

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

Институт химии и энергетики
(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»
(наименование)

13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»
(код и наименование направления подготовки, специальности)

Электроснабжение
(направленность (профиль)/(специализация))

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему «Реконструкция ЗРУ 10 кВ ПС-800»

Студент

С.В. Палагин

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент Ю.В. Черненко

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

Тольятти 2020

Аннотация

Темой выпускной квалификационной работы (ВКР) является «Реконструкция ЗРУ 10 кВ ПС-800 АО «МАШ»».

В выпускной квалификационной работе производится замена устаревшего оборудования в связи с большим сроком эксплуатации на современное высокотехнологичное с элементами внедрения новейших технологий.

Для выбора основного рабочего электрооборудования, а именно выключателей, трансформаторов тока, трансформаторов напряжения, ограничителей перенапряжений, разъединителей комплектного распределительного устройства, необходимо произвести расчёт токов короткого замыкания.

Рассмотрены вопросы монтажа комплектных распределительных устройств.

Предусмотрена установка современных микропроцессорных систем релейной защиты, телемеханики и системы учёта электроэнергии.

Пояснительная записка содержит 47 листов, 11 таблиц и 17 рисунков. Графическая часть выполнена на 6 листах формата А1.

Содержание

Введение.....	4
1. Общая характеристика объекта реконструкции ЗРУ-10 кВ.....	6
1.1 Объект реконструкции РУ-10 кВ.....	6
1.2 Технические решения реконструкции ЗРУ-10 кВ ПС-800.....	9
2. Расчёт токов короткого замыкания.....	12
3. Выбор электрооборудования на стороне 10 кВ.....	18
3.1 Выбор комплектного распределительного устройства (КРУ).....	18
3.2 Выбор выключателей 10кВ.....	19
3.3 Выбор трансформаторов тока	23
3.4 Выбор трансформатора напряжения.....	26
3.5 Выбор разъединителя.....	28
3.6 Выбор ограничителя перенапряжения (ОПН).....	29
3.7 Выбор жёстких шин.....	31
3.8 Выбор изоляторов.....	33
3.9 Выбор предохранителей.....	34
4. Освещение и отопление ЗРУ	36
5. Монтаж комплектных распределительных устройств.....	38
6. Релейная защита.....	39
7. Телемеханика, измерение и учёт электрической энергии.....	41
Заключение.....	44
Список используемых источников.....	45

Введение

Для современного состояния энергетики в России характерно увеличение нагрузки на подстанции, линии электропередач, которое происходит на фоне высокого износа оборудования. На ряде объектах не только нет возможности подключения новых мощностей, но и нет возможности обеспечить стабильное надежное энергоснабжение потребителей при текущем уровне потребления.

Энергосистема - это объединение электрических и тепловых сетей, электростанций, потребителей, которые связаны общими режимами производства, распределения и потребления электрической энергии и тепла.

Часть энергосистемы, состоящая из электростанции, электрических сетей (линии электропередачи и преобразовательные подстанции) и установок потребителей, образует электрическую систему.

Актуальность работы состоит в том, что энергосистема авиатранспортных комплексов России - основа работы всех служб аэропорта, поэтому даже короткое отключение электропитания практически парализует деятельность всего авиационного транспортного узла.

Изначально аэропорт строился как главный аэродром военно-воздушных сил Советской армии. Новый аэропорт получил название по двум расположенным неподалеку объектам – жилому поселку Шереметьевскому и одноименной станции Савеловской железной дороги.

Аэропорт был введен в действие 11 августа 1959 году. В этот день в аэропорту приземлился первый лайнер Ту-104, доставивший пассажиров из Ленинграда. Сама подстанция была введена в эксплуатацию 1979 году. Таким образом электрооборудование в значительной части выработало нормативный срок службы.

Нарушение электроснабжения производственных подразделений может привести к ненадлежащей подготовке авиатехники к полетам, задержкам рей-

сов и нарушению регулярности полетов. Обесточивание командно-диспетчерского пункта (КДП) и других объектов посадки снижает пропускную способность аэропорта и может стать причиной авиационных происшествий.

Перед эксплуатирующими и обслуживающими организациями, службой СЭСТОП (служба электросветотехнического обеспечения полётов), электрической системы стоит главная цель: бесперебойное электроснабжение потребителей качественной электроэнергией.

Содержание устаревшего электрооборудования становится затратной статьёй расходов любого предприятия, так как со временем увеличивается количество аварий, требует постоянного поддержания запасных частей (которые найти становится невозможно) их стоимость возрастает в разы.

Таким образом, построение надежной и эффективной схемы электроснабжения, поддержание ее в работоспособном состоянии и своевременная модернизация являются критически важными для работы любого современного аэропорта.

1 Общая характеристика объекта реконструкции ЗРУ-10 кВ

1.1 Объект реконструкции РУ-10 кВ

П/СТ № 800 «Аэропорт» напряжением 110/11/6,6 кВ, расположена на южной стороне аэропорта (рисунок 1), была построена и введена в эксплуатацию 1979 году, к летним олимпийским играм 1980 года в Москве, за тридцать с лишним лет оборудование устарело как в моральном, так и физическом плане [7, стр195].



Рисунок 1 – П/СТ № 800 «Аэропорт»

Подстанция имеет железобетонную конструкцию, разделённую на два помещения, в одном находится РП-6кВ, во втором помещении находится реконструируемая РП-10кВ. В подстанции есть кабельный полуэтаж, в котором по стенам прикреплены кабельные лотки, создающие удобство заводки и крепление кабелей в ячейки распределительной подстанции.

Закрытое распределительное устройство РП – 10 кВ собрано по схеме «Одинокная секционированная система шин». Ошиновка выполнена из алюминиевых полосовых шин – А (100x8). Электрические соединения силовых трансформаторов с РУ – 10 кВ осуществляются кабелем ПвВнг(В)-LS 6(1x500), и собраны в шинные мосты. Прокладка контрольных кабелей, кабелей связи, кабелей потребителей собственных нужд реализуется по ЗРУ – 10 кВ открыто по лоткам и гофротрубе.

Распределительная подстанция питается от двух трансформаторов ТДТН – 25000/110/11/6,6 имеющий следующие технические характеристики (таблица 1), РП-10 кВ имеет две секции шин соединёнными между собой секционной перемычкой.

Таблица 1 – Технические данные силового трансформатора ТДТН-25000/110

Тип	S _{ном} , МВА	Каталожные данные								
		U _{ном} обмоток, кВ			и _к , %			P _к , кВт	P _х , кВт	I _х , %
		ВН	СН	НН	В-С	В-Н	С-Н			
ТДТН -25000/110	25	115	11; 22,0; 34,5; 38,5	6,6; 11	10,5	17,5	6,5	140	31	0,7

Трансформатор ТДТН -25000/110 имеет РПН ±9x1,78 % в нейтрале ВН [7, 246с].

К устаревшему оборудованию относятся ячейки КСО-272 1978 года выпуска (рисунок 2), полный эксплуатационный срок службы ячеек составляет 25 лет, в общей сложности ячейки отработали на 8 лет больше своего срока службы.

На рисунке 3 технически устаревшая модель масляного выключателя ВМГ-10 с приводом марки ППВ-10, разработанный в 1976 году и с эксплуатационным ресурсом 25 лет, после чего выключатель должен быть списан и утилизирован.

РП-10 кВ ПС-800 является стратегически важным объектом, потребители получающие электроэнергию от подстанции имеют первую категорию к ним относятся;

- аэроэкспресс,
- терминал Е и D,
- очистные сооружения,
- пункт облива противообледенительной жидкости.



Рисунок 2 – Ячейка КСО-272 Рисунок 3– Выключатель масляный ВМГ-10

1.2 Технические решения реконструкции ЗРУ-10 кВ ПС-800

Проектом разработано типовое ЗРУ-10 кВ (типовой проект 407-3-587.90) по принципиальной электрической схеме 10(б) -2 (две одиночные секционированные выключателя системы шин), как показано на рисунке 4.

