.

Найдем рабочий ток кабельной линии 6 кВ по формуле:

$$I_{\text{раб.маx}} = \frac{S_{\text{р}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{вн}}} \text{ А}, \quad (24)$$

где  $S_{\text{р}}$  – полная расчетная мощность учебного центра;

$U_{\text{вн}}$  – напряжение на высокой стороне ТП, кВ.

Полная расчетная мощность учебного центра:

$$S_{\text{р}} = 263,98 \text{ кВА.}$$

Найдем максимальный рабочий ток кабельной линии 6 кВ по формуле:

$$I_{\text{раб.маx}} = \frac{263,98}{\sqrt{3} \cdot 6} = 25,4 \text{ А.}$$

Выбор производится, учитывая условия прокладки кабеля.

Для кабеля с алюминиевыми жилами при  $T_{\max} = 4960$  часов экономическая плотность тока согласно [31]:

$$J_{\text{эк}} = 1,1 \text{ А/мм}^2.$$

По экономической плотности тока  $J_{\text{эк}}$  находится площадь сечения кабеля:

$$S_{\text{э}} = \frac{I_{\text{раб.мах}}}{J_{\text{эк}}} \text{ мм}^2, \quad (25)$$

$$S_{\text{э}} = \frac{25,4}{1,1} = 23,1 \text{ мм}^2.$$

Выбрано стандартное сечение кабеля  $S = 50 \text{ мм}^2$  (далее будет выполнена проверка выбранного сечения).

Для прокладки выбираем кабель марки ААПл-6-3х50 (рисунок 8).



Рисунок 8 — Внешний вид силового кабеля марки ААПл-6-3х50

Параметры выбранного кабеля занесем в таблицу 7.

Таблица 7 — Параметры выбранного силового кабеля марки ААПл-6 3х50

Наименование	Параметры
Номинальное напряжение	6 кВ
Площадь сечения токоведущих жил	50 мм <sup>2</sup>
Длительно допустимый ток	132 А

Проверка выбранного кабеля по условию:

$$I_{\text{раб.мах}} < I_{\text{доп}}, \quad (26)$$

где  $I_{\text{раб.мах}}$  – максимальное значение тока при эксплуатации кабеля, А;  
 $I_{\text{доп}} = K_1 \cdot K_2 \cdot I_{\text{доп.н}}$  – длительно допустимый ток с учетом поправки на число рядом проложенных кабелей  $K_1$  и температуру окружающей среды  $K_2$ , А;  
 $I_{\text{доп.н}}$  – длительно допустимый ток на один кабель при номинальной разности температур между кабелем и окружающей средой, А.

Поправочные коэффициенты  $K_1$  и  $K_2$  могут быть определены по ПУЭ:

- $K_1$  для учета количества рядом проложенных кабелей:  $K_1=0,9$ ;
- $K_2$  для учета температуры окружающей среды:  $K_2 = 1,05$ .

С учетом поправок получается:

$$I_{\text{доп}} = 0,9 \cdot 1,05 \cdot 132 = 124,7 \text{ А.}$$

Проверим условие 2б:

$$I_{\text{раб.мах}} = 25,4 \text{ А} < I_{\text{доп}} = 124,7 \text{ А} \quad \text{– условие выполняется.}$$

## 2.4.2 Выбор электрооборудования

*Выбор защитных аппаратов для кабелей линий 0,4 кВ в ТП-6/0,4 кВ центра*

Для защиты участков распределительной сети 0,4 кВ в электрических сетях используются автоматические выключатели.

Приведем пример расчета для автоматического выключателя QF1 (УПЦ ввод №1) РУНН 0,4 кВ первая секция шин.

Найдем максимальный ток, который будет протекать через выбираемый аппарат защиты по формуле:

$$I_{\text{р.мах}} = \frac{P_y}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \cos \varphi} \text{ А,} \quad (27)$$

где  $P_y$  – расчетная нагрузка УПЦ (ввод №1), кВт.

$$I_{\text{р.мах}} = \frac{118,2}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,92} = 197 \text{ А.}$$

Определим номинальный ток теплового расцепителя отходящего автоматического выключателя по условию:

$$I_{\text{ном.т.р}} \geq 1,1 \cdot I_{\text{р.мах}} \text{ А,} \quad (28)$$

$$I_{\text{ном.т.р}} \geq 1,1 \cdot 197 = 216,7 \text{ А.}$$

Выбираем автоматические выключатели марки Schneider Electric NSX 400 F 250 А (рисунок 9) с тепловым расцепителем, ток которого равен:

$$I_{\text{ном.т.р}} = 250 \text{ А,}$$

$$I_{\text{ном.т.р}} = 250 \text{ А} \geq I_{\text{р.мах}} = 216,7 \text{ А} - \text{условие 28 выполняется.}$$

Результаты расчетов выбора автоматического выключателя (QF3) для отходящей линий УПЦ (ввод №2) будут идентичными, так что выбираем автоматический выключатель с такими же параметрами.



Рисунок 9 — Внешний вид автоматического выключателя марки Schneider Electric NSX 400 F 250 А

Далее выбираются вводные автоматические выключатели (1QF и 2QF) защищающие секции шин 0,4 кВ.

Номинальный ток автоматических выключателей выбирается по условию:

$$I_{\text{н.а}} \geq I_{\text{р}}, \quad (29)$$

где  $I_{\text{н.а}}$  – номинальный ток силовой части автоматического выключателя, А;

$I_{\text{р}}$  – рабочий ток секции шин 0,4 кВ, А.

Номинальный ток теплового расцепителя выбирается по условию:

$$I_{\text{т.р}} \geq 1,1 \cdot I_{\text{р}}, \quad (30)$$

где  $I_{m,p}$  – номинальный ток теплового расцепителя автоматического выключателя, А.

Номинальный ток электромагнитного расцепителя выбирается по условию:

$$I_{эм,р} = 12 \cdot I_{m,p} \quad (31)$$

Найдем рабочий ток секции шин 0,4 кВ по формуле:

$$I_{р.с.ш.0,4} = \frac{S_{мп-р}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, \quad (32)$$

$$I_{р.с.ш.0,4} = \frac{250}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 379,8 \text{ А.}$$

По условию (30):

$$I_{т,р} \geq 1,1 \cdot 379,8 = 417,8 \text{ А.}$$

Выбираем вводные автоматические выключатели марки Schneider Electric NSX 630 F 500 А (рисунок 10) с параметрами:

$$I_{н.а} - 630 \text{ А;}$$

$$I_{m,p} - 500 \text{ А;}$$

$$I_{эм,р} - 6000 \text{ А.}$$



Рисунок 10 — Внешний вид автоматического выключателя марки Schneider Electric NSX 630 F 500 А

Проверим автоматический выключатель:

$$I_{н.а} = 630 \text{ А} \geq I_p = 417,8 \text{ А} - \text{условие (29) выполняется,}$$

$I_{m.p.} = 500 \text{ A} \geq I_p = 417,8 \text{ A}$  – условие (30) выполняется,

$I_{эм.р} = 6000 \text{ A} = 6000 \text{ A}$  – условие (31) выполняется.

