

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
**АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

Факультет Энергетический  
Кафедра Энергетики  
Направление подготовки 13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника  
Направленность (профиль) образовательной программы Электроэнергетика

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

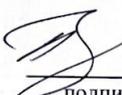
Зав. кафедрой

 Н.В. Савина  
« 23 » 06 2023 г.

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

на тему: Реконструкция системы электроснабжения напряжением 10 кВ  
района, прилегающего к подстанции НПС-20 в Амурской области

Исполнитель  
студент группы 942-узб

 15.06.2023  
подпись, дата

К.С. Петренко

Руководитель  
доцент, канд.техн.наук

 16.06.2023  
подпись, дата

А.Н. Козлов

Консультант по  
безопасности и  
экологичности  
доцент, канд.техн.наук

 14.06.2023  
подпись, дата

А.Б. Булгаков

Нормоконтроль  
ст. преподаватель

 16.06.2023  
подпись, дата

Л.А. Мясоедова

Благовещенск 2023

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
**АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

Факультет энергетический  
Кафедра энергетики

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой

Н.В. Савина

« 04 » 04 2023 г.

**ЗАДАНИЕ**

К выпускной квалификационной работе студента К.С. Петренко

1. Тема выпускной квалификационной работы: Реконструкция системы электроснабжения напряжением 10 кВ района, прилегающего к подстанции НПС-20 в Амурской области.

(утверждена приказом от 05.04.2023г. № 7340)

2. Срок сдачи студентом законченной работы (проекта) 18.06.2023

3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе: схема и программа развития Амурской области, план НПС-20, оперативная схема ПС НПС-20, контрольный замер Амурских электрических сетей декабрь 2022 года, паспорт Тындинского района Амурской области

4. Содержание выпускной квалификационной работы (перечень подлежащих разработке вопросов): характеристика района проектирования, электроснабжение вахтового поселка, расчёт нагрузок потребителей НПС-20, выбор рационального напряжения, компенсация реактивной мощности, проверка проводов ВЛ и силовых трансформаторов ПС НПС-20, выбор варианта внутреннего электроснабжения, распределительные линии 10 кВ, технико-экономическое обоснование варианта внутреннего электроснабжения, расчет токов короткого замыкания в сети 10 кВ, проверка выбранных сечений кабельных и воздушных линий на воздействие токов короткого замыкания, выбор электрических аппаратов подстанции НПС-20, оборудование комплектных трансформаторных подстанций, релейная защита и автоматика, компенсация емкостных токов замыкания на землю, заземление здания насосной.

5. Перечень материалов приложения: (наличие чертежей, таблиц, графиков, схем, программных продуктов, иллюстративного материала и т.п.): план НПС-20 и базы лесничества, варианты выполнения сетей 10 кВ, однолинейная схема электроснабжения сетей 10 кВ с центром питания ПС НПС-20, однолинейная схема подключения КТП вахтового посёлка совмещенная с однолинейной схемой ПС НПС-20, микропроцессорная автоматика в сети 10 кВ, микропроцессорная защита кабельной линии 10 кВ

6. Консультанты по выпускной квалификационной работе (с указанием относящихся к ним разделов): Безопасность и экологичность – Булгаков А.Б., доцент, канд.техн.наук

7. Дата выдачи задания 04.04.2023

Руководитель выпускной квалификационной работы: Козлов А.Н., доцент, канд.техн.наук

Задание принял к исполнению (дата):

(подпись студента)

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 113 с, 7 рисунков, 27 таблиц, 31 источник.

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ НАГРУЗКА, РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО, РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА, ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ДВИГАТЕЛЬ, ТРАНСФОРМАТОР, КАБЕЛЬНАЯ ЛИНИЯ, ВЫКЛЮЧАТЕЛЬ, РЕАКТИВНАЯ МОЩНОСТЬ, РАЗЪЕДИНИТЕЛЬ, ЖЕСТКАЯ ОШИНОВКА, ОГРАНИЧИТЕЛЬ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ, МОЛНИЕОТВОД, ТЕРМИЧЕСКАЯ СТОЙКОСТЬ, УСТАВКА СРАБАТЫВАНИЯ.

Объектом разработки принимается система электроснабжения напряжением 10 кВ района НПС-20 в Амурской области. В работе рассматриваются способы выполнения внутриплощадочных сетей ПС НПС-20 в связи с её расширением и установка дополнительных ТП при расширении вахтового поселка. Цель выпускной квалификационной работы – разработка схемы сетей для потребителей нефтеперекачивающей станции НПС-20 Амурской области и вахтового поселка. В работе определены уровни токов КЗ на ПС. Выбраны уставки средств РЗ и А трансформаторов для защиты линий 10 кВ и двигателей 10 кВ.

Практическая значимость темы выпускной квалификационной работы состоит в особенности расчёта нагрузок сетей с центром питания ПС НПС-20 на основе имеющегося оборудования 10 кВ, полностью отвечающего стратегии импортозамещения и надёжности работы в условиях роста нагрузок без снижения эксплуатационного и ремонтного ресурса.

## СОДЕРЖАНИЕ

Определения, обозначения, сокращения	6
Введение	7
1 Характеристика района реконструкции	9
2 Электроснабжение вахтового поселка	11
2.1 Нагрузка жилых модулей	11
2.2 Нагрузка складских и производственных помещений	12
2.3 Нагрузка питающих линий 0,4 кВ	12
2.4 Нагрузка на шинах 0,4 кВ ТП	15
2.5 Выбор автоматических выключателей 0,4 кВ ТП	16
3 Расчёт нагрузок потребителей НПС-20	18
3.1 Нагрузка КТП НПС-20	18
3.2 Выбор числа и мощности трансформаторов КТП с учетом компенсации реактивной мощности	19
3.3 Приведенная нагрузка ТП	22
4 Выбор рационального напряжения	30
5 Компенсация реактивной мощности	31
6 Проверка проводов ВЛ и силовых трансформаторов ПС НПС-20	32
6.1 Выбор числа и мощности трансформаторов	32
6.2 Проверка проводов ВЛ	33
7 Выбор варианта электроснабжения сетей 10 кВ	35
8 Распределительные линии 10 кВ	40
9 Технико-экономическое обоснование схемы сети 10 кВ	41
10 Расчет токов короткого замыкания в сети 10 кВ	43
11 Проверка выбранных сечений кабельных и воздушных линий напряжением 10 кВ на воздействие токов короткого замыкания	47
12 Выбор электрических аппаратов 10 кВ подстанции НПС-20	50
12.1 Выбор КРУ	50
12.2 Выбор выключателей	52