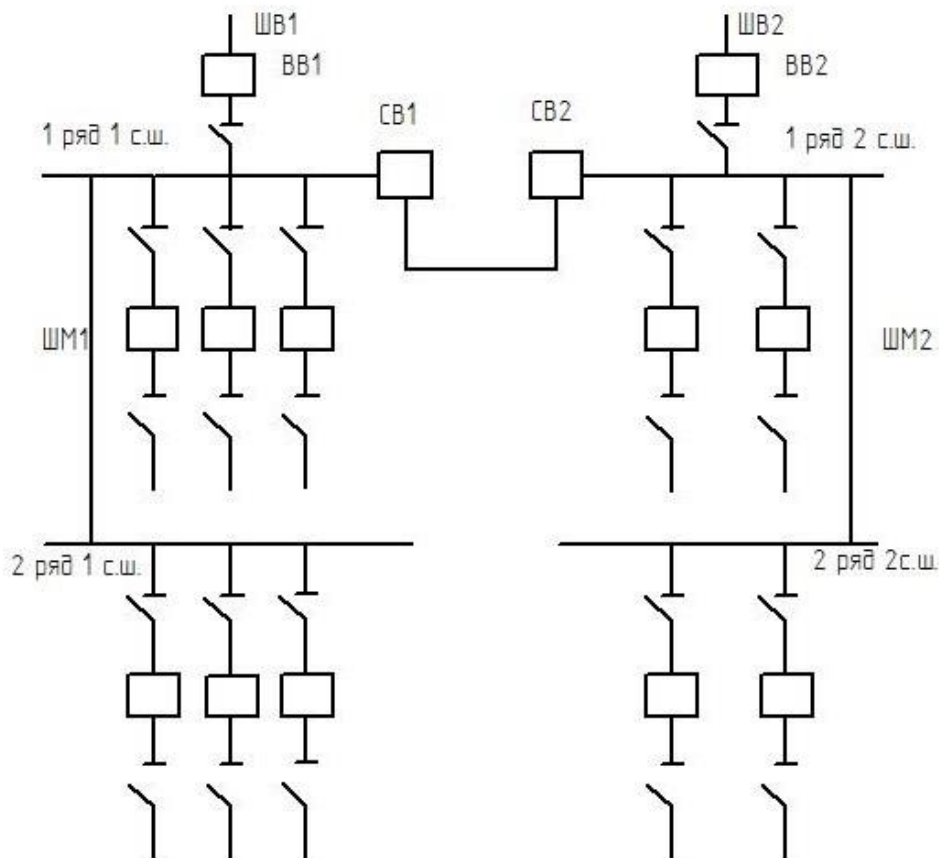


Рисунок 4 – Принципиальная схема РУ-10 кВ

РУ-10 кВ комплектуется двумя типами шкафов КРУ (комплектно распределительного устройства) производства Московского завода «Электрощит».

Шкафы серии К-104М, разработаны производителем на номинальный ток до 1600 А и в данном случае применяются для отходящих линий с нагрузкой до 630А и комплектуются выключателем ВВ/TEL-10-20/630 У3 (рисунок 5).



Рисунок 5 – Шкаф серии К-104М

Шкафы серии К-105 рассчитаны на токи до 3150 А, применяются на вводных и секционных ячейках совместно с выключателем нагрузки ВБЭК-10-31,5/3150 УЗ, показанных в (таблице 2) [9, 23с].

Таблица 2 – Расположение электрооборудования

Условное обозначение	Тип ячейки	Наименование	Количество	Примечание
ВВ1 ВВ2	К-105-117.2-10-31,5/3150 УЗ	Шкаф шинного ввода с вакуумным выключателем ВБЭК-10-31,5/3150 УЗ	2	№ ячеек по эл. схеме 9, 10

Продолжение таблицы 2

СВ1 СВ2	К-105-111-10- 31,5/3150 У3	Шкаф секционирования К-105 с вакуумным выключателем ВБЭК-10-31,5/3150 У3	2	2, 17
ТН1 ТН2	К-104М-102-269-1- 10-630-У3	Шкаф К-104М с ТН	2	3, 6
ШШ1 ШШ2	К-104М-428-10-630 У3	Шкаф шинный для присоединения шинного моста ШМ1, ШМ2	2	21, 30
КЛ	К-104М-102-10- 20/630 У3	Шкаф отходящих кабельных линий в выключателем ВВ/TEL-10-20/630 У3	24	1,4,5,7,8,11- 16,18-20,22- 29,31,32
ДУ		Дугоуловители	8	
ШВ1 ШВ2		Шинопровод вводной	2	
ШМ1 ШМ2		Шинный мост между рядами 1 и 2 секции шин	2	

В помещении РУ-10 кВ предусмотрено размещение двух секций на токи 3150 А, при двухрядной установке шкафов КРУ с обеспечением двухстороннего обслуживания каждого ряда.

В состав КРУ серии К-104М входят дугоуловители ДУ, предназначенные для защиты сборных шин шкафов от разрушения электрической дугой. Дугоуловители устанавливаются с торцов сборных шин каждой секции и каждого ряда КРУ.

2 Расчет токов короткого замыкания

На принципиальной электрической схеме обозначим места возникновения коротких замыканий (рисунок 6).

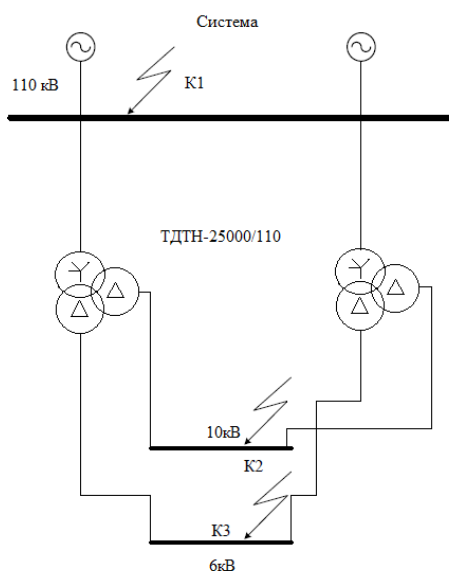


Рисунок 6 – Расчет трехфазного короткого замыкания

Далее преобразуем однолинейную схему, в схему замещения (рисунок 7) и произведём по ней расчёт тока трёхфазного короткого замыкания.

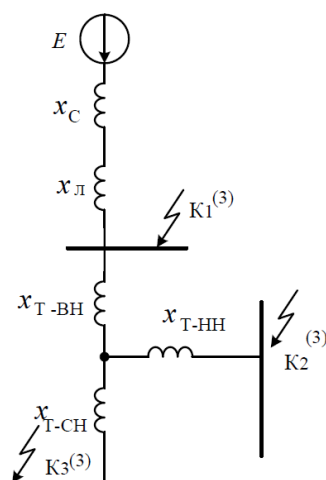


Рисунок 7 – Расчётная схема замещения

Определим сопротивление системы в относительных единицах.

Исходные данные для расчета:

трансформаторы ТДТН-25000/110: $S_{ном.} = 25 \text{ МВА} = 25000 \text{ ВА}$,

ВЛ с проводом АС-185/29:

$$X_{уд} = 0,4 \text{ Ом/км},$$

$$R_0 = 0,159 \text{ Ом/км},$$

$$l = 5,75 \text{ км}.$$

Определим параметры схемы замещения при приближенном приведении в относительных единицах.

Для дальнейшего расчёта примем базисные единицы.

Принимаем базисную мощность $S_b = 1000 \text{ МВА}$,

за базисное напряжение принимаем среднее номинальное напряжение для

ВН-УБВ = 115 кВ.

СН-УБС = 10,5 кВ.

НН-УБН = 6,3 кВ.

Сопротивление системы в относительных единицах, определяем по формуле: $S_b = 1000 \text{ МВА}$;

Произведём расчёт сопротивление системы:

$$X_{*б,с} = \frac{S_b}{S_k}, \quad (2.1)$$

$$X_{*б,с} = \frac{S_b}{S_k} = \frac{1000}{2158,6} = 0,46 .$$

Для расчёта нам понадобится рассчитать мощность короткого замыкания системы:

$$S_k = \sqrt{3} \cdot I_{кз} \cdot U_n \quad (2.2)$$

$$S_k = \sqrt{3} \cdot I_{кз} \cdot U_n = \sqrt{3} \cdot 10,85 \cdot 115 = 2158,6 \text{ МВА};$$

$I_{кз}$ – ток короткого замыкания на шинах 110кВ предоставили представители обслуживающей организации ПАО «МОЭСК».

где $S_{к.з.}$ – мощность короткого замыкания на шинах системы, МВА.

Далее найдём сопротивление 2-х цепной воздушной линий:

$$x_{*б,л} = \frac{1}{n} x_{уд} l \frac{S_{б}}{U_{cp}^2}, \quad (2.3)$$

$$x_{*б,л} = \frac{1}{n} x_{уд} l \frac{S_{б}}{U_{cp}^2} = 0,4 \cdot \frac{5,75}{2} \cdot \frac{1000}{115^2} = 0,0869,$$

где $x_{уд}$ – удельное реактивное сопротивление провода, Ом.

Сопротивление трансформаторов:

$$x_{*б,Тв} = \frac{U_{к.в}, \%}{100} \frac{S_{б}}{S_{номТ}}, \quad (2.4)$$

$$x_{*б,Тв} = \frac{U_{к.в}, \%}{100} \frac{S_{б}}{S_{номТ}} = \frac{10,75}{100} \cdot \frac{1000}{25} = 4,3 \text{ о.е.}$$

$$\text{где } U_{к.в} = 0,5 \cdot (u_{к.вн-нн} + u_{к.вн-чн} - u_{к.чн-нн}), \quad (2.5)$$

$$U_{к.в} = 0,5 \cdot (u_{к.вн-нн} + u_{к.вн-чн} - u_{к.чн-нн}) = 0,5 \cdot (17,5 + 10,5 - 6,5) = 10,75\% ,$$

$$x_{*б,Тс} = \frac{U_{к.с}, \%}{100} \frac{S_{б}}{S_{номТ}} = \frac{0}{100} \cdot \frac{1000}{25} = 0 \text{ о.е.}$$

$$\text{где, } U_{к.с} = 0,5 \cdot (u_{к.вн-чн} + u_{к.чн-нн} - u_{к.вн-нн}), \quad (2.6)$$

$$U_{к.с} = 0,5 \cdot (u_{к.вн-чн} + u_{к.чн-нн} - u_{к.вн-нн}) = 0,5 \cdot (10,5 + 6,5 - 17,5) = -0,25\% = 0\% ,$$

$$x_{*б,Тн} = \frac{U_{к.н}, \%}{100} \frac{S_{б}}{S_{номТ}} = \frac{6,75}{100} \cdot \frac{1000}{25} = 2,7 \text{ о.е.}$$

$$\text{где, } U_{к.н} = 0,5 \cdot (u_{к.вн-нн} + u_{к.чн-нн} - u_{к.вн-чн}), \quad (2.7)$$

$$U_{к.н} = 0,5 \cdot (u_{к.вн-нн} + u_{к.чн-нн} - u_{к.вн-чн}) = 0,5 \cdot (17,5 + 6,5 - 10,5) = 6,75\% ,$$

где $U_{к}$ – напряжение короткого замыкания обмоток трансформатора, %;

Сном – номинальная мощность трансформатора, МВА.