По такому же способу находим параметры для выбора секционного автоматического выключателя 3QF. Так как, секционный автоматический выключатель ставится на стороне РУНН 0,4 кВ первой секции шин, то на стороне РУНН 0,4 кВ второй секции шин будет установлен секционный разъединитель (QS) INV 630 А. Полученные результаты сводятся в итоговую таблицу 8.

Таблица 8 — Выбор коммутационной аппаратуры для защиты линий 0,4 кВ в трансформаторной подстанции учебного центра

Место расположения	Потребитель	Нагрузка на участке сети	Ток нагрузки и линии	Ном.ток аппарата	Ном.ток теплового расцепителя	Ном.ток эл. магнитного расцепителя	Тип выключателя
-	-	$S_p$ , кВА	$I_{p.max}$ , А	$I_n$ , А	$I_{тр}$ , А	$I_{эм.р}$ , А	-
РУНН 0,4 кВ первая секция шин	1QF (ввод от тр-р-1)	250	417,8	630	500	6000	NSX630F 500A
	QF1 (УПЦ ввод №1)	118,2	216,7	400	250	3000	NSX400F 250A
	QF2 (резерв)	50	85	160	100	1200	NSX160F 100 A
	3QF (СВ)	250	417,8	630	500	6000	NSX630F 500A
РУНН 0,4 кВ вторая секция шин	2QF (ввод от тр-р-2)	250	417,8	630	500	6000	NSX630F 500A
	QF3 (УПЦ ввод №2)	123,3	220	400	250	3000	NSX400F 250A
	QF4 (резерв)	50	85	160	100	1200	NSX160F 100 A
	QS (СР)	250	417,8	630	-	-	INV630

Для питания щитов собственных нужд ТП 6/0,4 кВ (ЩСН-1, ЩСН-2) (дежурное освещение, аварийное освещения, обогрев ТП, сигнализация, управление электрооборудованием, телеуправления и телеизмерение)

выбираются автоматические выключатели марки Schneider Electric C60N C25A, которые будут запитаны до вводных автоматов 1QF и 2QF.

#### *Выбор трансформаторов тока 0,4 кВ*

Номенклатура и технические данные низковольтных трансформаторов тока приведены в учебном пособии [13]. Поскольку предполагается применение трансформаторов тока для подключения средств коммерческого учёта электроэнергии, то их класс точности должен быть не ниже 0,5 [22].

Трансформаторы тока выбираются согласно требований [23]:

1) по номинальному напряжению:

$$U_{уст.} \leq U_H, \quad (33)$$

где  $U_{уст.}$  – напряжение сети, кВ;

$U_H$  – номинальное напряжение первичной обмотки трансформатора тока, кВ.

2) по рабочему току:

$$I_{р.мах} \leq I_H, \quad (34)$$

где  $I_{р.мах}$  – расчетный максимальный ток линии, А;

$I_H$  – номинальный ток вторичных цепей, А;

3) по условиям электродинамической устойчивости:

$$i_y \leq i_{дин.}, \quad (35)$$

где  $i_y$  – ударный ток КЗ в мест установки трансформатора тока, кА;

$i_{дин.}$  – ток электродинамической стойкости трансформатора тока, кА.

4) по сопротивлению нагрузки:

$$Z_2 \leq Z_{ном}, \quad (36)$$

где  $Z_{ном}$  — сопротивления вторичных цепей, Ом,

$Z_2$  — допустимое значение сопротивления вторичных цепей, Ом;

$$Z_{ном} = Z_{пров} + Z_{конт} + Z_{пр}, \quad (37)$$

где  $Z_{пров}$  — сопротивление проводов, Ом;

$Z_{конт}$  — сопротивление контактов, Ом;

$Z_{пр}$  — сопротивление приборов, Ом.

$$Z_2 = \frac{S_{TC}}{I_{ном}^2}, \quad (38)$$

где  $S_{тс}$  — номинальная нагрузка, кВА;

$I_{ном}$  — номинальный ток вторичных цепей, А.

Пример выбора трансформаторов тока, которые стоят на вводе РУНН 0,4 кВ первой секции шин марки Т-0,66-1 600/5.

Выполняется проверка трансформаторов тока:

$U_{уст} = 0,4 \text{ кВ} \leq U_{ном} = 0,4 \text{ кВ}$  – по номинальному напряжению условие выполняется;

$I_{р.мах} = 417,82 \text{ А} \leq I_{ном} = 600 \text{ А}$  – по рабочему току условие выполняются;

$I_y = 84,02 \text{ А} \leq I_{дин} = 169 \text{ А}$  – по электродинамической устойчивости условие выполняется.

Проверим трансформаторы тока по сопротивлению нагрузки:

$$Z_2 = \frac{30}{5^2} = 1,2 \text{ Ом}.$$

К трансформаторам тока подключен амперметр ( $Z = 0,1 \text{ Ом}$ ), ваттметр ( $Z = 0,09 \text{ Ом}$ ) и прибор учета электроэнергии ( $Z = 0,07 \text{ Ом}$ ).

Сопротивление всех приборов равно:

$$Z_{прил} = 0,1 + 0,09 + 0,07 = 0,26 \text{ Ом}.$$

Сопротивление контактов:

$$Z_{конт} = 0,6 \text{ Ом}.$$

Длина проводов равна:  $L = 10 \text{ м}$  (в одну сторону), провод алюминиевый  $\rho = 0,028 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$ , сечение  $S = 2,5 \text{ мм}^2$ .

Сопротивление провода:

$$Z = \rho \cdot \frac{L}{S} = 0,028 \cdot \frac{10 \cdot 2}{2,5} = 0,44 \text{ Ом},$$

$$Z_{ном} = 0,44 + 0,6 + 0,26 = 1,3 \text{ Ом},$$

$Z_2 = 1,2 \text{ Ом} \leq Z_{ном} = 1,3 \text{ Ом}$  – условие по сопротивлению нагрузки выполняется.



### Выбор высоковольтных выключателей.

Выполним выбор высоковольтных выключателей, используя условия:

1) по номинальному напряжению:

$$U_{уст} \leq U_{ном}, \quad (39)$$

где  $U_{уст}$  – напряжение сети, кВ;

$U_{ном.}$  – номинальное напряжение высоковольтного выключателя, кВ.