12.3	Выбор разъединителей	57
12.4	Выбор трансформаторов тока	60
12.5	Выбор трансформатора напряжения	65
12.6	Выбор ограничителей перенапряжения	67
12.7	Выбор предохранителей	71
12.8	Выбор жестких шин	73
12.9	Выбор изоляторов	76
13	Оборудование комплектных трансформаторных подстанций	79
13.1	Выбор предохранителей для защиты трансформаторов ТП	79
13.2	Выбор выключателей нагрузки	80
14	Релейная защита и автоматика	84
14.1	Токовая отсечка без выдержки времени	84
14.2	Максимальная токовая защита линий	85
14.3	Защита от однофазных замыканий на землю	87
14.4	Защита синхронных двигателей	88
14.5	Устройства автоматического включения резерва	91
15	Компенсация емкостных токов замыкания на землю	93
16	Заземление здания насосной	94
17	Безопасность	98
17.1	Безопасность	98
17.2	Экологичность	102
17.3	Чрезвычайные ситуации	106
	Заключение	109
	Библиографический список	110

## ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ

АВ – автоматический выключатель;

ВЛ – воздушная линия;

ЗНЗ – защита от замыкания на землю;

КРУ – комплектное распределительное устройство;

КТП – комплектная трансформаторная подстанция;

МТЗ – максимальная токовая защита;

ПС - подстанция;

РЗ – релейная защита;

ТН – трансформатор напряжения;

ТО –токовая отсечка;

ТП - трансформаторная подстанция;

ЧРП – частотно регулируемый привод;

## ВВЕДЕНИЕ

Развитие партнёрских отношений между Российской Федерацией и КНР в условиях мировой обстановки с начала 2021 года проходит при непрерывном укреплении межгосударственных программ взаимодействия в различных отраслях торговли и обмена ресурсами. В связи с переориентацией рынка сбыта нефтепродуктов и газохимических компонентов происходит рост передачи объемов сырья по системе нефтепроводов ВСТО-1 и ВСТО-2, что придаёт особый статус ВСТО-1 и ВСТО-2 как ключевым инфраструктурным элементам российско-китайского сотрудничества.

Общее изменение мировых тенденций на укрепление сотрудничества РФ и стран АТР выдвигает вопрос обмена энергетическими ресурсами на новый уровень. Проектные мощности нефтепроводов ВСТО-1 и ВСТО-2 в период опытной, пуско-наладочной и промышленной эксплуатации постепенно наращиваются, так как проектами развития предусмотрен сценарий увеличения объема транспорта нефтепродуктов от 2 до 6 раз. Кроме того, изменение объемов переработки нефтеперерабатывающих заводов Дальнего Востока с увеличением их загрузки для поглощения избытков нефтепродуктов внутреннего рынка Российской Федерации также влечет за собой рост нагрузки на ВСТО-2. В 2024 г. ожидается рост мощности нефтепровода ВСТО-2, при котором по направлению в страны АТР и на дальневосточные НПЗ будет передаваться 80 млн т в год с увеличением на 30% объема передачи в год [1].

Актуальность данной работы основывается на реализации планов развития мощности нефтеперекачивающих станций и расширении базы вахтового поселка. Предприятием ОАО «Тындалес» проводится наращивание объёмов лесозаготовки на площадке, удаленной от ПС НПС-20 на 3 км в отсутствие централизованного электроснабжения. В связи с имеющейся возможностью выполнить подключение вахтового поселка к шинам 10 кВ ПС НПС-20, то при выполнении работы рассматриваются способы подключения с выбором основного оборудования [13].

Цель выпускной квалификационной работы – для потребителей НПС-20 спроектировать систему внутреннего электроснабжения с учётом увеличения нагрузки НПС-20 и обеспечить возможность расширения вахтового поселка.

Для этого необходимо выполнить расчёт нагрузок КТП НПС, вахтового поселка и магистральных насосов, выбрать оптимальный вариант сети 10 кВ, выбрать оборудование, проверить по стойкости к токам КЗ, выбрать уставки средств РЗА на подстанции, рассчитать заземление центра питания, рассмотреть меры безопасности при эксплуатации ПС.

Целесообразность выпускной квалификационной работы оценивается исходя из потребности в разработке системы внутреннего электроснабжения НПС-20, так как ожидается увеличение нагрузки перекачки нефтепродуктов по нефтепроводу в целом и темпов расширения вахтового поселка.

Исходные данные для разработки темы выпускной квалификационной работы получены при прохождении преддипломной практики и представляют собой схемы и программы развития нефтепроводов ВСТО-1 и ВСТО-2, схемы подключения потребителей НПС-20 к системе электроснабжения 10 кВ, нагрузки потребителей, план расширения вахтового поселка.

Новизна выпускной квалификационной работы определяется тем, что своевременный расчёт нагрузок КТП и магистральных насосов НПС-20, а также выбор оптимального варианта сети 10 кВ под планируемые к вводу нагрузки могут обеспечить кратчайший срок ввода новых мощностей оборудования нефтеперекачки на НПС-20 и расширение вахтового поселка.

В выпускной квалификационной работе широко использовались стационарные и переносные ПЭВМ, лицензионные программные продукты на базе операционной системы Windows-10 - MS Office-2014, MS Visio-2014; средства поиска информации сети Интернет посредством магистрального провайдера ЗАО «ТТК», спутниковые карты Yandex-maps, карты развития и строительства объектов инженерной инфраструктуры Амурской области. К работе оформлены листы графической части в количестве 6 шт.

## 1 ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА РЕКОНСТРУКЦИИ

Место расположения объекта реконструкции промежуточной НПС-20 и вахтового поселка находится в Тындинском районе Амурской области. В соответствии с принятым административно-территориальным делением Амурской области, участок размещения электрических сетей 10 кВ расположен на землях Тындинского административного района.

Автодорожная сеть в районе размещения электрических сетей 10 кВ имеет достаточное развитие для доставки оборудования и персонала к месту проведения работ по реконструкции системы электроснабжения 10 кВ. НПС-20 расположена в 18 км восточнее города Тынды. Территория НПС-20 находится на возвышенности частично залесена. Отметки рельефа колеблются от 246 м до 274,5 м [1].

Обустроена подъездная дорога от насосной к НПС-20 и существующей автодороге с водоотводной канавой, площадь инженерного объекта 0,0113 га. Обустроен оголовок на выпуске очищенных сточных вод отводного коллектора, сглаживающий паводковые воды, площадь инженерного объекта 0,0225 га. Площадь, занимаемая под колодец-гаситель напора отводного коллектора, уменьшающий величину паводковых вод 15,49 га.

Вахтовый поселок расположен южнее места расположения ПС НПС-20, удаление по кратчайшему пути 3 км, представляет собой подготовленный участок в лесной местности для деятельности и проживания сотрудников лесничества и НПС-20. Автономность электроснабжения определена использованием дизельных генераторных станций, в результате чего надёжность и стоимость обслуживания системы электроснабжения временного поселка низкая.

Ведомственный характер сооружения вахтового поселка обуславливает ограниченную информацию о величине нагрузки непосредственно имеющейся на объекте, что в ходе реконструкции восполняется справочными данными открытых источников.

Климатические характеристики района реконструкции НПС-20 приняты по СНиП 2.01.07-85\* «Нагрузки и воздействия», СНиП 23-01-99\* «Строительная климатология», таблица 1.