Определим результирующее сопротивление в точках короткого замыкания К1:

$$x_{*рез(б)} = x_{*б,с} + x_{*б,л}, \quad (2.8)$$

$$x_{*рез(б)} = x_{*б,с} + x_{*б,л} = 0,46 + 0,0869 = 0,55.$$

Базисный ток в точке К₁ определим по формуле (2.9):

$$I_б = \frac{S_б}{\sqrt{3} \cdot U_б}, \quad (2.9)$$

$$I_б = \frac{S_б}{\sqrt{3} \cdot U_б} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 5,02 \text{ кА}.$$

Начальное действующее значение периодической составляющей трехфазного тока короткого замыкания в точке К₁ определим по формуле (2.10):

$$I_{п,о} = \frac{E''_{*б}}{X_{*рез(б)}} \cdot I_б \quad (2.10)$$

$$I_{п,о} = \frac{E''_{*б}}{X_{*рез(б)}} \cdot I_б = \frac{1}{0,55} \cdot 5,02 = 9,1 \text{ кА},$$

где $E''_{*б} = 1$ – среднее значение сверхпереходной ЭДС для энергетической системы, о.е.

Ударный ток короткого замыкания в точке К₁ следует определять по формуле 2.11:

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot I_{п,о} \cdot k_{уд} \quad (2.11)$$

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot I_{п,о} \cdot k_{уд} = \sqrt{2} \cdot 9,1 \cdot 1,8 = 23,16 \text{ кА},$$

где $k_{уд} = 1,8$ –ударный коэффициент [8, 21с].

Далее проведём расчет токов короткого замыкания на стороне низшего напряжения в точке K_2 и K_3 .

Результирующее сопротивление до точки K_2 :

$$X_{*рез(б)} = X_{*б,с} + X_{*б,л} + X_{*б,Тв} + X_{*б,Тс} \quad (2.12)$$

$$X_{*рез(б)} = X_{*б,с} + X_{*б,л} + X_{*б,Тв} + X_{*б,Тс} = 0,46 + 0,0869 + 4,3 + 0 = 5,6.$$

Базисный ток в точке K_2 определим по формуле (2.9):

$$I_б = \frac{S_б}{\sqrt{3} \cdot U_б} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 55 \text{ кА.}$$

Начальное действующее значение периодической составляющей трехфазного тока короткого замыкания в точке K_2 определим по формуле (2.10):

$$I_{п,о} = \frac{E''_{*б}}{X_{*рез(б)}} \cdot I_б = \frac{1}{5,6} \cdot 55 = 9,8 \text{ кА.}$$

Ударный ток короткого замыкания в точке K_2 определим по формуле (2.11):

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot I_{п,о} \cdot k_{уд} = \sqrt{2} \cdot 9,8 \cdot 1,82 = 25,22 \text{ кА,}$$

где $k_{уд} = 1,82$ – ударный коэффициент [8, 21с].

Результирующее сопротивление до точки K_3 :

$$X_{*рез(б)} = X_{*б,с} + X_{*б,л} + X_{*б,Тв} + X_{*б,Тн} \quad (2.13)$$

$$X_{*рез(б)} = X_{*б,с} + X_{*б,л} + X_{*б,Тв} + X_{*б,Тн} = 0,46 + 0,0869 + 4,3 + 2,7 = 7,55.$$

Базисный ток в точке K_3 определим по формуле (2.9):

$$I_б = \frac{S_б}{\sqrt{3} \cdot U_б} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 91,66 \text{ кА.}$$

Начальное действующее значение периодической составляющей трехфазного тока короткого замыкания в точке К₃ определим по формуле (2.10):

$$I_{п,о} = \frac{E''_{*б}}{X_{*рез(б)}} \cdot I_б = \frac{1}{7,55} \cdot 91,66 = 12,14 \text{ кА.}$$

Ударный ток короткого замыкания в точке К₃ определим по формуле (2.11):

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot I_{п,о} \cdot k_{уд} = \sqrt{2} \cdot 12,14 \cdot 1,82 = 31,25 \text{ кА,}$$

где $k_{уд} = 1,82$ – ударный коэффициент [8, 21с].

Расчетные данные токов К.З. представлены в (таблице 3).

Таблица 3 – Расчетные данные токов короткого замыкания

№ точки короткого замыкания	U _н , кВ	K _{уд}	I ⁽³⁾ _{п, о} , кА	I _{ку} , кА
К1	115	1,8	9,1	23,16
К2	10,5	1,82	9,8	25,22
К3	6,3	1,82	12,14	31,25

Таким образом, произведен расчет токов короткого замыкания, по расчетным значениям которых, будет произведен выбор электрооборудования.

3 Выбор электрооборудования на стороне 10 кВ

3.1 Выбор комплектного распределительного устройства (КРУ)

При реконструкции ЗРУ 10 кВ необходимо произвести замену старого, выработавшего свой эксплуатационный срок электрооборудования, на современное включающее в свой состав все современные технические разработки отечественных и мировых производителей электрооборудования.

Для установки принимается КРУ серии К-104М и К-105 (таблица 4), Московского завода «Электрощит» со следующими техническими характеристиками.

Таблица 4 – Технические характеристики КРУ

Наименование параметра	Значение параметра серии	
	К-104М	К-105
Номинальное напряжение (линейное) при частоте 50 Гц, кВ	10	
Наибольшее рабочее напряжение (линейное) кВ.	12	
Номинальный ток главных цепей, А	3150	
Номинальный ток сборных шин, А.	3150	
Типы применяемых выключателей	ВВ/TEL-10-20/630 У3	ВБЭК-10-31,5/3150 У3
Номинальные токи отключения выключателей, встроенных в шкаф КРУ, кА	31,5	31,5
Ток термической стойкости (трёхсекундный для главных цепей; односекундный для заземляющих ножей) кА	31,5	31,5

Продолжение таблицы 4

Номинальный ток электродинамической стойкости главных цепей, кА	80	80
Номинальный ток плавких вставок для шкафов КРУ, А, при напряжении 10 кВ	20	-
Ток Х.Х. отключаемый разъёмными контактами соединениями, А при напряжении 10 кВ	0,4	-
Номинальная мощность встроенных трансформаторов собственных нужд (ТСН), кВА	40	-
Номинальное напряжение вспомогательных цепей, В. - постоянного тока - переменного тока	220 220	
Габаритные размеры высоковольтных ячеек без шинпровода, высота/глубина/ширина не более мм	2360/1435/750	2340/1450/1125

3.2 Выбор выключателей 10кВ

До реконструкции в ЗРУ 10 кВ были установлены маломасляные выключатели серии ВМПЭ-10-3150-31,5 У1, которые были предназначены для коммутации электрических цепей при нормальных и аварийных режимах.

К недостаткам масляных выключателей:

- взрыва и пожароопасность;
- постоянный контроль, доливка, относительно частая замена масла в дугогасительных камерах;
- отсутствие возможности для выполнения быстродействующего АПВ;

- относительно малая отключающая способность;

В связи с этим в новом КРУ будут установлены вакуумные выключатели.

Вакуумные выключатели используются главным образом в устройствах 6-35 кВ. Гашение дуги в выключателе осуществляется вакуумными дугогасительными камерами (КДВ).

Согласно техническому заданию и на основании опросного листа для поставщика КРУ, завод изготовитель «Электроцит» г. Москва предложил к установке ячейки для вводов и секционирования типа К-105 с вакуумными выключателями типа ВБЭК-10-31,5/3150 УЗ производства завода «Контакт» Саратов.