2) по рабочему току:

$$I_{р.мах} \leq I_{ном}, \quad (40)$$

где  $I_{р.мах}$  – расчетный максимальный ток линии, А;

$I_{н}$  – номинальный ток высоковольтного выключателя, А.

3) по коммутационной способности на симметрический ток КЗ:

$$\sqrt{2} \cdot I_n(\tau) \leq I_{откл.ном}, \quad (41)$$

где  $I_n(\tau)$  – действующее значение периодической составляющей тока КЗ в момент времени  $\tau$  после окончания размыкания контактов выключателя, кА;

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

4) по коммутационной способности на асимметрический ток КЗ:

$$(\sqrt{2} \cdot I_n(\tau) + I_a(\tau)) \leq \sqrt{2} \cdot I_{відкл.ном} \cdot (1 + \beta_n), \quad (42)$$

где  $I_a(\tau)$  — действующее значение апериодической составляющей тока КЗ в момент начала размыкания контактов выключателя, кА;

$\beta_n$  — номинальное значение относительного состава апериодической составляющей в токе КЗ, что отключается, кА:

$$I_a(\tau) = I_n(\tau) \cdot e^{-0,01/\tau}, \quad (43)$$

где  $\tau$  — время от начала КЗ до расхождения, сек.:

$$\tau = t_{PЗ.min} + t_{CB},$$

где  $t_{PЗ.min}$  — минимальное время действия релейной защиты, сек,

$t_{CB}$  — свое время отключения, сек.

5) по электродинамической устойчивости:

$$i_{y\partial} \leq i_{np.nac}, \quad (44)$$

где  $i_{np.nac}$  – амплитудное значение сквозного тока КЗ, кА;

$i_{y\partial}$  – ударный ток, КЗ.

б) по термической устойчивости:

$$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T, \quad (45)$$

где  $B_K$  — расчетный тепловой;

$I_T$  – ток термической устойчивости, кА;

$t_T$  – время действия тока термической устойчивости, сек.

Выбираем высоковольтные выключатели нагрузки для РУВН 6кВ (яч.1 – яч.6) типа LS-12-BHN (рисунок 11).

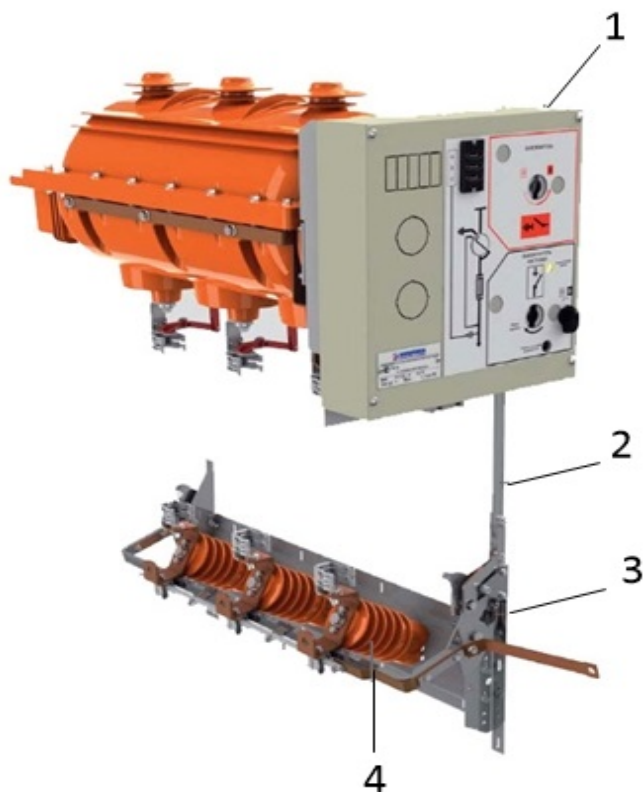


Рисунок 11 — Внешний вид высоковольтного выключателя LS-12-BHN:  
1–привод, 2–тяга, 3–фиксатор, 4–заземляющий нож

Паспортные параметры высоковольтного выключателя типа LS-12-BHN[33] занесём в таблицу 9.

Таблица 9 — Параметры высоковольтного выключателя типа LS-12-BHN

Наименование	Параметры
Номинальное напряжение	10 кВ
Наибольшее рабочее напряжение	12 кВ
Номинальный (длительно допустимый ток)	630 А
Номинальный коммутируемый ток	630 А
Ток термической стойкости (при времени протекания 1 сек.)	16 кА
Ток электродинамической стойкости	41 кА
Номинальное напряжение питания электромагнита	220 В
Диапазон рабочих напряжений питания электромагнита	143 – 264 В
Номинальное напряжение вспомогательных контактов	до 660 В
Номинальный ток вспомогательных контактов	10 А

Высоковольтный выключатель SL-12-BHN состоит из герметичного корпуса, внутри которого расположена контактная система главной токоведущей цепи и привода. Корпус выключателя изготовлен из полимерного изоляционного материала и заполнен элегазом при небольшом избыточном давлении (0,5 кгс/см<sup>2</sup>). Внешние шинные присоединения осуществляются через верхние и нижние выводы неподвижных контактов. На левой стороне корпуса имеются выводы для присоединения шины заземления главной цепи.

Подвижные контакты трех полюсов жестко установлены на одном общем вале и могут последовательно занимать одно из трех положений: «включено», «отключено» и «заземлено», что обеспечивает выполнение функций выключателя нагрузки (разъединителя) и заземляющего разъединителя одним коммутационным аппаратом. В высоковольтных выключателях для гашения электрической дуги используются высокие диэлектрические и дугогасящие свойства элегаза. Применение дугостойких материалов для изготовления контактов вместе с простой и надежной системой гашения дуги обеспечивают высокий коммутационный ресурс, уменьшают износ и эрозию контактов.

## Элементы систем безопасности высоковольтных выключателей SL-12

ВНН:

- оперативные блокировки;
- механические (замковые) блокировки;
- электромагнитны блокировки;
- блокировки с помощью навесных замков;
- блок индикации наличия напряжения;
- механический указатель положения коммутационного аппарата на одном валу с главными контактами.

Преимущества высоковольтных выключателей SL12 ВНН:

- не требуют обслуживания в течение всего срока эксплуатации.
- сводят к минимуму вероятность появления открытой электрической дуги во внутреннем объеме КСО и КРУ.