Таблица 1 - Климатические характеристики района реконструкции

Климатическая характеристика	Данные по характеристике
нормативное давление ветра	по III району - 38 кг/м <sup>2</sup>
расчетный вес снегового покрова	по I-II району – 80-120 кг/м <sup>2</sup>
температура наиболее холодной пяти-дневки	обеспеченностью 0,92 - 38 °С
температура наиболее холодных суток	обеспеченностью 0,98 - 42 °С
абсолютная максимальная температура	+ 40 °С
абсолютная минимальная температура	- 50 °С
сейсмичность	6 баллов
Зона климатического районирования для строительства	1В
грунтовые воды	не встречены

Осадки по степени агрессивного воздействия на бетон марки Л4 воды слабоагрессивные, по степени агрессивного воздействия воды с содержанием сульфатов на бетон марки Л4- неагрессивные.

По степени агрессивного воздействия воды на арматуру железобетонных конструкций при постоянном погружении - неагрессивная, при периодическом смачивании - слабоагрессивная.

По степени агрессивного воздействия воды на металлические конструкции при свободном доступе кислорода – среднеагрессивная.

## 2 ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ВАХТОВОГО ПОСЕЛКА

Реконструкция сетей вахтового поселка напряжением 0,4-10 кВ предприятия ОАО «Тындалес» выполняется для того, чтобы обеспечить возможность расширения базы лесничества в связи с увеличением лесозаготовки после получения региональных квот на лесозаготовку [13]. Существующие сети 0,4 кВ базы лесничества получают электроснабжение от ДЭС, но из-за получения долгосрочных разрешений на заготовку принято решение получить централизованное электроснабжение от ближайшего источника питания ПС «НПС-20».

### 2.1 Нагрузка жилых модулей

На примере вычисления расчётной нагрузки жилых модулей №1-2 показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [6], подходящей под требования данного расчёта:

$$P_{\text{жил мод}} = P_{\text{кв. уд.}} \cdot n, \quad (1)$$

$$P_{\text{жил мод}} = 11,1 \cdot 10 = 111 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{жил мод}} = P_{\text{жил мод}} \cdot \text{tg}\varphi, \quad (2)$$

$$Q_{\text{жил мод}} = 111 \cdot 0,2 = 22,3 \text{ квар},$$

$$S_{\text{жил мод}} = \sqrt{P_{\text{жил мод}}^2 + Q_{\text{жил мод}}^2}; \quad (3)$$

$$S_{\text{жил мод}} = \sqrt{111^2 + 22,3^2} = 113 \text{ кВА};$$

где  $\text{tg}\varphi$  - коэффициент мощности, [6];

$n$  – количество отсеков для проживания в модуле.

## 2.2 Нагрузка складских и производственных помещений

На примере вычисления расчётной нагрузки производственных помещений №3-8 показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [6], подходящей под требования данного расчёта:

$$P_{\text{склад}} = P_{\text{склад. уд.}} \cdot S, \quad (4)$$

$$P_{\text{склад}} = 0,2 \cdot 530 = 107 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{склад}} = P_{\text{склад}} \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (4)$$

$$Q_{\text{склад}} = 107 \cdot 0,2 = 21,4 \text{ квар},$$

$$S_{\text{склад}} = \sqrt{P_{\text{склад}}^2 + Q_{\text{склад}}^2}; \quad (5)$$

$$S_{\text{склад}} = \sqrt{107^2 + 21,4^2} = 109 \text{ кВА};$$

где  $\operatorname{tg} \varphi$  - коэффициент мощности, [3];

$S$  – площадь производственных помещений №3-8.

Расчётная нагрузка потребителей вахтового поселка размещается в виде полученных по исходным данным значений в таблице 2.

Таблица 2 – Расчётные нагрузки потребителей вахтового поселка

Объект	№ на листе	$\cos \varphi$	$P_p$ , кВт	$Q_p$ , кВАр	$S_p$ , кВА
склад	3-8	0,98	107	21,4	109
производственные помещения	9-10	0,98	35	7,1	36
Жилые модули	1-2	0,98	111	22,3	113

## 2.3 Нагрузка питающих линий 0,4 кВ

Согласно описанию потребителей поселка, присутствует 2-3 категория по надёжности электроснабжения потребителей, складские помещения относятся к

3 категории, жилые модули и производственные помещения относятся ко 2 категории по надежности.

На примере вычисления расчётной нагрузки ВЛ-0,4 кВ для подключения помещений №5,9 показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [6], подходящей под требования данного расчёта:

$$P_{p\ л0,4кВ} = P_{наиб\ зд} + k_y \cdot P_{ост\ зд}, \quad (6)$$

$$P_{p\ л0,4кВ} = 106,6 + 0,9 \cdot 35,29 = 138,3\ кВт,$$

$$Q_{p\ л0,4кВ} = P_{p\ л0,4кВ} \cdot tg\varphi_{л0,4кВ}, \quad (7)$$

$$Q_{p\ л0,4кВ} = 138,3 \cdot 0,2 = 27,8\ квар,$$

где  $P_{наиб\ зд}$  - наибольшая нагрузка из числа подключенных к ВЛ-0,4 кВ;

$k_y$  - коэффициент участия в максимуме [6];

$P_{ост\ зд}$  - расчетные нагрузки остальных зданий.

$tg\varphi_{л0,4кВ}$  - коэффициент мощности нагрузки по линии, принимается как среднее из коэффициентов каждого потребителя по линии.

В системе электроснабжения вахтового поселка используется провода СИП-2, потребители 2 категории подключаются двухцепной линией, потребители 3 категории подключаются одноцепной линией.

На примере выбора проводов ВЛ-0,4 кВ для подключения помещений №5,9 показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [6], подходящей под требования данного расчёта:

$$I_p = \frac{\sqrt{P_{p\ л0,4кВ}^2 + Q_{p\ л0,4кВ}^2}}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot n_u}, \quad (8)$$

$$I_p = \frac{\sqrt{138,3^2 + 27,8^2}}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 2} = 102 \text{ A} ,$$

$$I_p \leq I_{\text{дон}} , \quad (9)$$

$$102 \text{ A} \leq 132 \text{ A} ,$$

где  $I_{\text{дон}}$  - допустимый по нагреву ток провода СИП-2 (4х25), 132 А.

Расчётная нагрузка ВЛ-0,4 кВ вахтового поселка размещается в виде полученных по исходным данным значений в таблице 3.