Для отходящих линий и ТН ячейки типа К-104М с вакуумными выключателями серии ВВ/TEL-10-20/630 УЗ производства «Таврида-электрик» г. Москва

Проведём проверку для выключателя ВБЭК-10-31,5/3150 УЗ (таблица 5) по следующим параметрам:

1) номинальному напряжению – $U_{\text{ном}}$;

$$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ} = U_{\text{сет.ном}} = 10 \text{ кВ}$$

2) номинальному длительному максимальному току: $I_{\text{max}} \leq I_{\text{ном}}$;

$$I_{\text{max}} = 1,4 \cdot \frac{S_{\text{T.ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} ; \quad (3.1)$$

$$I_{\text{max}} = 1,4 \cdot \frac{25000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 1924,5 \text{ А}$$

где $I_{\text{max}} = 1924,5 \text{ А} \leq I_{\text{ном}} = 3150 \text{ А}$;

3) отключающей способности:

а) на симметричный ток отключения – $I_{\text{n,т}} \leq I_{\text{откл.ном}}$;

где в расчетах используется $I_{\text{n,т}} = I_{\text{n,о}} = 9,8 \text{ кА}$;

$$I_{\text{n,т}} = 9,8 \text{ кА} \leq I_{\text{откл.ном}} = 31,5 \text{ кА} ;$$

б) на отключение апериодической составляющей тока к. з. –

$$i_{a,\tau} \leq i_{a.\text{ном}} = (\sqrt{2} \cdot \beta_{\text{нор}} / 100) \cdot I_{\text{откл.ном}},$$

где $i_{a,\tau}$ – номинальное допустимое значение апериодической составляющей в отключаемом токе для времени $\tau = t_{\text{рз}} + t_{\text{с.в}} = 0,01 + 0,04 = 0,05 \text{ с}$,

$t_{\text{рз}} = 0,01 \text{ с}$ – время действия релейной защиты;

$t_{\text{с.в}} = 0,04 \text{ с}$ – собственное время отключения.

$$i_{a,\tau} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{п.о}} e^{-\tau/T_a} \quad (3.2)$$

$$i_{a,\tau} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{п.о}} e^{-\tau/T_a} = \sqrt{2} \cdot 9,8 \cdot e^{-0,04/0,03} = 3,66 \text{ кА},$$

где $T_a = 0,03$ – постоянная времени затухания апериодической составляющей тока короткого замыкания, берется из таблицы [8,21с];

$$i_{a.\text{ном}} = (\sqrt{2} \cdot \beta_{\text{нор}} / 100) \cdot I_{\text{откл.ном}} \quad (3.3)$$

$$i_{a.\text{ном}} = (\sqrt{2} \cdot \beta_{\text{нор}} / 100) \cdot I_{\text{откл.ном}} = (\sqrt{2} \cdot 40 / 100) 31,5 = 17,82 \text{ кА}$$

$$i_{a,\tau} = 3,66 \text{ кА} \leq i_{a.\text{ном}} = 17,82 \text{ кА};$$

4) предельному сквозному току короткого замыкания – на электродинамическую стойкость:

$$I_{\text{н.о}} \leq I_{\text{пр.с}},$$

$$i_{\text{уд}} \leq i_{\text{дин}} = i_{\text{пр.с}},$$

$$I_{\text{н.о}} = 9,8 \text{ кА} \leq I_{\text{пр.с}} = 31,5 \text{ кА},$$

$$i_{\text{уд}} = 25,22 \text{ кА} \leq i_{\text{пр.с}} = 80 \text{ кА};$$

б) термическая стойкость:

$$B_k \leq I_T^2 \cdot t_T, \text{ при условии } t_{\text{откл}} \succ t_T;$$

$$\text{если } t_{\text{откл}} \prec t_T, \text{ то } B_k \leq I_T^2 \cdot t_{\text{откл}},$$

где время отключения короткого замыкания

$$t_{\text{откл}} = t_{\text{рз}} + t_{\text{п.в.откл}} = 0,01 + 0,05 = 0,06 \text{ с}.$$

$t_{\text{п.в.откл}} = 0,05 \text{ с}$ - полное время отключения выключателя

$$B_k = I_{\text{п.о}}^2 (t_{\text{откл}} + T_a), \quad (3.4)$$

$$W_k = I_{п,о}^2 (t_{откл} + T_a) = 9,8^2 \cdot (0,06 + 0,03) = 8,64 \text{кА}^2 \text{с}.$$

Так как в данном случае $t_{откл} = 0,06 \text{с} < t_T = 3 \text{с}$, то условие проверки на термическую стойкость имеет вид:

$$W_k = 8,64 \text{кА}^2 \cdot \text{с} \leq I_T^2 \cdot t_{откл} = 31,5^2 \cdot 0,06 = 59,53 \text{кА}^2 \text{с}. \quad (3.5)$$

Согласно условию, данный выключатель ВБЭК-10-31,5/3150 УЗ (рисунок 8) проходит проверки и может быть установлен на вводные и секционные шкафы К-105.



Рисунок 8 – Вакуумный выключатель ВБЭК-10-31,5/3150 УЗ

Таблица 5 – Выбор вакуумного выключателя ВБЭК-10-31,5/3150 УЗ

Выключатель ВБЭК-10-31,5/3150 УЗ		
Расчетные данные	Каталожные данные	Условия выбора
$U_{ном} = 10 \text{кВ}$	$U_{сет.ном} = 10 \text{кВ}$	$U_{ном} \leq U_{сет.ном}$

Продолжение таблицы 5

$I_{\max} = 1924,5 \text{ А}$	$I_{\text{НОМ}} = 3150 \text{ А}$	$I_{\max} \leq I_{\text{НОМ}}$
$I_{\text{п,}\tau} = 9,8 \text{ кА}$	$I_{\text{откл.НОМ}} = 31,5 \text{ кА}$	$I_{\text{п,}\tau} \leq I_{\text{откл.НОМ}}$
$i_{\text{а,}\tau} = 3,66 \text{ кА}$	$i_{\text{а.НОМ}} = 17,82 \text{ кА}$	$i_{\text{а,}\tau} \leq i_{\text{а.НОМ}}$
$I_{\text{п,о}} = 9,8 \text{ кА}$	$I_{\text{пр.с}} = 31,5 \text{ кА}$	$I_{\text{п,о}} \leq I_{\text{пр.с}}$
$i_{\text{уд}} = 25,22 \text{ кА}$	$i_{\text{пр.с}} = 80 \text{ кА}$	$i_{\text{уд}} \leq i_{\text{пр.с}}$
$B_{\text{к расч}} = 8,64 \text{ кА}^2 \text{с}$	$B_{\text{к выкл}} = 59,53 \text{ кА}^2 \text{с}$	$B_{\text{к расч}} \leq B_{\text{к выкл}}$

3.3 Выбор трансформаторов тока

На вводных ячейках установлены трансформатор тока ТЛШ-10 (рисунок 9) с коэффициентом трансформации 3000/5. Произведём проверку трансформаторов тока по номинальному напряжению, по номинальному длительному току, по электродинамической стойкости, по термической стойкости, по конструкции, по классу точности и по вторичной нагрузке.

Рассчитываем максимальный расчетный ток:

$$I_{\max} = 1,4 \cdot \frac{S_{\text{Т.НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}} = 1,4 \cdot \frac{25000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 1924,5 \text{ А}$$

Рассчитываем электродинамическую стойкость:

$$i_{\text{уд}} \leq i_{\text{дин}} = K_{\text{эд}} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{\text{НОМ}} = 15 \cdot \sqrt{2} \cdot 3000 = 63,6 \text{ кА}, \quad (3.6)$$

где $K_{\text{эд}} = 15$, при 30ВА. – кратность электродинамической стойкости.

$$i_{\text{уд}} = 25,22 \text{ кА} \leq i_{\text{дин}} = 63,6 \text{ кА} ;$$

Далее рассчитываем термическую стойкость:

$$B_{\text{к}} \leq K_{\text{Т}}^2 \cdot I_{\text{НОМ}}^2 \cdot t_{\text{Т}} = I_{\text{Т}}^2 \cdot t_{\text{Т}}, \quad (3.7)$$

где – $K_{\text{Т}} = 31,5$ кратность термической стойкости,

$$B_{\text{к}} = I_{\text{п,о}}^2 (t_{\text{откл}} + T_{\text{а}}) = 9,8^2 (0,06 + 0,03) = 8,64 \text{ кА}^2 \text{с},$$

где $t_{\text{откл}} = 0,05 \text{ А}$ – время отключения короткого замыкания,

$T_a = 0,03 \text{ с}$ – значение из таблицы 5.

$$B_k = 8,64 \text{ кА}^2 \text{с} \leq I_T^2 \cdot t_T = 31,5^2 \cdot 3 = 2977,6 \text{ кА}^2 \text{с};$$

Выбираем трансформатор тока ТЛШ-10 и проверяем его по параметрам. Результаты проверки приведены в таблице 6.



Рисунок 9 – Трансформатор тока ТЛШ-10

Таблица 6 – Выбор трансформатора тока ТЛШ-10

Трансформатор тока ТЛШ-10		
Расчетные данные	Каталожные данные	Условия выбора
$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{сет.ном}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} \leq U_{\text{сет.ном}}$
$I_{\text{мах}} = 1924,5 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 3000 \text{ А}$	$I_{\text{раб}} \leq I_{\text{ном}}$
$i_{\text{уд}} = 25,22 \text{ кА}$	$i_{\text{дин}} = 63,6 \text{ кА}$	$i_{\text{уд}} \leq i_{\text{дин}}$
$B_{\text{красч}} = 8,64 \text{ А}^2 \text{с}$	$B_{\text{кТТ}} = 2977,6 \text{ кА}^2 \text{с}$	$B_{\text{красч}} \leq B_{\text{кТТ}}$
$R_{\text{пр}} \leq 1,33 \text{ Ом}$, $R_{\text{к}} = 0,05 \text{ Ом}$, $Z_{2\text{ном}} = 1,2 \text{ Ом}$, $R_{\text{приб}} = 0,08 \text{ Ом}$, провода с медными жилами $s = 2,5 \text{ мм}^2$.		