Нагрузка, которая задана на шинах 6кВ учебного центра:

$$I_{кз} = 6,6 \text{ кА};$$

$$I_{уст} = 48,11 \text{ А}.$$

Выполним проверку выключателя нагрузки:

$U_{уст} = 6 \text{ кВ} \leq U_n = 10 \text{ кВ}$  – условие по номинальному напряжению выполняется;

$I_{p.max.} = 48,11 \text{ А} \leq I_n = 630 \text{ А}$  – условие по рабочему току выполняется;

$$t = t_{pзmin} + t_{св} = 0,8 + 0,015 = 0,815 \text{ сек.},$$

$$I_a(t) = \sqrt{2} \cdot 6,6 \cdot \left(1 + e^{\frac{-0,815}{0,037}}\right) = 11,76 \text{ кА},$$

$$\sqrt{2} \cdot 6,6 + 11,76 = 22,06 \text{ кА},$$

$$\sqrt{2} \cdot 16 + (1 + 0,4) = 31,68 \text{ кА},$$

$22,06 \text{ кА} \leq 31,68 \text{ кА}$  – условие по коммутационной способности на асимметрический ток КЗ выполняется;

$I_{уд} = 12,95 \text{ кА} \leq I_{пр.нас} = 41 \text{ кА}$  – условие по электродинамической устойчивости выполняется;

$$B_{кр} = 6,6^2 \cdot (0,83 + 0,037) = 37,766 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.},$$

$$B_{кк} = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.},$$

$$37,766 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} < 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.} - \text{условие по термической устойчивости}$$

выполняется.

Делаем вывод, что высоковольтный выключатель выбран правильно, соответствует всем требованиям и может быть использован для высоковольтных ячеек РУВН ТП 6/0,4 кВ учебного центра (яч.1 – яч.6).

#### *Выбор ограничителей перенапряжений на стороне 6 кВ*

Ограничители перенапряжения (ОПН) выбираются по условиям [16]:

1) по номинальному напряжению:

$$U_{ном} \geq U_{с.ном}, \quad (46)$$

где  $U_{ном}$  – номинальное напряжение ОПН, кВ;

$U_{с.ном}$  – номинальное напряжение сети, кВ.

2) по наибольшему рабочему напряжению

$$U_{н.д.} \geq U_{н.р.}, \quad (47)$$

где  $U_{н.д.}$  – наибольшее допустимое напряжение ОПН, кВ;

$U_{н.р.}$  – наибольшее рабочее напряжение сети, кВ;

3) по степени временных перенапряжений:

$$T \cdot U_{н.о.} \geq U_{пер}, \quad (48)$$

где  $T \cdot U_{н.о.}$  – максимальное значение напряжения промышленной частоты, которое выдерживает ОПН, кВ;

$U_{пер}$  – уровень временных перенапряжений, кВ;

4) по координационному интервалу для грозовых перенапряжений:

$$K_{гр.} \geq 0,2, \quad (49)$$

где  $K_{гр} = \frac{U_{вин} - U_{осн}}{U_{вин}}$  – координационный интервал;

5) по координационному интервалу для внутренних перенапряжений:

$$K_{вн} \geq 0,2; \quad (50)$$

б) по току короткого замыкания:

$$I_{кз} \leq I_{кз.д.}, \quad (51)$$

где  $I_{кз.д.}$  – номинальный ток ОПН, кА

$I_{кз}$  – короткое замыкание в месте установки ОПН, кА.

Далее выбираем ограничители перенапряжений А1–А2 на номинальное напряжение 6 кВ типа «ОПНп-6/7,2/10/1(2)» (рисунок 12).



Рисунок 12 — Внешний вид ограничителя перенапряжений типа «ОПНп-6/7,2/10/1(2)»

Параметры ограничителя перенапряжений типа «ОПНп-6/7,2/10/1(2)» запишем в таблице 10.

Таблица 10 – Параметры ограничителя перенапряжений типа «ОПНп 6/7,2/10/1(2)»

Наименование	Параметры
Номинальное напряжение	6 кВ
Номинальный разрядный ток	10 кА
Постоянное рабочее напряжение	12 кВ
Грозное испытательное напряжение	39,6 кВ
Остаточное напряжение	31,3 кВ
Допустимое напряжение	34 кВ
Устойчивость до токов короткого замыкания	20 кА

Проверим ОПН:

$$U_{ном} = 12 \text{ кВ} \geq U_{с.ном} = 6 \text{ кВ} \quad \text{– условие по номинальному напряжению}$$

выполняется.

$$T = 1,5 \text{ сек.},$$

$$U_{н.о.} = 12 \text{ кВ},$$

$$T \cdot U_{н.о.} = 1.5 \cdot 12 = 18 \text{ кВ},$$

$$U_{пер} = 15 \text{ кВ},$$

$$U_{н.о.} = 18 \text{ кВ} \geq U_{пер} = 15 \text{ кВ} \quad - \quad \text{условие по наибольшему рабочему}$$

напряжению выполняется.

$$U_{исп} = 39,6 \text{ кВ},$$

$$U_{ост} = 31,3 \text{ кВ},$$

$$K_{ГР} = \frac{39,6 - 31,3}{39,6} = 0,22,$$

где  $K_{ГР} = 0,22 \geq 0,2$  – условие по координационному интервалу для грозových перенапряжений выполняется.

$$U_{дон} = 54 \text{ кВ},$$

$$U_{осн} = 34 \text{ кВ},$$

$$K_{ВН} = \frac{54 - 34}{54} = 0,37,$$

где  $K_{ВН} = 0,37 \geq 0,2$  – условие по координационному интервалу для внутренних перенапряжений выполняется.

$$I_{кз} = 6,6 \text{ кА},$$

$$I_{кз.д} = 20 \text{ кА},$$

$$I_{кз} = 6,6 \text{ кА} < I_{кз.д} = 20 \text{ кА} \quad - \quad \text{условие по току короткого замыкания}$$

выполняется.

#### *Выбор предохранителей 6 кВ*

Предохранители F1 – F6 для силовых трансформаторов выбираем на напряжение 6 кВ. Ток, который проходит через предохранитель, обусловленный мощностью силового трансформатора ( $S=250$  кВА), который равный:

$$I_{раб.} = \frac{S_{тр-р}}{\sqrt{3} \cdot U_{ВН}}, \quad (52)$$

$$I_{раб.} = \frac{250}{\sqrt{3} \cdot 6} = 24 \text{ А},$$

Выбираем предохранитель типа ПКТ 103-6 (рисунок 13).



Рисунок 13 - Внешний вид высоковольтного предохранителя типа «ПКТ 103-6»:  
1 - предохранитель, 2 - контакт с замком, 3 - хвостовик контакта, 4 - опорный изолятор.

Параметры предохранителя типа «ПКТ 103-6» запишем в таблицу 11.

Таблица 11 — Параметры предохранителя типа «ПКТ 103-6»

Наименование	Параметры
Номинальное напряжение	6 кВ
Номинальный ток	40 А
Номинальный ток отключения	40 кА

Проверим предохранитель:

$U_{ном} = 6 \text{ кВ} \geq U_{с.ном} = 6 \text{ кВ}$  – условие по номинальному напряжению выполняется.