Таблица 3 – Расчётные нагрузки ВЛ-0,4 кВ вахтового поселка

Наим. потр.	$P_{\text{зд макс}}$ , кВт	$Q_{\text{зд макс}}$ , кВар	$P_{\text{зд i}}$ , кВт	$Q_{\text{зд i}}$ , кВар	$K_{\text{у}}$	$P_{\text{р л}}$ , кВт	$Q_{\text{р л}}$ , кВАр	$S_{\text{расч}}$ линии, кВА	$I_{\text{расч}}$ , А	$I_{\text{доп}}$ , А
ТП-5										
3	106,57	21,42				106,6	21,4	108,7	157	242
5,9	106,57	21,42	35,29	7,09	0,90	138,3	27,8	141,1	102	132
1	110,72	22,26				110,7	22,3	112,9	82	132
7	106,57	21,42				106,6	21,4	108,7	157	161
ТП-6										
39	106,57	21,42				106,6	21,4	108,7	82	242
38,42	106,57	21,42	35,29	7,09	0,90	138,3	27,8	141,1	110	132
44	110,72	22,26				110,7	22,3	112,9	84	132
37	106,57	21,42				106,6	21,4	108,7	80	161

Проверка проводов ВЛ-0,4 кВ для подключения помещений №5,9 по потере напряжения показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [6], подходящей под требования данного расчёта:

$$\Delta U_{\text{факт}} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_p \cdot L \cdot (r_0 \cdot \cos \varphi + x_0 \cdot \sin \varphi)}{U_{\text{ном}}} \cdot 100\% , \quad (10)$$

$$\Delta U_{\text{факт}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 102 \cdot 0,15 \cdot (1,25 \cdot 0,98 + 0,066 \cdot 0,2)}{0,4} \cdot 100\% = 8,6\% ,$$

где  $\cos\varphi$  и  $\sin\varphi$  – коэффициента мощности, определённые как средние из всех потребителей по линии;

$U_{ном}$  - номинальное напряжение, 0,4 кВ;

$L$  – длина ВЛ 0,4 кВ, км;

$r_0, x_0$  - удельные сопротивления провода СИП-2, Ом/км.

Результаты выбора и проверки проводов ВЛ-0,4 кВ вахтового поселка размещается в виде полученных по исходным данным значений в таблице 4.

Таблица 4 – Расчётные нагрузки ВЛ-0,4 кВ вахтового поселка

Наим. потр.	$I_{расч}, A$	$F, мм^2$	$L, км$	$\cos\varphi$	$\sin\varphi$	$R, Ом/км$	$X, Ом/км$	$\Delta U, \%$
ТП-5								
3	157	70	0,25	0,98	0,20	0,447	0,061	8,0
5,9	102	25	0,15	0,98	0,20	1,250	0,066	8,6
1	82	25	0,07	0,98	0,20	1,250	0,066	3,2
7	157	35	0,07	0,98	0,20	0,894	0,064	4,4
ТП-6								
4	82	70	0,25	0,98	0,20	0,447	0,061	4,2
6,10	110	25	0,15	0,98	0,20	1,250	0,066	9,3
2	84	25	0,07	0,98	0,20	1,250	0,066	3,3
8	80	35	0,07	0,98	0,20	0,894	0,064	2,3

#### 2.4 Нагрузка на шинах 0,4 кВ ТП

На примере вычисления расчётной нагрузки ТП-5 показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [6], подходящей под требования данного расчёта:

$$P_{р\ ТП0,4кВ} = P_{наиб\ зд} + k_y \cdot P_{ост\ зд}, \quad (11)$$

$$P_{р\ ТП0,4кВ} = 110,7 + 0,9 \cdot 355 = 430,2\ кВт,$$

$$Q_{р\ ТП0,4кВ} = P_{р\ ТП0,4кВ} \cdot \operatorname{tg}\varphi_{0,4кВ}, \quad (12)$$

$$Q_{р\ ТП0,4кВ} = 430,2 \cdot 0,2 = 86,5\ квар.$$

Расчётная нагрузка ТП-6 определяется аналогично, результаты расчётов размещаются в п 3.

## 2.5 Выбор автоматических выключателей 0,4 кВ ТП

Для защиты шин НН ТП и линий 0,4 кВ выбираются автоматические выключатели с электромагнитным расцепителем типа ВА, [3].

На примере выбора автоматических выключателей 0,4 кВ ТП-5 показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [6], подходящей под требования данного расчёта:

$$I_p = \frac{\sqrt{P_{рТП0,4кВ}^2 + Q_{рТП0,4кВ}^2}}{\sqrt{3} \cdot U_H}, \quad (13)$$

$$I_p = \frac{\sqrt{430,2^2 + 86,5^2}}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 317 \text{ A},$$

$$I_p \leq I_{номВА},$$

$$317 \text{ A} \leq 400 \text{ A},$$

где  $I_{номВА}$  - номинальный ток расцепителя автоматического выключателя ВА 54-41, 400 А.

Результаты выбора автоматических выключателей 0,4 кВ вахтового поселка размещается в виде полученных по исходным данным значений в таблице 5.

Таблица 5 – Выбор автоматических выключателей 0,4 кВ

тип нагрузки	Наим. потр.	$I_p$ , А	$I_{номВА}$ , А	Тип АВ
1	2	3	4	5
ТП-5				
ввод		317	400	ВА54-41
производственная нагрузка	3	157	160	ВА 88-35
производственная нагрузка	5,9	102	160	ВА 88-35
производственная нагрузка	1	82	100	ВА 88-35

Продолжение таблицы 5

1	2	3	4	5
производственная нагрузка	7	157	160	ВА 88-35
ТП-6				
ввод		317	400	ВА54-41
производственная нагрузка	4	157	160	ВА 88-35
производственная нагрузка	6,10	102	160	ВА 88-35
производственная нагрузка	2	82	100	ВА 88-35
производственная нагрузка	8	157	160	ВА 88-35

### 3 РАСЧЁТ НАГРУЗОК ПОТРЕБИТЕЛЕЙ НПС-20

Потребителями внутриплощадочных сетей НПС-20 являются преимущественно двигатели насосов (напряжение 7,2 кВ), подключаемых через ЧПУ (уровни напряжения 10/7,2 кВ) а также вспомогательное оборудование, подключаемое к КТП в количестве 4 шт (напряжение 10/0,4 кВ).

#### 3.1 Нагрузка КТП НПС-20

Нагрузка на стороне 0,4 кВ КТП определяется исходя из данных контрольного замера токовой нагрузки на шинах 0,4 кВ декабрь 2022 года.

На примере вычисления расчётной нагрузки на стороне 0,4 кВ КТП-1 показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [3], подходящей под требования данного расчёта:

$$P_{p \text{ КТП}} = \sqrt{3} \cdot I_{\text{макс}} \cdot U_{\text{ном}} / 1000; \quad (14)$$

$$P_{p \text{ КТП}} = \sqrt{3} \cdot 2468 \cdot 400 / 1000 = 1708 \text{ кВт};$$

$$Q_p \text{ КТП} = P_p \cdot \text{tg} \varphi_{\text{расч}}; \quad (15)$$

$$Q_p = 1708 \cdot 0.4 = 683 \text{ квар.}$$

где  $I_{\text{макс}}$  - значение максимальной токовой нагрузки за период замера, А;

$U_{\text{ном}}$  - номинальное напряжение стороны НН каждой КТП, где производился замер токовой нагрузки, 400 В;

$\text{tg} \varphi_{\text{расч}}$  - коэффициент реактивной мощности по результату замера.

Промежуточные вычисления расчётной нагрузки КТП на стороне 0,4 кВ представляют собой массив информации, которую имеет смысл разместить в виде полученных по исходным данным значений, таблица 6.