Заключительным параметром для выбора трансформатора тока является вторичная нагрузка.

$$Z_{2\text{ном}} = \frac{S_{2\text{ном}}}{I_{2\text{ном}}^2}, \quad (3.8)$$

где $Z_{2\text{ном}}$ – номинальное полное сопротивление вторичной обмотки;

$S_{2\text{ном}} = 30 \text{ ВА}$ – номинальная полная мощность на вторичной обмотке;

$I_{2\text{ном}} = 5 \text{ А}$ – номинальный полный ток на вторичной обмотке.

$$Z_{2\text{ном}} = \frac{S_{2\text{ном}}}{I_{2\text{ном}}^2} = \frac{30}{5^2} = 1,2 \text{ Ом} - \text{номинальное полное сопротивление нагрузки.}$$

Трансформатор по вторичной обмотке проверяется, определяя нагрузку приборов, подключенных к вторичной обмотке по фазам (таблица 7).

$$R_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{I_{2\text{ном}}^2}, \quad (3.9)$$

где $S_{\text{приб}}$ – потребляемая мощность всех подключенных приборов, которую можно определить при помощи таблицы 7.

Таблица 7 – Вторичная нагрузка трансформатора тока

Прибор	Тип	Нагрузка в ВА, по фазам		
		A	B	C
Амперметр	Э-377	-	0,5	-
Счётчик активной и реактивной энергии.	СЭТ 4ТМ.03	1,5		
Итого		2		

Из расчёта, показанного в таблице 7 следует:

$$R_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{I_{2\text{ном}}^2} = \frac{2}{5^2} = 0,08 \text{ Ом};$$

$$R_{\text{пр}} = Z_{2\text{ном}} - R_{\text{приб}} - R_{\text{к}} = 1,2 - 0,08 - 0,05 = 1,33 \text{ Ом},$$

где $R_{\text{приб}}$ – сопротивление проводов; переходное сопротивление контактов равным $R_{\text{к}} = 0,05 \text{ Ом}$, так как подключается всего один амперметр.

Далее определим сечение провода присоединения к трансформаторам тока:

$$s = \frac{\rho \cdot I_{\text{п}}}{R_{\text{пр}}}, \quad (3.10)$$

где $\rho = 0,0175 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$ – удельное сопротивление материала провода.

На подстанции 10 кВ применяются провода с медными жилами;
 $l_p = 1 = 40\text{м}$ – расчетная длина при подключении трансформатора тока полной «звездой».

$$s = \frac{\rho \cdot l_p}{R_{\text{пр}}} = \frac{0,0175 \cdot 40}{1,33} = 0,526 \text{ мм}^2.$$

Монтаж выполняется медными проводами, поэтому выбираем провода с медными жилами сечением $S = 2,5 \text{ мм}^2$.

Все данные заносим в таблицу 6.

3.4 Выбор трансформатора напряжения

Трансформатор напряжения выбирают по номинальному напряжению, по конструкции и схеме соединений обмоток, классу точности и вторичной нагрузке. Выбираем трансформатор НАМИТ-10 (рисунок 10).

Вторичная нагрузка трансформатора определяется по таблице 8.

Таблица 8 – Расчёт вторичной нагрузке трансформатора напряжения 10кВ

Приборы	Тип	Потребляемая мощность одной катушки, ВА	Число катушек	cos φ	sin φ	Число приборов	Общая потребляемая мощность	
							P, Вт	Q, вар
Вольтметр	Э-365	2,0	1	1	0	1	2	–
Счетчик активной энергии многофункциональный	СЭТ 4ТМ.03	1,5	2	0,38	-	8	9,12	-
Счетчик реактивной энергии	СЭТ 4ТМ.03	1,5	2	-	0,952	8	-	22,84
Итого:							11,12	22,84

Для проверки трансформатора напряжения на вторичную нагрузку необходимо рассчитать во формуле:

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{(\sum S_{\text{приб}} \cos \phi)^2 + (\sum S_{\text{приб}} \sin \phi)^2} = \sqrt{P_{\text{приб}}^2 + Q_{\text{приб}}^2} \quad (3.11)$$

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{(\sum S_{\text{приб}} \cos \phi)^2 + (\sum S_{\text{приб}} \sin \phi)^2} = \sqrt{P_{\text{приб}}^2 + Q_{\text{приб}}^2} = \sqrt{11,12^2 + 22,84^2} = 25,4 \text{ ВА} .$$



Рисунок 10 – Трансформатор напряжения НАМИТ-10

По техническим характеристикам, трансформатор напряжения НАМИТ-10 позволяет подключить вторичную нагрузку мощностью до 75 ВА при классе точности 0,2 или 200 ВА при классе точности 0,5. В любом из перечисленных значений наша нагрузка может быть включена, значение ТН заносим в таблицу 9.

Таблиц 9 – Расчётные данные трансформатора напряжения

Параметр	Значение
Номинальное напряжение обмотки, В: ВН НН	$10000 / \sqrt{3}$ $100 / \sqrt{3}$
Вторичная нагрузка, ВА: расчетная $S_{2\Sigma}$ $S_{\text{ном}}$	25,4 200
Класс точности	0,5

3.5 Выбор разъединителя

Выберем разъединитель по следующим характеристикам:

1. Номинальное напряжение $U_{\text{ном}} \leq U_{\text{сет.ном}}$;

$$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ} = U_{\text{сет.ном}} = 10 \text{ кВ};$$

2. По длительности рабочего тока – $I_{\text{раб}} \leq I_{\text{ном}}$,

$$I_{\text{раб}} = 1924,5 \text{ А} \leq I_{\text{ном}} = 3150 \text{ А},$$

$$\text{где } I_{\text{раб}} = 1,4 \cdot \frac{S_{\text{T.ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = 1,4 \cdot \frac{25000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 1924,5 \text{ А};$$

3. Проверим электродинамическую стойкость:

$$i_{\text{уд}} \leq i_{\text{дин}} = i_{\text{пр.с}},$$

$$i_{\text{уд}} = 25,22 \text{ кА} \leq i_{\text{пр.с}} = 100 \text{ кА};$$

4. Проверим термическую стойкость:

$$B_{\text{к}} \leq I_{\text{T}}^2 \cdot t_{\text{T}}, \text{ при условии } t_{\text{откл}} \succ t_{\text{T}};$$

$$\text{если } t_{\text{откл}} \prec t_{\text{T}}, \text{ то } B_{\text{к}} \leq I_{\text{T}}^2 \cdot t_{\text{откл}},$$

где время отключения короткого замыкания

$$t_{\text{откл}} = t_{\text{рз}} + t_{\text{пв.откл}} = 0,01 + 0,05 = 0,06 \text{ с}.$$

$$B_{\text{к}} = I_{\text{п.о}}^2 (t_{\text{откл}} + T_{\text{а}}) = 9,8^2 (0,06 + 0,03) = 8,64 \text{ кА}^2 \text{ с}.$$

Так как в данном случае $t_{\text{откл}} = 0,06 \text{ с} \prec t_{\text{T}} = 3 \text{ с}$, то условие проверки на термическую стойкость имеет вид:

$$B_{\text{к}} = 8,64 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \leq I_{\text{T}}^2 \cdot t_{\text{откл}} = 40^2 \cdot 0,06 = 96 \text{ кА}^2 \text{ с}.$$

Проверка показала, что разъединитель РГ-35/3150УХЛ1 (рисунок 11) подходит по установочным параметрам.

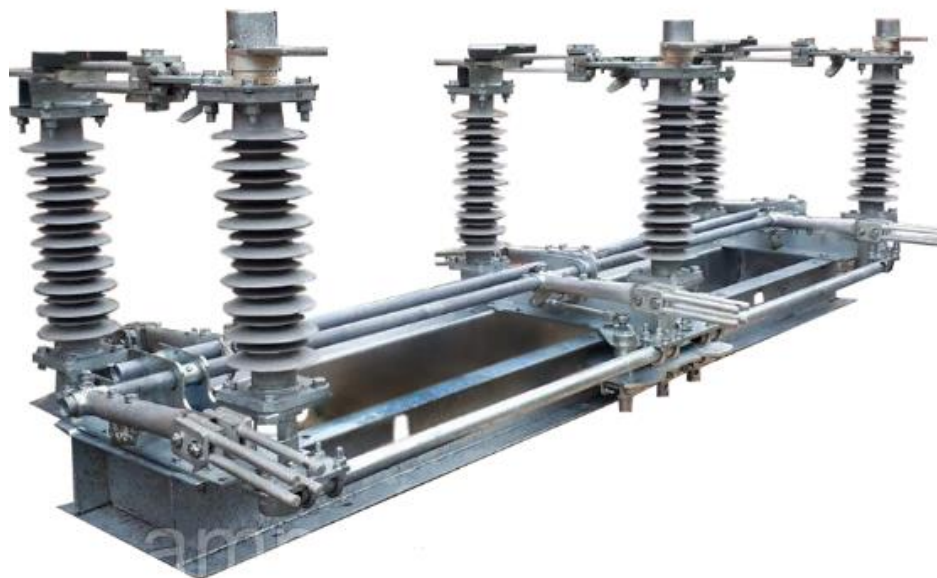


Рисунок 11 – Разъединитель РГ-35/3150УХЛ1

Результаты расчётов занесём в таблицу 10.