Начальное значение тока короткого замыкания:

$$I_{кз} = 6,6 \text{ кА},$$

$I_{ном} = 40 \text{ кА} \geq I_{кз} = 6,6 \text{ кА}$  – условие по току отключения выполняется.

Для контроля расхода электроэнергии будет установлен многотарифный счетчик марки «Меркурий 230 ART» (рисунок 14).





Рисунок 14 — Внешний вид электросчетчика марки «Меркурий 230 ART»

Счетчик современный, электронный, учитывающий 2 тарифа: дневной и ночной.

Учёт, измерение, хранение, вывод на ЖКИ и передачу по интерфейсам CAN, IrDA, RS-485 реактивной и активной электроэнергии отдельно по каждому тарифу и сумму по всем тарифам за следующие периоды времени [30]:

- всего от сброса показаний;
- за предыдущие сутки и на начало суток;
- за текущие сутки и на начало суток;
- за каждый из 11 предыдущих месяцев и на начало месяцев;
- за текущий месяц и на начало месяца;
- за текущий год и на начало года;
- за предыдущий год и на начало года.

Тарификатор счётчика обеспечивает возможность учёта по 4 тарифам в 16 временных зонах суток для 4-х типов дней. Каждый месяц года программируется по индивидуальному тарифному расписанию. Минимальный интервал действия тарифа в пределах суток 1 минута.

Возможен учёт активной энергии прямого направления отдельно в каждой фазе сети.

Возможен учёт технических потерь в линиях электропередач и силовых

трансформаторах.

Дополнительно счётчик обеспечивает измерение следующих параметров электросети:

- мгновенных значений реактивной, активной и полной мощности по сумме фаз и по каждой фазе с указанием направления вектора полной мощности;
- действующих значений фазных напряжений, токов углов между фазными напряжениями;
- частоты сети;
- коэффициентов мощности по сумме фаз и по каждой фазе.

Задание лимитов активной мощности и энергии и программируемое управление внешними устройствами отключения (УЗО) нагрузки потребителя при превышении лимитов.

Учётных данных и передачу результатов измерений через интерфейсы RS-485, CAN.

Технические характеристики счетчика марки «Меркурий 230 ART» [30]:

- класс точности 0.5S, 1.0;
- интерфейсы: CAN, RS-485; IrDA, PLC;
- возможность подключения резервного питания  $U_{рез} — 5,5 - 9 В$ ;
- измерение мощности, токов, напряжений, частоты,  $\cos \varphi$ ;
- встроенный модем PLC для передачи данных по силовой сети 220 В;
- два стандартных гальванически развязанных телеметрических выхода (DIN 43864), по одному на каждый вид энергии;
- счётчики работают в сторону увеличения показаний при любом нарушении фазировки подключения токовых цепей;
- автоматическая самодиагностика с индикацией ошибок;
- управление нагрузкой через внешние цепи коммутации;
- электронная пломба.

Счётчики отображают на ЖК-индикаторе:

- значение потреблённой активной и реактивной электрической энергии по каждому тарифу (до четырёх) и сумму по всем тарифам с нарастающим итогом с точностью до сотых долей кВт·ч и кВар·ч;
- фазное напряжение и ток в каждой фазе;
- измеренное значение реактивной, активной и полной мощности (время интеграции 1 с) как по каждой фазе, так и суммарную по трем фазам с индикацией квадранта, в котором находится вектор полной мощности;
- утренний и вечерний максимум реактивной и активной мощности в текущем и 3-х предыдущем месяцах;
- коэффициент мощности по каждой фазе и суммарный по трем фазам;
- углы между фазными напряжениями;
- частоту сети;
- текущее дату и время;
- параметры модема силовой сети;
- пиктограмма уровня сигнала модема PLC.

## **2.5 Расчет заземляющего устройства трансформаторной подстанции**

В электроустановках свыше 1 кВ применяется схема с изолированной нейтралью, либо резонансно скомпенсированной нейтралью. Для электроустановок напряжением ниже 1 кВ применяется схема с глухозаземленной нейтралью. Согласно главы 1.7 ПУЭ 7-го издания сопротивление заземляющего устройства в электроустановках напряжением 380 В в любое время года не должно превышать 4 Ом.

Для выполнения заземляющего устройства главных заземляющих шин ТП-6/0,4 кВ учебного центра принимаем заземляющий ряд из вертикальных электродов – круглого профиля диаметром 50 мм и стальной полосы 40x5 мм<sup>2</sup> для соединения вертикальных заземлителей.

Вертикальные заземлители расположим контуром на глубине  $h_3 = 0,7$  м. от поверхности земли. Длина вертикальных заземлителей  $l_B = 2,5$  м.

Расчетное удельное сопротивление грунта для вертикального заземлителя [16]:

$$\rho_{в,расч} = k_{пов} \cdot \rho = 1,8 \cdot 60 = 108 \text{ Ом} \cdot \text{м},$$

где  $k_{пов}$  — повышающий коэффициент для четвертой климатической зоны;  
 $\rho$  — удельное сопротивление грунта (на основании [32] принимаем для песка 60 Ом·м).

Средняя глубина залегания вертикального заземлителя:

$$t_1 = h_3 + \frac{l_B}{2} = 0,7 + \frac{2,5}{2} = 1,95 \text{ м}.$$

Сопротивление растеканию одного вертикального заземлителя [16]:

$$r_B = \frac{\rho_{в,расч} \cdot \left( \ln \frac{2 \cdot l_B}{d_{э.в.}} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4 \cdot t_1 + l_B}{4 \cdot t_1 - l_B} \right)}{2\pi \cdot l_B} = \frac{108 \cdot \left( \ln \frac{2 \cdot 2,5}{0,05} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4 \cdot 1,95 + 2}{4 \cdot 1,95 - 2} \right)}{2 \cdot 3,14 \cdot 2,5} \\ = 17,8 \text{ Ом}.$$

Ориентировочное число вертикальных заземлителей:

$$n = \frac{r_B}{K_{и.в} \cdot R_{3У}} = \frac{17,8}{0,77 \cdot 4} = 5,7 \text{ шт},$$

где  $K_{и.в}$  — коэффициент использования вертикальных заземлителей.

Суммарное сопротивление растеканию вертикальных заземлителей:

$$R_B = \frac{r_B}{K_{и.в} \cdot n} = \frac{17,8}{0,77 \cdot 6} = 3,8 \text{ Ом}.$$

Расчетное удельное сопротивление грунта для горизонтального заземлителя [29]:

$$\rho_{г,расч} = k_{пов} \cdot \rho = 1,8 \cdot 60 = 108 \text{ Ом} \cdot \text{м},$$

где  $k_{пов}$  — повышающий коэффициент для четвертой климатической зоны;  
 $\rho$  — удельное сопротивление грунта (на основании [32] принимаем для песка 60 Ом·м).