Таблица 6 – Нагрузки ТП на стороне 0,4 кВ

Наименование ТП	$P_p$ , кВт	$Q_p$ , кВАр	$S_p$ , кВА	$K_3$ факт	$S_{\text{факт ТП}}$ , кВА	примечание
КТП-1	1708	683	1220	0,57	1600	Оптимальная нагрузка
КТП-2	1122	449	801	0,60	1000	Оптимальная нагрузка
КТП-3	608	243	434	0,52	630	Оптимальная нагрузка
КТП-4	659	316	471	0,58	630	Оптимальная нагрузка
КТП-5	430,2	86,5	438,8	0,88	250	Перегружен в режиме N-1
КТП-6	430,2	86,5	438,8	-	-	-

### 3.2 Выбор числа и мощности трансформаторов КТП с учетом компенсации реактивной мощности

На примере вычисления требуемой мощности трансформатора 10/0,4 кВ КТП-1 показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [3], подходящей под требования данного расчёта:

$$S_T = \frac{P_p}{K_3 \cdot N_T}, \quad (16)$$

$$S_T = \frac{1708}{2 \cdot 0,7} = 1220 \text{ кВА} .$$

На примере выбора номинальной мощности трансформатора 10/0,4 кВ КТП-1 показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [3], подходящей под требования данного расчёта:

$$S_{T_{\text{ном}}} \geq S_T; \quad (15)$$

$$1600 \text{ кВА} \geq 1220 \text{ кВА}.$$

На КТП-1 устанавливается трансформатор ТМ-1600/10.

Компенсацию реактивной мощности произведем по алгоритму [2].

На примере вычисления передаваемой реактивной мощности через трансформатор 10/0,4 кВ КТП-1 показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [2], подходящей под требования данного расчёта:

$$Q_T = \sqrt{(N_T \cdot K_3 \cdot S_T)^2 - P_P^2} , \quad (18)$$

$$Q_T = \sqrt{(2 \cdot 0,7 \cdot 1600)^2 - 683^2} = 1449 \text{ квар} .$$

На примере вычисления мощности низковольтных батарей конденсаторов КТП-1 для 1 этапа расчёта показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [2], подходящей под требования данного расчёта:

$$Q_{HK1} = Q_P - Q_T , \quad (19)$$

$$Q_{HK1} = 683 - 1449 = -766 \text{ кВар} ,$$

$$Q_{HK1} = 0 .$$

Мощность низковольтных батарей конденсаторов КТП-1 для 2 этапа расчёта определяется по расчётной формуле, взятой в [2]:

$$Q_{HK2} = Q_P - Q_{HK1} - \gamma \cdot N_T \cdot S_T , \quad (20)$$

$$Q_{HK2} = 683 - 0 - 0,35 \cdot 2 \cdot 1600 = -437 \text{ квар} ,$$

$$Q_{HK2} = 0 ,$$

где  $\gamma = f(K_1, K_2) = 0,35$ ,  $K_1$  и  $K_2$  определяются по [2].

На примере вычисления общей мощности низковольтных батарей конденсаторов КТП-1 показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [10], подходящей под требования данного расчёта:

$$Q_{HK\Sigma} = Q_{HK1} + Q_{HK2}, \quad (21)$$

$$Q_{HK\Sigma} = 0 + 0 = 0 \text{ квар}$$

Установка оборудования для компенсации реактивной мощности не требуется,  $Q_{HK\Phi} = 0$ .

На примере вычисления нескомпенсированной реактивной мощности КТП-1 показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [2], подходящей под требования данного расчёта:

$$Q_{неск} = Q_P - Q_{HK\Phi}, \quad (22)$$

$$Q_{неск} = 683 - 0 = 683 \text{ квар}.$$

Промежуточные вычисления мощности трансформаторов КТП представляют собой массив информации, которую имеет смысл разместить в виде полученных по исходным данным значений, таблица 7.

Таблица 7 – Выбор мощности трансформаторов КТП

№ ТП	$P_p$ , кВт	$K_3$	$N_{тр}$	$S_{р\ ТП}$ , кВА	$Q_p$ , кВАр	$S_{\Phi}$ ТП, кВА	$Q_T$ , кВАр	$Q_{HK1}$ , кВАр	$Q_{HK2}$ , кВАр	$Q_{HK}$ , кВАр	$Q_{HK\Phi}$ , кВАр	$Q_{неск}$ , кВАр
КТП-1	1708	0,70	2	1220	683	1600	1449	0	-437	0	0	1708
КТП-2	1122	0,70	2	801	449	1000	838	0	-251	0	0	1122
КТП-3	608	0,70	2	434	243	630	639	0	-198	0	0	608
КТП-4	659	0,70	2	471	316	630	586	0	-125	0	0	659
КТП-5	430	0,70	2	307	86	400	358	0	-194	0	0	430
КТП-6	430	0,70	2	307	86	400	358	0	-194	0	0	430

### 3.3 Приведенная нагрузка ТП

При помощи приведения нагрузок по формулам со стороны НН на сторону ВН ТП определим расчётный ток по линиям 10 кВ.

На примере вычисления коэффициента загрузки КТП-1 показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [5], подходящей под требования данного расчёта:

$$K_3 = \frac{\sqrt{P_K^2 + Q_{неск}^2}}{S_{ф\ ТП}}; \quad (23)$$

$$K_3 = \frac{\sqrt{1708^2 + 683^2}}{1600} = 0,57 .$$

На примере вычисления полных активных потерь мощности КТП-1 показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [5], подходящей под требования данного расчёта:

$$\Delta P_T = 2 \cdot \Delta P_X + K_3^2 \cdot \Delta P_K / 2; \quad (24)$$

$$\Delta P_T = 3,3 \cdot 2 + 0,57^2 \cdot 18 / 2 = 9,6 \text{ кВт} ,$$

где  $\Delta P_X$  - активные потери холостого хода ТМ-1600/10, 3,3 кВт [6];

$\Delta P_K$  - активные потери короткого замыкания ТМ-1600/10, 18 кВт, [6].

На примере вычисления реактивных потерь мощности холостого хода КТП-1 показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [5], подходящей под требования данного расчёта:

$$\Delta Q_X = S_{ном.т} \cdot \frac{I_x}{100}; \quad (25)$$

$$\Delta Q_X = 1600 \cdot \frac{1,3}{100} = 20,8 \text{ квар} ,$$

где  $S_{ном.т}$  - номинальная мощность трансформатора ТМ-1600/10, 1600 кВА;

$I_x$  - ток холостого хода ТМ-1600/10, 1,3 % [6].

На примере вычисления реактивных потерь мощности короткого замыкания КТП-1 показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [5], подходящей под требования данного расчёта:

$$\Delta Q_K = S_{ном.т} \cdot \frac{U_K}{100}; \quad (26)$$

$$\Delta Q_K = 1600 \cdot \frac{5,5}{100} = 88 \text{ квар} ,$$

где  $U_K$  - напряжение короткого замыкания ТМ-1600/10, 5,5 [6].