Таблица 10 – Расчётные и каталожные данные разъединителя

Разъединитель РГ-35/3150УХЛ1		
Расчетные данные	Каталожные данные	Условия выбора
$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{сет.ном}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} \leq U_{\text{сет.ном}}$
$I_{\text{раб}} = 1924,5 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 3150 \text{ А}$	$I_{\text{раб}} \leq I_{\text{ном}}$
$i_{\text{уд}} = 25,22 \text{ кА}$	$i_{\text{пр.с}} = 100 \text{ кА}$	$i_{\text{уд}} \leq i_{\text{пр.с}}$
$B_{\text{к расч}} = 8,64 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_{\text{к раз}} = 96 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_{\text{к расч}} \leq B_{\text{к раз}}$

3.6 Выбор ограничителя перенапряжения (ОПН)

Одним из основных средств защиты электрооборудования от грозовых и коммутационных перенапряжений переменного тока частотой 50 Гц, было создано устройство, ограничитель перенапряжений (ОПН) (рисунок 12).



Рисунок 12 – Ограничитель перенапряжений ОПН-РТ/TEL

Разработчиками для установки в КРУ были выбраны опн-рт/tel-10/12 ухл1 как наиболее надёжные и зарекомендовавшими себя в работе имеющие следующие характеристики (таблица 11).

Таблица 11 – Характеристики ОПН

Наименование параметра	ОПН-РТ/TEL-10/11,5 УХЛ2
Класс напряжения сети Усет. кВ	10,5
Наибольшее длительно допустимое напряжение, кВ	11,5
Класс разряда линии	II
Номинальный разрядной ток 8/20 мкс, кА	10
Пропускная способность в А	550
Ток взрывобезопасности	20
Ток проводимости мА, (действ), не более	0,7

При возникновении в сети перенапряжения сопротивление ОПН мгновенно уменьшается до единиц Ом, варисторы ОПН переходят в проводящее состояние тем самым ограничивает дальнейшее нарастание перенапряжения, до уровня безопасного для изоляции защищаемого электрооборудования.

Когда волна перенапряжения проходит, ограничитель вновь возвращается в непроводящее состояние. Время перехода ограничителя в проводимое состояние очень мало и достигает несколько наносекунд, что позволяет ограничителю эффективно бороться с перенапряжениями.

3.7 Выбор жёстких шин

Определение сечение жёстких шин производится по экономической плотности тока

$$s = \frac{I_{p.ном}}{j_{эк}}; \quad (3.12)$$

$$s = \frac{1924}{1} = 1924 (\text{мм}^2).$$

Выбираем шины марки АДЗ1Т1 прямоугольного сечения с числом полос две на фазу 120x10 с $I_{доп} = 3200(\text{А})$.

Выбор сечения проверяется по:

1. По допустимому току нагреву.

$$I_{max} < I_{доп}$$

$$1924(\text{А}) < 3200(\text{А})$$

2. Термической стойкости при КЗ. Определяется минимальное сечение по условию термической стойкости.

$$s_{min} = \frac{\sqrt{B_k}}{C_T} \quad (3.13)$$

$$s_{min} = \frac{\sqrt{8,64 \cdot 10^3}}{77} = 38,17 (\text{мм}^2),$$

где C_T – определим значение параметров [1, таблица 1.9].

Таким образом шины термически стойки т.к. условие выполняется.

$$s_{min} < s \quad 38,17 \text{ мм}^2 < 2400 \text{ мм}^2$$

Найдём максимальную силу, действующую на проводник при трёх-фазном КЗ.

$$F_{\max}^3 = \frac{\sqrt{3 \cdot 10^{-7}}}{a} \cdot l \cdot i_{\text{уд}}^2 \cdot K_{\phi} \cdot K_p, \quad (3.14)$$

$$F_{\max}^3 = \frac{\sqrt{3 \cdot 10^{-7}}}{1} \cdot 1 \cdot 25220 \cdot 1 \cdot 1 = 110,17 \text{ Н}.$$

Найдём момент сопротивления поперечного сечения шин;

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6}, \quad (3.15)$$

$$W = \frac{0,01 \cdot 0,12^2}{6} = 2,4 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$$

Определим максимальное напряжение в материале шины:

$$\sigma_{\max} = \frac{F_{\max}^3 \cdot l}{\lambda \cdot W} \quad (3.16)$$

$$\sigma_{\max} = \frac{110,17 \cdot 1}{8 \cdot 2,4 \cdot 10^{-5}} \cdot 10^{-6} = 0,57 \text{ МПа}.$$

Условие проверки на электродинамическую стойкость:

$$\sigma_{\max} \leq \sigma_{\text{доп}},$$

$$0,57 \text{ МПа} \leq 137 \text{ МПа},$$

где $\sigma_{\text{доп}}$ – допустимое напряжение в МПа [2, таблица 4.2].

Определим момент инерции поперечного сечения шины:

$$J = \frac{b \cdot h^3}{12} \quad (3.17)$$

$$J = \frac{0,01 \cdot 0,12^3}{12} = 1,4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^4$$

Произведём проверку частоты собственных колебаний шины.

$$f = \frac{r_1^2}{2\pi l^2} \cdot \sqrt{\frac{EJ}{m}}; \quad (3.18)$$

$$f = \frac{3,14^2}{2 \cdot 3,14 \cdot 1^2} \cdot \sqrt{\frac{70 \cdot 10^9 \cdot 1,44 \cdot 10^{-6}}{3,25}} = 276,5 \text{ Гц};$$

где $l = 1 \text{ м}$ – длина между изоляторами,

J – момент инерции поперечного сечения шины;

γ_1 – параметр основной частоты собственных колебаний;

E – модуль упругости материала шины [1, таблица 2.2].

m – масса шины на единицу длины, АДЗ1Т1 – 3,250 кг/м.

Расчёт показал, что частота свободных колебаний составил более 200 Гц, значит резонанс не возникает, что позволяет применить данные шины.

3.8 Выбор изоляторов

Для крепления шин применим изолятор марки ИОР-10-7,5 II УХЛ2 (рисунок 13).

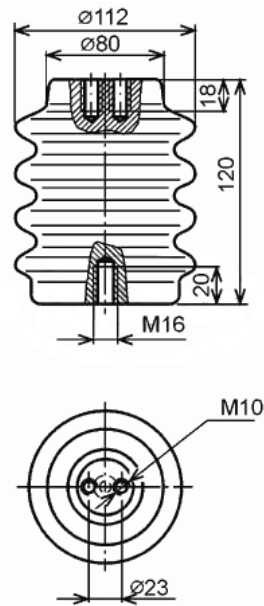


Рисунок 13 – Изолятор марки ИОР-10-7,5 II УХЛ2

Произведем проверку изолятора на соответствие параметров.

1. Номинальное напряжение.

$$U_{\text{ном}} \leq U_{\text{сет.ном}},$$

$$10 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ},$$

2. Силы действующей на изолятор

$$F_{\text{расч}} = \sqrt{3} \cdot \frac{i_{\text{уд}}^2}{a} \cdot K_{\phi} \cdot K_{\text{расч}} \cdot l_{\text{из}} \cdot 10^{-7} \quad (3.19)$$

$$F_{\text{расч}} = \sqrt{3} \cdot \frac{(25220)^2}{0,8} \cdot 0,6 \cdot 1 \cdot 1,5 \cdot 10^{-7} = 123,94 \text{ Н},$$

3. Допустимой нагрузки на головку изолятора

$$F_{\text{доп}} = 0,6 \cdot F_{\text{разр}} \cdot \frac{H_{\text{из}}}{H}; \quad (3.20)$$

$$F_{\text{доп}} = 0,6 \cdot 7500 \cdot \frac{0,120}{0,19} = 2842 \text{ Н},$$

$F_{\text{расч}}$ – берётся из справочных данных.

$H_{\text{из}}$ – высота изолятора.

$$H = H_{\text{из}} + b + \frac{h}{2}; \quad (3.21)$$

$$H = 0,120 + 0,01 + \frac{0,12}{2} = 0,19 \text{ мм};$$

В соответствии с расчётными данными выбранный изолятор допустим к установке.

$$F_{\text{расч}} \leq F_{\text{доп}}$$

$$123,94 \leq 2842.$$

3.9 Выбор предохранителей

Для защиты высоковольтных цепей от коротких замыканий и перегрузок в линии измерительных трансформаторов напряжения (ТН), используют высоковольтные предохранители (рисунок 14).



Рисунок 14 – Предохранитель ПКН 001-10 У3

Выбор высоковольтного предохранителя производится по номинальному напряжению.

$$U_{ном} \leq U_{сет.ном} ,$$

$$10 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ}.$$

Для установки в ячейках ТН вбираем предохранители ПКН 001-10 У3. Ток срабатывания в предохранителях ПКН не нормируется, предохранители выбираются по напряжению.

4 Освещение и отопление ЗРУ

В ЗРУ-10кВ предусмотрено два вида освещения; рабочее и аварийное. В состав рабочего освещения входит ремонтное (переносное) освещение.

Рабочее освещение питается от сети переменного тока 380/220 В (фаза-ноль) и осуществляется светодиодными светильниками марки «Технолюкс TLPL06 39w» (рисунок 15) подвешенными на потолочное крепление в главном проходе. Освещение коридоров за шкафами КРУ серии К-104, осуществляется с помощью настенного крепления светодиодных светильников марки Технолюкс TLPL06 39w.