Длина горизонтального заземлителя:

$$l_T = \alpha \cdot n = 7 \cdot 4 = 28 \text{ м}.$$

Сопротивление растеканию одного горизонтального заземлителя [16]:

$$r_{\Gamma} = \frac{\rho_{\text{в.расч}} \cdot \ln \frac{2 \cdot l_{\Gamma}^2}{b \cdot t_1}}{2\pi \cdot l_{\Gamma}} = \frac{108 \cdot \ln \frac{2 \cdot 28^2}{0,04 \cdot 0,7}}{2 \cdot 3,14 \cdot 20} = 5,7 \text{ Ом.}$$

Сопротивление растеканию горизонтальных заземлителей:

$$R_{\Gamma} = \frac{r_{\Gamma}}{K_{\text{и.Г}}} = \frac{5,7}{0,4} = 14,2 \text{ Ом,}$$

где  $K_{\text{и.Г}}$  — коэффициент использования горизонтального заземлителя.

Сопротивление заземляющего устройства:

$$R_{\text{зУ}} = \frac{R_{\text{в}} \cdot R_{\Gamma}}{R_{\text{в}} + R_{\Gamma}} = \frac{3,8 \cdot 14,2}{3,8 + 14,2} = 3 \text{ Ом.}$$

Полученное значение сопротивления спроектированного заземляющего устройства для трансформаторной подстанции учебного центра соответствует требованиям главы 1.7 ПУЭ 7-го издания.

## **2.6 Разработка инструкции по обслуживанию и эксплуатации силовых трансформаторов**

### **2.6.1 Область применения инструкции**

1. Настоящая инструкция разработана на основании «Правил устройства электроустановок» с целью обеспечить надежную, безопасную и рациональную эксплуатацию электрооборудования и содержание его в исправном состоянии.

2. Действие настоящей инструкции распространяется на силовые масляные трансформаторы и автотрансформаторы.

3. Каждый работник, если он сам не может принять меры к устранению нарушений Инструкции, обязан немедленно сообщить своему непосредственному, а в случае его отсутствия - вышестоящему руководителю о всех замеченных им нарушениях Инструкции, а также о неисправностях оборудования и применяемых при работах машин, механизмов, инструмента и средств защиты, представляющих опасность для людей или для нормальной работы оборудования.

## **2.6.2 Требования при выборе и монтаже трансформаторов**

1. При выборе, монтаже и ремонтах трансформаторов должны соблюдаться требования правила устройства, изложенные в настоящем разделе.

2. Эксплуатационный персонал обязан соблюдать сам и контролировать соблюдение этих требований монтажными и ремонтными организациями, а также принимать меры к выявлению и устранению возникших в процессе эксплуатации нарушений.

3. Трансформаторы, пускорегулирующая аппаратура, контрольно измерительные приборы, устройства защиты, а также все электрическое и вспомогательное оборудование к ним выбираются и устанавливаются таким образом, и должны быть обеспечены такой системой охлаждения, чтобы температура их при работе не превышала допустимой.

4. Выбор параметров трансформаторов должен производиться в соответствии с режимом их работы, при этом должны учитываться как длительные нагрузочные режимы, так и кратковременные и толчковые нагрузки.

5. Трансформаторы должны быть установлены так, чтобы были обеспечены удобные и безопасные условия для наблюдения за уровнем масла в маслоуказателях без снятия напряжения.

6. Транспортирование, разгрузка, хранение, монтаж, ввод в эксплуатацию трансформаторов должны выполняться в соответствии с инструкциями заводов-изготовителей.

7. Расстояние в свету между открыто установленными трансформаторами должно быть не менее 1,25 м.

8. Внутри помещений каждый трансформатор должен быть установлен в отдельной камере (исключение - трансформаторы комплектных трансформаторных подстанций). При установке выше второго этажа или ниже пола первого этажа более чем на 1 м трансформаторы должны быть с негорючим заполнением или сухим.

9. Пол камер трансформаторов должен иметь уклон 2% в сторону маслоприемника.

10. Каждая камера должна иметь отдельный выход наружу или в смежное помещение с негоряемым полом, стенами и перекрытием, не содержащие огнеопасных и взрывоопасных предметов, аппаратов и производств.

11. На баках трехфазных трансформаторов наружной установки должны быть указаны подстанционные номера.

### **2.6.3 Порядок эксплуатации**

1. Уровень масла в расширителе работающего или неработающего трансформатора должен находиться на отметке, соответствующей температуре масла в данный момент. Обслуживающий персонал должен вести наблюдение за температурой верхних слоев масла по термосигнализаторами термометрам, а так же по показаниям мановакуумметров (при их наличии).

2. Резервные трансформаторы должны содержаться в состоянии постоянной готовности к включению в работу.

3. При эксплуатации силовых трансформаторов (автотрансформаторов) должна обеспечиваться их надежная работа. Нагрузки, уровень напряжения, температура, характеристики масла и параметры изоляции должны находиться в пределах установленных норм, устройства охлаждения, регулирования напряжения и другие элементы должны содержаться в исправном состоянии.

4. Гравийная засыпка маслобункеров трансформаторов должна содержаться в чистоте. При значительном загрязнении она должна быть заменена или промыта.

5. Включение в сеть трансформатора должно производиться толчком на полное напряжение.

6. При автоматическом отключении трансформатора действием защит от внутренних повреждений трансформаторов можно включать в работу только после осмотра дефектов.

7. В случае отключения трансформатора от защит, действие которых не связано с его внутренним повреждением, он может быть включен вновь без проверок после его наружного осмотра.

8. Масло в расширителе трансформатора должно быть защищено от воздействия окружающего воздуха. Защита масла от увлажнения и окисления должна быть исправной и постоянно находиться в работе.

9. Трансформаторы мощностью 1000 кВА и более должны эксплуатироваться с системой непрерывной регенерации масла термосильфонных и адсорберных фильтрах.

10. Допускается параллельная работа трансформаторов при условии, что ни одна из обмоток не будет нагружена током, превышающим допустимый ток для данной обмотки.

11. Параллельная работа трансформаторов разрешается при следующих условиях:

- группы соединений обмоток одинаковы;
- соотношение мощностей трансформаторов не более 1:3;
- коэффициенты трансформации отличаются не более чем на +0,5%;
- напряжение короткого замыкания отличаются не более чем на +10%;
- произведена фазировка трансформаторов.