На примере вычисления полных реактивных потерь мощности КТП-1 показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [5], подходящей под требования данного расчёта:

$$\Delta Q_T = 2 \cdot \Delta Q_X + K_3^2 \cdot \Delta Q_K / 2; \quad (27)$$

$$\Delta Q_T = 20,8 \cdot 2 + 0,57^2 \cdot 88 / 2 = 56 \text{ квар} ,$$

На примере вычисления полной мощности КТП-1 на стороне ВН показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [6], подходящей под требования данного расчёта:

$$S_{ВН ТП1} = \sqrt{(P_{ТП1} + \Delta P_{Т1})^2 + (Q_{ТП1} + \Delta Q_{ТП1})^2}; \quad (28)$$

$$S_{ВН ТП} = \sqrt{(1708 + 9,6)^2 + (683 + 56)^2} = 1870 \text{ кВА}.$$

Промежуточные вычисления нагрузки трансформаторов КТП на стороне ВН представляют собой массив информации, которую имеет смысл разместить в виде полученных по исходным данным значений, таблица 8.

Таблица 8 – Пересчёт нагрузки на ТП на сторону 10 кВ

№ ТП	$P_{р 0,4 \text{ кВ}},$ кВт	$Q_{неск},$ кВАр	$K_3 \text{ факт}$	$K_3 \text{ авар}$	$\Delta P_{Т},$ кВт	$\Delta Q_{Т},$ кВт	$P_{р 10 \text{ кВ}},$ кВт	$Q_{р 10 \text{ кВ}},$ кВАр	$S_{р 10 \text{ кВ}},$ кВА
КТП-1	1708	683	0,57	0,57	9,6	56	1717	739	1870
КТП-2	1122	449	0,60	1,21	7,1	38	1129	487	1229
КТП-3	608	243	0,52	1,04	4,1	30	612	273	671
КТП-4	659	316	0,58	0,58	4,4	31	663	347	749
КТП-5	430	86	0,55	1,10	2,9	20	433	106	446
КТП-6	430	86	0,55	1,10	2,9	20	433	106	446

На примере вычисления суммарной мощности КТП на стороне 10 кВ ПС НПС-20 показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [6], подходящей под требования данного расчёта:

$$P_{рКТП} = \sum_{i=1}^n P_{КТПi}; \quad (29)$$

$$Q_{рКТП} = \sum_{i=1}^n Q_{КТПi} \operatorname{tg} \varphi_{расч}; \quad (30)$$

$$P_{рКТП \text{ ВН}} = 1717 + 1129 + 612 + 663 + 433 + 433 = 4988 \text{ кВт};$$

$$Q_{рКТП \text{ ВН}} = 739 + 487 + 273 + 347 + 106 + 106 = 2058 \text{ квар}.$$

План НПС-20 показан на рисунке 1, в таблице 9 приведена характеристика потребителей КТП на территории НПС-20.

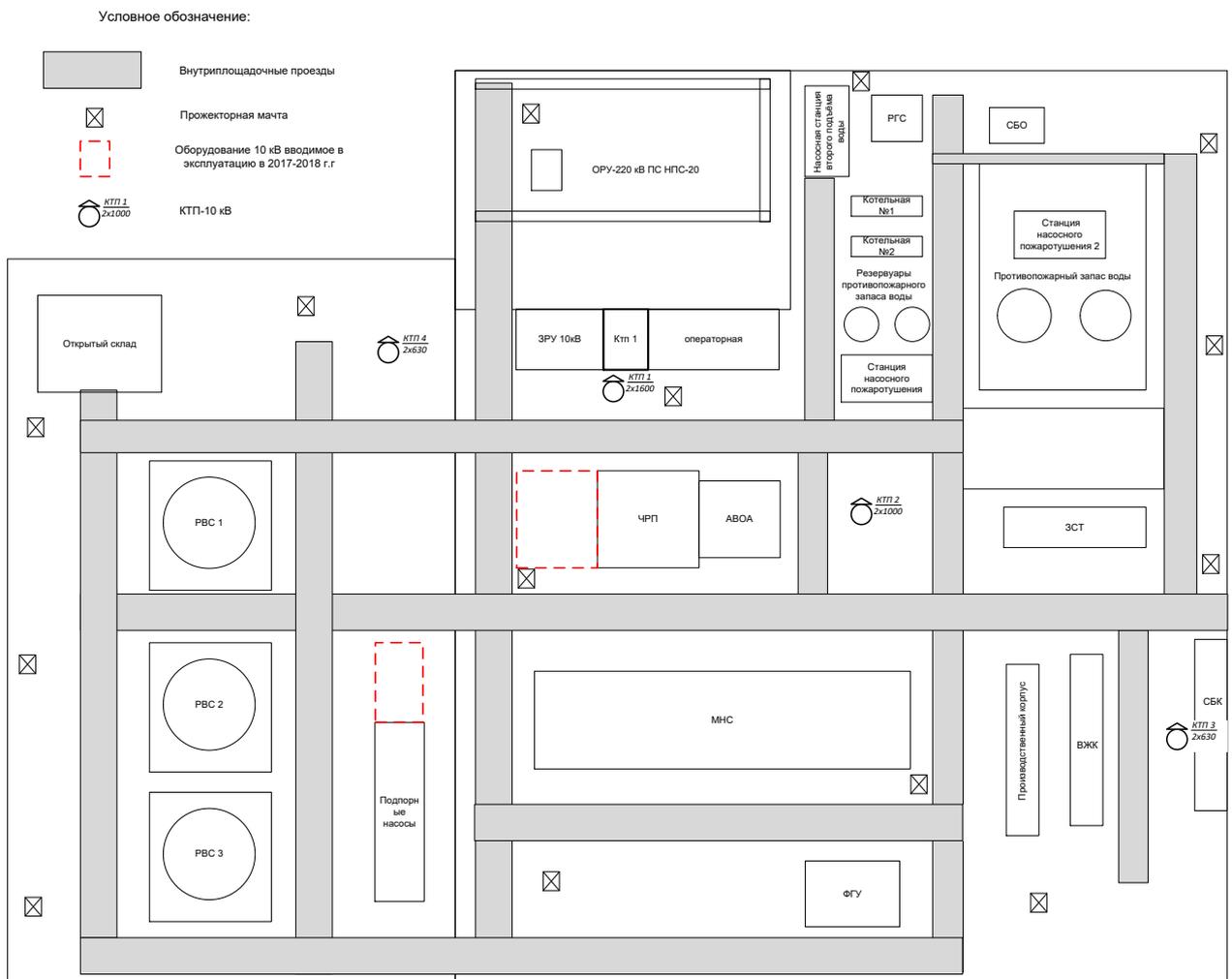


Рисунок 1 – План НПС-20

Таблица 9 – Характеристика потребителей

КТП	№ секции	№ шкафа	назначение
1	2	3	4
КТП-1 2х1600	1секция	1	207,1 ЩСУ А ввод №2
		2	котельная №2 ввод №1
		3	котельная №2 ввод №2
		4	насос пожаротушения Н 1,1
		5	ЩСУ 214 ВВОД№1
		6	ЩСУ 214 ВВОД№2
		7	насос пожаротушения Н 1,2
		8	ЩСУ 214 А ВВОД№1
		9	Резерв
		10	резерв
		11	конденсаторная установка КУ1
		12	СБК ЩАВР ВВОД №1
		13	резервный ввод от ДЭС