В кабельном помещении предусмотрено рабочее освещение на напряжение 220/380 В, осуществляемое светильниками с лампами накаливаниями 36 В марки TDM НСП 02-100-001.01.



Рисунок 15 – Светодиодный светильник «Технолюкс TLPL06 39w»

Аварийное освещение осуществляется такими же светильниками, что и рабочее, и питается в нормальном режиме от сети переменного тока 220/380В, а в аварийном (при исчезновении рабочего напряжения) автоматически переключается на ввод аварийного переключения щита СН 220/380В (приложение 4, схема отопления, рабочего и аварийного освещения ЗРУ-10 кВ).

Включение сети рабочего освещения принято двухсторонним при помощи проходных переключателей, установленных в разных концах помещения у дверей ЗРУ-10кВ.

В помещении РУ-10 кВ так же предусмотрены штепсельные розетки 220В для подключения аппаратуры во время проведения испытаний или ремонта электрооборудования.

Вся сеть освещения выполняется кабелем АВВГ-3х2,5 открыто по стенам и потолку.

В качестве распределительного пункта сети освещения используется осветительный групповой щиток типа ЯОУ-8501.

К силовым нагрузкам ЗРУ относится; электрическая сеть печей обогрева, обогрев релейных отсеков шкафов КРУ. Для питания данного оборудования проектом предусмотрено установка отдельно стоящего силового шкафа ПР11-3062-54УЗ.

В помещении ЗРУ-10кВ предусматривается электрическое отопление, поддерживающее температуру не ниже минус 25 °С, так как шкаф КРУ не рассчитаны на работу при более низкой температуры.

Во время производства ремонтных работ в ЗРУ поддерживается температура воздуха не ниже + 5 °С, с помощью электрических печей с ручным управлением, в ремонтируемой зоне не менее + 10 °С.

В качестве нагревательных приборов используются электрические печи типа ПЭТ-4 мощностью 1 кВт каждая. Эти печи используются одновременно и для просушки помещений при более высоких температурах в период повышенной влажности. Включение печей для просушки помещения производится вручную под наблюдением оперативно-ремонтным персоналом.

5 Монтаж комплектных распределительных устройств

Монтаж КРУ (комплектных распределительных устройств) производится на основании документа «Технологическая карта монтажа шкафов КРУ 6-10 кВ», разработанного «Всесоюзным институтом по проектированию организации энергетического строительства» «Оргэнергострой» Одесский филиал, данный документ является действующим [5]. Данная технологическая карта предназначена для производства работ по монтажу КРУ внутренней установки на подстанции. Технологическая карта содержит сведения по производству монтажных работ, необходимой техники, инструментов, количество расходов на материалы, сроки выполнения работ.

Все работы связанные с монтажом КРУ делятся на три больших этапа.

1. Подготовительные работы – на данном этапе производится, осмотр готового помещения, производится приёмка помещения по строительным чертежам, готовится площадка под разгрузку оборудования и материалов, согласовывается график производства работ по технологическим картам и проектной документации, производится приёмка оборудования шкафов КРУ от поставщика.
2. Монтаж шкафов – на втором этапе производится, установка шкафов на готовое основание или раму, крепление шкафов между собой, проверяется правильность установки, производится жёсткое крепление к основанию с помощью сварки или болтовых соединений, производится монтаж вводов и шинно-проводов (двухрядная установка), заземляют все шкафы присоединив к шине заземления, производится протяжка всех болтовых соединений, производится наладка электрооборудования КРУ.
3. Заключительный этап – производится присоединение кабелей, места ввода кабеля герметизируются, фиксация кабеля на установочные хомуты, устанавливаются на прежнее место панели, кожухи, крышки (раннее снятые для более удобного монтажа оборудования), производят окраску сварных швов.

Все работы связанные с монтажом КРУ производятся с соблюдением техники безопасности согласно правилам.

6 Релейная защита

Одним из самых важных моментов реконструкции подстанции является выбор системы релейной защиты электрооборудования. В случае аварийной ситуации, когда система не сможет вовремя отреагировать на режим перегрузки или режим короткого замыкания, по участку будут протекать огромные токи с выделением большого количества тепла способные причинить непоправимые экономические последствия вплоть до замены вышедшего из строя оборудования.

Всего этого можно избежать при правильном применении системы защит электрооборудования, от самой примитивной защиты предохранительными вставками, до самой современной наиболее сложной и в тот же момент самой эффективной микропроцессорной системой релейной защиты.

Производитель КРУ «Мосэлектронит», комплектует свои шкафы системами микропроцессорной релейной защиты разработки АО «Радиус Автоматика» под торговой маркой «Сириус» [4];

- микропроцессорное устройство защиты «Сириус-2-В» (рисунок 16) данное устройство защиты предназначено для выполнения функций контроля на вводных шкафах КРУ.

- микропроцессорное устройство защиты «Сириус-21-С» - защита предназначена для выполнения функций контроля, автоматизации и управления секционного выключателя.

- микропроцессорное устройство защиты «Сириус-ТН» - служит для защиты трансформаторов напряжения,

- микропроцессорное устройство защиты «Сириус-21Л» - данный вид устройство устанавливается на отходящие линии.

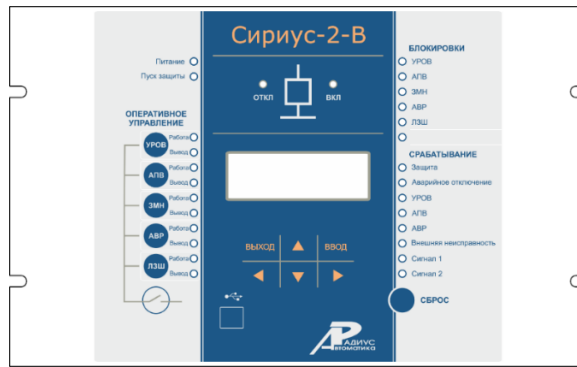


Рисунок 16 – Устройство защиты «Сириус-2-В» вводное

Основными характеристиками любой из представленных микропроцессорных систем защиты являются:

- быстроедействие – время с момента обнаружение аварии, до момента отключения повреждённого участка от системы.
- селективность или избирательность – действие при котором отключается только повреждённый участок энергосистемы оставляя в работе неповреждённые участки.
- чувствительность– это способность распознавать самые мелкие нарушения в работе системы и вовремя реагировать на них в самых удалённых участках действия защиты.
- надёжность – это гарантированность релейной защиты в выполнении своих основных задач, а именно в отключении повреждённого участка системы.

Функционал возможностей микропроцессорной защиты «Сириус» огромный:

- трёхступенчатая МТЗ от междуфазных повреждений;
- защита от обрыва одной из фаз (ЗОФ);
- защита однофазного замыкания на землю (ОЗЗ);
- защита минимального напряжения ЗМН;
- логическая защита шин (ЛЗШ);
- дуговая защита;
- Защита от повышения напряжения (ЗПН).

7 Телемеханика, измерение и учёт электрической энергии

Питание системы телемеханики осуществляется от шкафа ШПСН-ВУФ, установленного ЗРУ-6кВ.

Целью монтажа системы телемеханики является реализация следующих задач:

- контроль основных технологических параметров на ПС-800 РП-10кВ,
- повышение экономичности и надёжности работы электроустановки,
- уменьшение времени обнаружения и ликвидации нарушений и аварий в электрических сетях,
- снижение недоотпуска электроэнергии за счёт получения оперативной информации о состоянии оборудования объектов электроснабжения,
- обеспечение возможности подробного, ретроспективного анализа режимов работы основного электрооборудования.

Монтаж системы телемеханики на базе контролируемого пункта (КП) информационно-управляющего системного комплекса (УИТК) «Гранит-микро» с последующей интеграцией в существующую систему диспетчерского пункта управления службы ЭСТОП АО «МАШ».

Для передачи информации от контролируемого пункта ПС-800 РП-10 кВ в пункт управления службы ЭСТОП АО «МАШ» используется основной канал оптической линии связи ДИТ АО «МАШ» и резервный GPRS канал сотовой связи мобильного оператора.

Телесигнализации положения или состояния контролируемого объекта осуществляется с помощью выделенных «сухих контактов», которые меняют своё положение в зависимости от состояния контролируемого объекта.

Телеизмерения текущих физических величин параметров электрической сети осуществляется с помощью многофункциональных преобразователей АЕТ-411, АЕТ-311. Обмен информации с КП осуществляется через интерфейс RS-485 по протоколу Modbus.

Телеизмерения интегральные, потребления активной-реактивной электроэнергии осуществляется с помощью счётчиков электрической энергии СЭТ-4ТМ.03М.08. Обмен информации с КП осуществляется через интерфейс RS-485 по протоколу Modbus.

Телеизмерения текущие аналоговые токи и напряжения осуществляются с помощью измерительных преобразователей Е854А и Е855А.

Программирование и разработка мнемосхем для визуализации состояния контролируемых объектов осуществляется в процессе пуско-наладочных работ с помощью программного обеспечения ООО ВДТ «Гранит-микро».

К работе с ИУТК «Гранит-микро» должны допускаться специалисты, прошедшие специальное обучение и имеющие квалификационную группу по электробезопасности не ниже третьей, в соответствии с ПТЭЭП и РД 153-34.03.150-00. Эксплуатация комплекса осуществляется в соответствии с разработанными во время пуско-наладочных работ технологическими картами и учитывающими типовыми инструкциями РД 34.48.503.