12. Для масляных трансформаторов допускается продолжительная нагрузка одной или двух обмоток током, превышающим на 5% номинальный ток ответвления, если напряжение ни на одной из обмоток не превышает номинальное напряжение соответствующего ответвления. В автотрансформаторе ток в общей обмотке должен быть не выше наибольшего длительно допустимого тока этой обмотки.

13. Для масляных и сухих трансформаторов, а также трансформаторов с негорючим жидким диэлектриком допускаются систематические перегрузки, значение и длительность которых регламентируются инструкциями заводом изготовителем.



14. В аварийных режимах допускается кратковременная перегрузка трансформаторов сверх номинального тока. При масляных системах охлаждения допустимые перегрузки указаны в таблице 12, допустимые перегрузки сухих трансформаторов указаны в таблице 13.

Таблица 12 — Допустимая перегрузка масляных трансформаторов

– перегрузка по току, %	30	45	60	75	100
– длительность перегрузки, мин.	120	80	45	20	10

Таблица 13 — Допустимая перегрузка сухих трансформаторов

– перегрузка по току, %	20	30	40	50	60
– длительность перегрузки, мин.	60	45	32	18	5

15. Допускается перегрузка масляных трансформаторов сверх номинального тока до 40% общей продолжительностью не более 6 часов в сутки в течении 5 суток подряд при полном использовании всех средств охлаждения трансформаторов, если подобная перегрузка не запрещена инструкцией завода изготовителя.

16. Допускается продолжительная работа трансформаторов (при мощности не более номинальной) при повышении напряжения на любом ответвлении любой обмотки на 10% сверх номинального напряжения для данного ответвления. При этом напряжение на любой обмотке не должно превышать наибольшего рабочего напряжения.

17. При номинальной нагрузке трансформатора температура верхних слоев масла должна быть не выше (если заводами-изготовителями в заводских инструкциях не оговорены иные температуры): с системами охлаждения М и Д-95ГрС.

18. На трансформаторах с системами охлаждения М, устройства охлаждения должны эксплуатироваться в соответствии с инструкциями заводов-изготовителей и автоматически включаться (отключаться) одновременно с включением (отключением) трансформатора.

19. На трансформаторах, оснащенных переключателями ответвлений обмоток без возбуждения (ПБВ), правильность выбора коэффициента трансформации должна проверяться не менее 2 раза в год – перед наступлением летнего и зимнего максимума нагрузки.

20. Предприятие, имеющее на балансе маслonaполненное оборудование, должно хранить неснижаемый запас масла не менее 110% объема наиболее вместимого аппарата.

21. Аварийный вывод трансформаторов из работы необходимо при:

- сильно неравномерного шума и потрескивания внутри трансформатора;

- ненормально и постоянно возрастающей нагрева трансформатора при нормальных нагрузках и работе устройств охлаждения;

- выброс масла из расширителя или разрыв диафрагмы выхлопной трубы; течи масла с понижением его уровня ниже уровня масломерного стекла.

22. Трансформаторы выводятся из работы также при необходимости немедленной замены масла по результатам лабораторных анализов.

#### **2.6.4 Объём и сроки регламентного обслуживания**

1. Осмотр главных понижающих трансформаторов подстанций с постоянным дежурством персонала, а также трансформаторов 6(10)/0,4 кВ, питающих потребителей первой категории без их отключения должен проводиться 1 раз в сутки. Осмотр остальных трансформаторов должен производиться не реже 1 раза в месяц.

2. Внеочередные осмотры трансформаторов производятся после неблагоприятных погодных воздействий (гроза, резкое изменение температуры, сильный ветер и др.).

3. Объём работ при осмотре:

- проверка показаний термометров и манометров, состояние кожухов, уплотнений, кранов;

- проверка отсутствия течи масла, соответствия уровня масла температурной отметке;
- проверка состояния маслоохлаждающих и маслосборных устройств, изоляторов;
- проверка состояния ошиновки, кабелей, сетей заземления, термосильфонных фильтров и влагопоглощающих патронов;
- проверка исправности сигнализации, работы счетчиков, положение блинкеров.

4. Текущие ремонты трансформаторов проводятся по мере необходимости, но не реже 1 раза в год.

5. Объем работ при текущем ремонте:

- выполняется объем работ осмотра;
- испытание встроенных трансформаторов тока и вводов;
- измерение сопротивления обмоток постоянному току;
- измерение сопротивления трансформаторного масла.

### **2.6.5 Требования охраны труда в аварийных ситуациях**

В аварийных ситуациях необходимо:

1. При обнаружении неисправной работы трансформаторов необходимо отключить от питающей электросети и известить об этом своего непосредственного или вышестоящего руководителя.

2. При травмировании, отравлении и внезапном заболевании работника оказать ему первую (доврачебную) помощь и, при необходимости, организовать доставку в учреждение здравоохранения.

3. При поражении электрическим током работника принять меры к скорейшему освобождению пострадавшего от действия тока.

4. Работник, обнаруживший загорание (пожар) обязан:

- оценить обстановку;
- при пожаре немедленно сообщить в пожарную часть (тел. 01 или 010);

– принять меры по эвакуации людей и спасению материальных ценностей;

– приступить к тушению пожара имеющимися на объекте или на рабочем месте первичными средствами пожаротушения.

### **2.6.6 Требования охраны труда по окончанию работ**

1. После окончания работ по наряду и приведения в порядок рабочего места производитель работ расписывается в наряде об окончании работы и сдает его оперативному персоналу. Закрытие наряда оформляется записью в оперативном журнале.

2. После окончания работ по распоряжению производитель работ сообщает об окончании работ оперативному персоналу, о чем также делается отметка в оперативном журнале.

3. Привести в порядок (протереть, сложить и убрать) инструмент, защитные и вспомогательные средства в отведенные места.

4. Передать ключи от помещений электроустановок сменщику или вернуть их на место постоянного хранения на пункте (щите) управления.

5. Тщательно вымыть лицо и руки. При необходимости принять душ и переодеться.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В данной выпускной квалификационной работе выполнена разработка проекта трансформаторной подстанции для электроснабжения учебно-производственного центра. В ходе работы на основе технико-экономического расчета был произведен выбор схемы электроснабжения трансформаторной подстанции и выполнен выбор трансформаторов. Произведен расчет токов короткого замыкания в линиях электроснабжения, на основании которого выполнена проверка правильности выбора защитной аппаратуры. Произведен расчет заземляющего устройства для трансформаторной подстанции.

В связи с постройкой нового здания из большого ряда было выбрано новое и качественное электрооборудование, электромонтажные материалы, а также методика выполнения разработки проекта трансформаторной подстанции для электроснабжения учебно-производственного центра.