Продолжение таблицы 9

	2	3	4
КТП 2 2x1000			секционный выключатель
	секция №2	1	котельная №2 ЩСУ УВТ №2
		2	ЩСУ 214 ВВОД №2
		3	207,1 ЩСУ А ввод №1
		4	насосная пенного пожаротушения ввод №1
		5	Резерв
		6	Резерв
		7	Резерв
		8	ЩСУ 214 ВВОД №2
		9	насос пожаротушения Н 2,2
		10	конденсаторная установка КУ 2
		11	СБК ЩАВР ВВОД № 2
		12	насос пожаротушения Н 3,2
		13	Резервный ввод ОПУ 0,4 №1
		14	Резерв
		15	котельная №1 ЩСУ МВКУ №2
	1 секция	1	ЩСУ 1 003 ВВОД №1
		2	ЩАВР МНА ЧРП №1 ВВОД №1
		3	207,1 ЩСУ ВВОД №1
		4	ЩСУ 2 003 ВВОД №2
		5	ЩАВР АВОА ЧРП №1 ВВОД №1
		6	конденсаторная установка КУ1
		7	ЩСУ 217 ВВОД №1
		8	ЩАВР МНА ЧРП №3 ВВОД №1
		9	ЩАВР АВОА ЧРП №1 ВВОД №1
		10	РЕЗЕРВ
			СЕКЦИОННЫЙ ВЫКЛЮЧАТЕЛЬ
		1	ЩАВР МНА ЧРП №2 ВВОД №2
		2	ЩСУ 217 ВВОД №2
		3	ЩАВР МНА ЧРП №2 ВВОД №2
		4	ЩАВР МНА ЧРП №3 ВВОД №2
		5	РЕЗЕРВ
		6	конденсаторная установка КУ1
7		ЩСУ 2 003 ВВОД №2	
8		ЩСУ 673	
9		СУ ЩСУ 207,1	
10		ЩСУ 1 003 ВВОД №2	
11		ЩАВР МНА ЧРП №3 ВВОД №1	
КТП 3 2x630	секция №1	1	674 ЩСУ ВВОД №1
		2	конденсаторная установка КУ1
		3	РЕЗЕРВ
		4	689 ЩСУ ВВОД №1 ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ КОРПУС

Продолжение таблицы 9

		3	4	
		5	ЩСУ 207,1 ВВОД №1	
		6	677 ЩСУ ВВОД №1 СБК	
			СЕКЦИОННЫЙ ВЫКЛЮЧАТЕЛЬ	
	секция №2	1	674 ЩСУ ВВОД №1	
		2	конденсаторная установка КУ1	
		3	РЕЗЕРВ	
		4	689 ЩСУ ВВОД №1 ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ КОРПУС	
		5	ЩСУ 207,1 ВВОД №1	
		6	677 ЩСУ ВВОД №1 СБК	
КТП 4 2х630	секция №1	1	ЩСН	
		2	арт скважина №1 ввод №1	
		3	арт скважина №1 ввод №1	
		4	арт скважина №1 ввод №1	
		5	арт скважина №1 ввод №1	
		6	резерв	
		7	резерв	
			секционник	
	секция №2	1	щсн	
		2	арт скважина №1 ввод №1	
		3	арт скважина №1 ввод №1	
		4	арт скважина №1 ввод №1	
		5	арт скважина №1 ввод №1	
		6	резерв	
7		резерв		

Питание магистральных насосов осуществляется на напряжении 7,2 кВ. С 10 кВ на 7,2 напряжение трансформируется за счёт использования трансформаторов частотно-регулируемого привода, подключенных к ячейкам ЗРУ-10 кВ ПС НПЗ-20. Трансформаторы ЧРП типа Siemens WC-3, 17 МВА, охлаждение хладагентом производится посредством системы труб через обмотки трансформатора. Трансформатор сухой, установлен в шкафу со съёмными панелями для обслуживания.

На примере вычисления загруженности трансформаторов 10/7,2 кВ согласно мощности двигателя насосной ПС НПЗ-20 показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [6], подходящей под требования данного расчёта:

$$K_3 = \frac{P_{\text{ДВИГ}}}{\cos \varphi_{\text{ДВИГ}} \cdot S_{\text{трном}}}; \quad (31)$$

$$K_3 = \frac{12,5}{0,85 \cdot 17} = 0,865 ,$$

где  $S_{\text{тр ном}}$  - номинальная мощность силовых трансформаторов на 10/7,2 кВ, 17 МВА.

$P_{\text{ДВИГ}}$  - мощность двигателя насосной, 12,5 МВт;

$\cos \varphi_{\text{ДВИГ}}$  - номинальный коэффициент мощности двигателя насосной, 0,85.

Согласно расчёту, трансформаторы загружены оптимально, учитывая их режим работы.

Двигатели магистральных насосов асинхронные мощностью 12 МВт, 1130 А, 7,2 кВ, 2990 об/мин, располагаются в здании МНС. На НПС-20 установлены 4 двигателя магистральных насосов таким образом, что двигатель №1 - в работе, двигатель №2 – горячий резерв, двигатель №3 – холодный резерв, двигатель №4 – в ремонте. Поэтому коэффициент использования  $K_{\text{и}}$  данных двигателей определяется по соотношению 2/4, то есть равен 0,5. Учитывая перспективу расширения НПС и увеличения объёмов перекачки нефти на НПС-20 планируется установка дополнительных 4 двигателей в здании подпорной насосной.

На примере вычисления нагрузки двигателей магистральной насосной ПС НПС-20 показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [6], подходящей под требования данного расчёта:

$$P_{\text{р двиг}} = P_{\text{СУММ}} \cdot K_{\text{и}} \cdot N_{\text{двиг}}; \quad (32)$$

$$P_{\text{р двиг}} = 12000 \cdot 0,5 \cdot 8 = 48000 \text{ кВт};$$

$$Q_{p \text{ движ}} = P_{p \text{ движ}} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{\text{ном движ}} ; \quad (33)$$

$$Q_{p \text{ движ}} = 48000 \cdot 0.62 = 29760 \text{ квар.}$$

На примере вычисления суммарной нагрузки магистральной насосной ПС НПС-20 показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [6], подходящей под требования данного расчёта:

$$P_p = P_{p \text{ движ}} + P_{p \text{ КТП ВН}} ; \quad (34)$$

$$Q_p = Q_{p \text{ движ}} + Q_{p \text{ КТП ВН}} ; \quad (35)$$

$$P_p = 48000 + 4988 = 52988 \text{ кВт} ;$$

$$Q_p = 29760 + 2058 = 31818 \text{ квар.}$$

#### 4 ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Так как основная нагрузка НПС-20 – двигательная на напряжении 10 кВ магистральных насосных агрегатов, то целесообразно использовать данное напряжение для подключения КТП.