Для проведения измерений и наблюдением за нагрузкой последовательно в токовые цепи в ячейках ввода и ячейках отходящих линий, ПС-800 РУ-10 кВ устанавливаются амперметры, в ячейках трансформаторов напряжения ТН устанавливаются вольтметры.

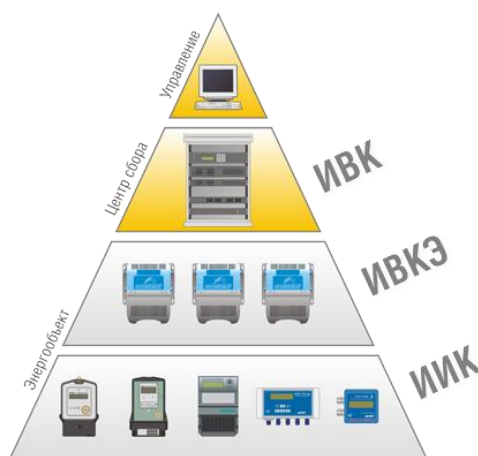


Рисунок 17 – Структурная схема информационно-измерительной системы

Архитектура информационно-измерительной системы (АСКУЭ) строится из трёх основных уровней передачи данных от приборов учёта, до получения обработки и анализа информации (рисунок 17).

Первый низший уровень (ИИК) - информационно-измерительный комплекс состоит из:

- измерительные трансформаторы тока (ТТ) и напряжения (ТН),
- приборы учёта электроэнергии СЭТ-4ТМ.03М.

Второй средний уровень (ИВКЭ) - информационно-вычислительный комплекс энергоустановки является соединительным мостом между низшим уровнем и верхним уровнем и как правило состоит из:

- устройство передачи данных (УСПД) «Сикон ТС65», «СИКОН ТС70»,

Третий высший уровень (ИВК) – информационно вычислительный комплекс обеспечивает сбор и обработку полученных данных:

- серверы сбора данных;
- ПО «Пирамида 2000»

Все счетчики на вводных ячейках и отходящих линиях подключены к системе АИИС КУЭ АО «МАШ» на базе ПО «Пирамида 2000» и обеспечивают хранение информации не менее чем за 6 расчётных периодов.

В соответствии с требованиями пункта 3.5 ПУЭ средства учёта электрической энергии должны быть защищены от несанкционированного доступа, для исключения возможности искажения результатов измерений. Цепи учёта должны иметь защиту от механических повреждений, промаркированы, проложены единым жгутом и не имеют разрывов в соединениях.

Так же в цепи тока и напряжения должна быть подключена испытательная коробка ИК с возможностью отключения цепей напряжения и возможностью преднамеренного КЗ токовых цепей на землю, а также подключения эталонного электросчётчика.

Заключение

Основной задачей выпускной квалификационной работы является своевременное проведение реконструкции ЗРУ-10 кВ ПС-800. Во время проведения технической ревизии было выявлено, что оборудование, находящееся в эксплуатации давно устарело и не отвечает надёжности поставок электроэнергии потребителям. В связи с этим построение надёжной и эффективной схемы электроснабжения, поддержание ее в работоспособном состоянии и своевременная модернизация являются важными для работы любого современного предприятия, в том числе аэропорта.

При реконструкции ЗРУ целесообразно было выполнить полную замену КРУ, так как устаревшие ячейки КСО-272 не отвечали техническим требованиям современного оборудования.

Были выбраны новые ячейки КРУ на 10 кВ серии К-104 М с вакуумными выключателями типа ВБЭК, трансформаторами тока ТЛШ, трансформаторами напряжения типа НАМИТ.

Также были выбраны разъединители РГ и ограничители перенапряжений нелинейные.

Была выбрана схема установки: две одиночные секции, установленные в два ряда, секционированные двумя выключателями системы шин. Данная схема позволила повысить надёжность и увеличить количество отходящих от РУ присоединений потребителей.

Установка современных выключателей позволило внедрить ряд современных средств защиты на базе микропроцессорных электронных устройств серии «Сириус».

При реконструкции ЗРУ-10 кВ была достигнута основная задача – это увеличение надёжности в работе всех элементов оборудования КРУ, внедрение современных средств; телемеханики, АИИСКУЭ, цифровой микропроцессорной релейной защиты.

Список используемых источников

1. СТО 56947007-29.060.10.006-2008. Методическое указания по расчёту и испытаниям жёсткой ошиновки ОРУ и ЗРУ 110-500 кВ. Разработан: ООО Научно- производственное объединение «Техносервис-Электро». ОАО «ФСК-ЕЭС», дата введения 25.06.2007. 64 с.
2. Рожкова Л.Д., Карнеева Л.К., Чиркова Т.В. Электрооборудование электрических станций и подстанций. 4-е издание, стер. М.: Издательский центр «Академия», 2007. 448 с.
3. Ополева Г.Н. Электроснабжение промышленных предприятий и гордов [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Москва: ИНФРА-М, 2018. 416с. ISBN978-5-8199-0769-6 <https://new.znaniium.com/catalog/document?id=345761>
4. Каталог производителя электрооборудования «Сириус». [Электронный ресурс]. АО «РАДИУС Автоматика». URL: <https://www.rza.ru/catalog/zashchita-i-avtomatika-prisoedineniy-vvodov-i-bsk-dla-setey-6-35-kv/> (дата обращения 06.03.2020).
5. Технологическая карта монтажа шкафов КРУ 6 - 10 кВ. Подготовлена Одесским филиалом института «Оргэнергострой» Составители: В.Н. Абрамов, В.И. Гриценко, А.Г. Клименко, С.Б. Юрковецкий. Москва 1990. 22с
6. Сумарокова Л.П. Электроснабжение промышленных предприятий: Учебное пособие. / Томский политехнический университет Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2012. 288 с.
7. Файбисович Д.Л. Справочник по проектированию электрических сетей / 4-е изд. перераб. и доп. М.: Энас, 2012. 376 с.
8. Нугманов С.С. Расчёт трансформаторной подстанции: методические указания для выполнения курсовой работы по дисциплине «Электрические станции и подстанции» / Кинель: РИЦ СГСХА, 2013. 49 с.
9. Кулеева Л.И. Проектирование подстанции [Электронный ресурс]: учебное пособие / Л.И. Кулеева, С.В. Митрофанов, Л.А. Семенова. – Электрон.

- текстовые дан. Оренбург: Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2016. 111 с.
10. Неклепаев Б. Н. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания по выбору электрооборудования. М.: Издательство НИЦ ЭНАС, 2002. 152 с.
 11. СТО-34.01-21.1-001-2017. Распределительные электрические сети напряжением 0,4 – 110 кВ. Требования к технологическому проектированию. Разработан АО «Институт Энергосетьпроект» при участии ПАО «Россети» и ДЗО. Дата введения 02.08.2017. 233 с.
 12. Вахнина В.В. Проектирование систем электроснабжения: электронное учеб. метод. пособие / В.В. Вахнина, А.Н. Черненко. – Тольятти: Изд-во ТГУ, 2016. 78 с.
 13. Типовой проект 407-3-587.90. Закрытое распределительное устройство 10(6) кВ с кабельным этажом (ЗРУ 10-6х24-ЖБ-51-2-КЭ). Альбом 1. Разработан: Институтом «Севзапэнергосетьпроект». 1990. 22с.
 14. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). Москва; Изд-во «Норматика». 2017. 704 с.
 15. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. [Электронный ресурс]: М.: ИНФРА-М, 2017. 262 с. <http://znanium.com/catalog/product/456114> (дата обращения 08.12.2019).
 16. Старшинов В.А., Пираторов М.В., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций. Справочные и методические материалы для выполнения квалификационных работ [Электронный ресурс]: учебно-справочное пособие для вузов. М.: Издательский дом МЭИ, 2015. 138 с.
 17. РФ. Росстандарт СТО 56947007-29.240.10.248-2017. Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35–750 кВ (НТП ПС); Москва: Издательство стандартов, 2017. 96 с.
 18. Немировский А.Е. Электрооборудование электрических сетей, станций и подстанций [Электронный ресурс]: учебное пособие / А.Е. Немировский, И.Ю. Сергиевская, Л.Ю. Крепышева. М: Инфра-Инженерия, 2018. 148 с.

19. Конюхова Е.А. Проектирование систем электроснабжения промышленных предприятий (теория и примеры): учебное пособие / Е.А. Конюхова. Москва: РУСАЙНС, 2017. 160 с.
20. Коломиец Н.В. Пономарчук Н.Р. Шестакова В.В. Электрическая часть электростанций и подстанций: учебное пособие / Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2007. 143 с.
21. Кадомская К.П. Электрооборудование высокого напряжения нового поколения / К.П. Кадомская, Ю.А. Лавров. Вологда: Инфра-Инженерия, 2018. 343 с.
22. Сибикин Ю.Д. Пособие к курсовому и дипломному проектированию электроснабжения промышленных, сельскохозяйственных и городских объектов: учебное пособие. М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2015. 384 с.
23. Электрические системы и сети: учебник/Г.Е. Поспелов, В.Т. Федин, П.В. Лычёв - Мн.: УП «Технопринт», 2004. 253 с.