Таким образом, задачи, поставленные в данной выпускной квалификационной работе, выполнены. Разработанный проект трансформаторной подстанции удовлетворяет всем требованиям действующей нормативно-технической документации с учетом требований правил безопасности.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Белорусов, Н. И. Электрические кабели, провода и шнуры: справочник/ Н. И. Белорусов, А. Е. Саакян, А. И. Яковлева; под ред. Н. И. Белорусова. – Москва: Энергоатомиздат, 1987. – 536 с.
2. Будзко, И. А. Электроснабжение сельского хозяйства / И. А. Будзко, Т. Б. Лещинская, В. И. Сукманов. – Москва: Колос, 2000. – 536 с.
3. Жакупов А.А., Хижняк Р.С. Методические указания к выполнению экономической части выпускных работ (для бакалавров, обучающихся по направлению «Электроэнергетика»). – Алматы: АИЭС, 2011. – 28 с.
4. Зюзин А.Ф., Поконов Н.З., Антонов М.В. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий и установок: Учеб. для учащихся электротехнических спец. техникумов. - 3-е изд., перераб. и доп. - Москва: Высш. шк., 2000. – 415 с.
5. Кабышев, А. В. Расчёт и проектирование систем электроснабжения объектов и установок: учеб. пособие/А. В. Кабышев, С. Г. Обухов. – Томск: ТПУ, 2006. – 248 с.
6. Кудрин, Б. И. Электроснабжение промышленных предприятий: учеб. для вузов/ Б. И. Кудрин. – Москва: Интернет Инжиниринг, 2006. – 672 с.
7. Лещинская, Т. Б. Электроснабжение сельского хозяйства / Т. Б. Лещинская, И. В. Наумов. – Москва: Колос, 2008. – 655 с.
8. Маньков, В. Д. Основы проектирования систем электроснабжения: справочное пособие/ В. Д. Маньков. – Санкт-Петербург: НОУ ДПО «УМИТЦ «Электросервис», 2010. – 664 с.
9. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П., Электрическая часть электростанций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: Учеб. пособие для вузов.–4-е изд., перераб. и доп.–Москва: Энергоатомиздат, 1989. – 608 с.

10. Охрана труда: Учебник для студентов вузов / Князевский Б.А., Долин П.А., Марусов Т.П. и др.; Под. ред. Б.А. Князевского. – 2-е изд. перераб. и доп. – Москва: Высшая школа, 1982.–311 с.: ил.

11. Павлов С.П., Наумов В.В., Качалов А. Г. Безопасность и экологичность проектных решений. Методические указания по дипломному проектированию. – Москва: Изд. «МГОУ», 2012. – 378 с.

12. Расчет коротких замыканий и выбор электрооборудования: Учеб. пособие для студ. вузов/И.П. Крючков, Б.Н. Наклепаев, В.А. Старшинов и др.; Под ред. И.П. Крючкова, В.А. Старшинова. Москва: Изд. центр "Академия", 2005. – 416 с.

13. Рыбаков Л.М., Шестакова З.В. Учебное пособие по курсовому и дипломному проектированию по электроснабжению. Часть II. Электроснабжение сельского хозяйства. Йошкар-Ола: МарГУ, 1999. – 90 с.

14. Сибикин Ю.Ф. и др. Монтаж, технологическая эксплуатация и ремонт электрического и электромеханического оборудования: Уч. пос. для студ. средн. проф. образ. – Москва: Мастерство, 2001. – 296 с.

15. Справочник по проектированию электрических сетей / Под ред. Д. Л. Файбисовича. – Москва: НЦ ЭНАС, 2005. – 320 с.

16. Справочник по проектированию электросетей в сельской местности / Э. Я. Гричевский, П. А. Катков, А. М. Карпенко и др.; Под ред. П. А. Каткова, В. И. Франгуляна. – Москва: Энергия, 1980. – 352 с.

17. Справочник по проектированию электроэнергетических систем / В.В. Ершевич, А.Н. Зейлигер, Г.А, Илларионов, и др.; под ред. С. С. Рокотяна и И. М. Шапиро. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва: Энергоатомиздат, 2006. – 358 с.

18. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию. В 2 т. Под общ.ред. А.А.Федорова. Т.2. Электрооборудование. – Москва: Энергоатомиздат, 1987. – 592 с.

19. Стольников В.Н. Методические указания по организационно-экономической части дипломного проекта. – Москва: Изд. «МГОУ», 2003. – 392 с.
20. Электроснабжение. : учеб. пособие по дипломному проектированию / Л. С. Синенко, Е. Ю. Сизганова, Т. П. Рубан, Ю. П. Попов. – Красноярск : ИПК СФУ, 2008. – 259 с.
21. Янукович, Г.И. Электроснабжение сельского хозяйства. Курсовое и дипломное проектирование: учеб. пособие для студентов высших учебных заведений по специальности «Энергетическое обеспечение сельскохозяйственного производства» / Г.И. Янукович – Минск: ИВЦ Минфина, 2010. – 478 с.
22. Правила устройства электроустановок. Официальные тексты по состоянию на 01.03.2007. 7-е изд. – Москва: НЦ ЭНАС, 2011. – 552 с.
23. ГОСТ 12.1.019-96 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования. – Москва: Изд-во стандартов, 2004
24. ГОСТ 12.1.030-96 ССБТ. Электробезопасность. Защитные заземления и зануления Москва: Изд-во стандартов, 2003
25. ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения Москва: Стандартинформ, 2006
26. Автоматические выключатели в литом корпусе «Schneider electric» [электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.schneider-electric.ru/ru/product-subcategory/423/> (Дата обращения 11.01.2018)
27. ООО «МИТЕК» Масленные трансформаторы ТМГ11 [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mitek.spb.ru/catalog/id3/> (Дата обращения 23.12.2017)
28. Предельно допустимый ток кабеля марки ВВГ [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://kabel-vvg.ru/tehnicheskie-harakteristiki-kabelya-vvg/> (Дата обращения 25.01.2018)



29. Распределение энергии проекты и системы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.enhora.ru/services/podstantsii/> (Дата обращения 29.12.2018)

30. Счетчик электрической энергии «Меркурий 230» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.incotexcom.ru/m230art.htm> (Дата обращения 05.02.2018)

31. Токовые нагрузки на провода и кабели [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ruscable.ru/info/cable/sprav-toknagr.html> (Дата обращения 27.01.2018)

32. Удельное сопротивление грунта [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.zandz.ru/udelnoe\\_soprotivlenie\\_grunta.html](http://www.zandz.ru/udelnoe_soprotivlenie_grunta.html) (Дата обращения 15.02.2018)

33. Элтехника – КСО серии Онега 10 кВ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.elteh.ru/products/10/50/> (Дата обращения 28.01.2018)