Внутренние сети НПС-20 выполняются на напряжении 10 кВ кабельными линиями.

Внешнее электроснабжение НПС-20 выполняется на напряжении 220 кВ двухцепной воздушной линией от РУ-220 кВ ПС Тында..

На примере вычисления рационального напряжения питающей линии для НПС-20 по формуле Илларионова показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [16], подходящей под требования данного расчёта:

$$U_{НОМ\ вл} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{L} + \frac{2500}{P_p}}}, \quad (36)$$

$$U_{НОМ\ вл} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{18} + \frac{2500}{\frac{53}{2}}}} = 90,$$

где  $l$  - длина двухцепной линии, по которой передаётся мощность  $P_{МАХ}$ , принимается 18 км по схеме электроснабжения.

НПС-20 подключается на напряжение 220 кВ, питающего напряжения линии достаточно.

## 5 КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Целесообразность в компенсации реактивной мощности на шинах 10 кВ питающей подстанции обоснована меньшей величиной энергии, поступающей по стороне 220 кВ в сеть 10 кВ. Поэтому, для КРМ на стороне 10 кВ подстанции рассмотрим выбор установок КРМ-10 кВ.

На примере вычисления требуемой мощности компенсирующих устройств на стороне 10 кВ НПС-20 показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [16], подходящей под требования данного расчёта:

$$Q_{КУ}^{треб} = Q_p - P_p \cdot tg . \quad (37)$$

$$Q_{КУ}^{треб} = 31.8 - 53 \cdot 0.4 = 10623 \text{ квар} .$$

где  $tg$  - предельно допустимый коэффициент реактивной мощности для шин 10 кВ по [8], 0,4.

На примере вычисления некомпенсированной реактивной мощности на стороне 10 кВ НПС-20 показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [16], подходящей под требования данного расчёта:

$$Q_{неск} = Q_p - Q_{КУ}^{факт} , \quad (38)$$

$$Q_{неск} = 31818 - 10800 = 21018 \text{ квар} ,$$

где  $Q_{КУ}^{факт}$  - фактическая мощность компенсирующих устройств, квар.

Выбираем комплектные конденсаторные установки марки УКЛ(П) – 10 – 2250УЗ в количестве 2 шт и УКЛ(П) – 10 – 3150УЗ в количестве 2 шт, [12].

## 6 ПРОВЕРКА ПРОВОДОВ ВЛ И СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ПС НПС-20

### 6.1 Выбор числа и мощности трансформаторов

Установленные силовые трансформаторы 2x25 МВА на подстанции «НПС-20» необходимо проверить с учётом планируемой нагрузки.

На примере вычисления полной мощности трансформаторов 220/10 кВ НПС-20 показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [16], подходящей под требования данного расчёта:

$$S_p = \sqrt{(P_p)^2 + (Q_p)^2}, \quad (39)$$

$$S_p = \sqrt{52,122^2 + 20,806^2} = 56,121 \text{ МВА},$$

На примере вычисления загрузки трансформаторов 220/10 кВ НПС-20 в нормальном режиме показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [16], подходящей под требования данного расчёта:

$$K_3 = \frac{S_p}{2 \cdot S_{тр\text{ ном}}}, \quad (40)$$

$$K_3 = \frac{56,47}{2 \cdot 25} = 1,14,$$

где  $S_{тр\text{ ном}}$  - номинальная мощность силовых трансформаторов на ПС «НПС-20», на ПС установлены 2 трансформатора по 25 МВА.

Согласно расчёту, трансформаторы в нормальном режиме перегружены, так как нормальная загрузка должна находиться в пределах 0,5-0,75. На ПС предусмотрена замена силовых трансформаторов на трансформаторы ТДН-

40000/220. В таком случае коэффициент загрузки трансформатора ТДН-40000/220 в нормальном режиме определяется по формуле:

$$K_3 = \frac{56,47}{2 \cdot 40} = 0,7,$$

На примере вычисления загрузки трансформаторов 220/10 кВ НПС-20 в послеаварийном режиме показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [16], подходящей под требования данного расчёта:

$$K_3 = \frac{S_p}{S_{тр\ ном}}, \quad (41)$$

$$K_3 = \frac{56,47}{40} = 1,4,$$

С учётом подключаемой дополнительной нагрузки магистральных насосов трансформаторы ТДН-40000/220 загружены оптимально.

## 6.2 Проверка проводов ВЛ

На примере вычисления максимального тока протекающего по линии 220 кВ в нормальном режиме показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [16], подходящей под требования данного расчёта:

$$I_{\max} = \frac{\sqrt{P_p^2 + Q_p^2}}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ} \cdot n_{Ц}}, \quad (42)$$

$$I_{\max} = \frac{\sqrt{53^2 + 21^2}}{\sqrt{3} \cdot 220 \cdot 2} = 75 \text{ A},$$

где  $U_{НОМ}$  – номинальное напряжение питающей линии, 220 кВ;

$n_{ц}$  - количество цепей.

ПС «НПС-20» подключена к ПС «Тында» ВЛ-220 кВ выполненной проводом АС-240. Экономический токовый интервал для провода АС-240 – не более 140 А [5], провод подходит.

На примере вычисления максимального тока, протекающего по линии 220 кВ в утяжеленном режиме, показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [16], подходящей под требования данного расчёта:

$$I_{авар} = \frac{\sqrt{P_p^2 + Q_p^2}}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ} \cdot (n_{ц} - 1)}, \quad (43)$$

$$I_{авар} = \frac{\sqrt{53^2 + 21^2}}{\sqrt{3} \cdot 220 \cdot (2 - 1)} = 150 \text{ А},$$

На примере проверки проводов линии 220 кВ по нагреву показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [16], подходящей под требования данного расчёта:

$$I_{авар} \leq I_{доп}, \quad (44)$$

$$150 \text{ А} \leq 610 \text{ А}.$$

В утяжеленном режиме провод проверен.

## 7 ВЫБОР ВАРИАНТА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СЕТЕЙ 10 кВ

Составляется 2 варианта прокладки кабельных линий по территории предприятия – магистральный и радиальный. Магистральный вариант предусматривает подключение нескольких потребителей, радиальный предусматривает отдельную линию к каждому потребителю. В обоих случаях линии делаются резервируемыми вторым кабелем.

Для реконструкции системы электроснабжения 10 кВ вахтового поселка, где предполагается сооружение дополнительной КТП, варианты развития сетей 10 кВ не предлагаются, так как количество всего ТП N=2 на магистрали 10 кВ. До вахтового поселка сети 10 кВ выполняются проводом СИП-3.

Необходимо провести технико – экономическое сравнение. В рассмотренные принимаем 2 варианта, показанные на рисунках 2-3.

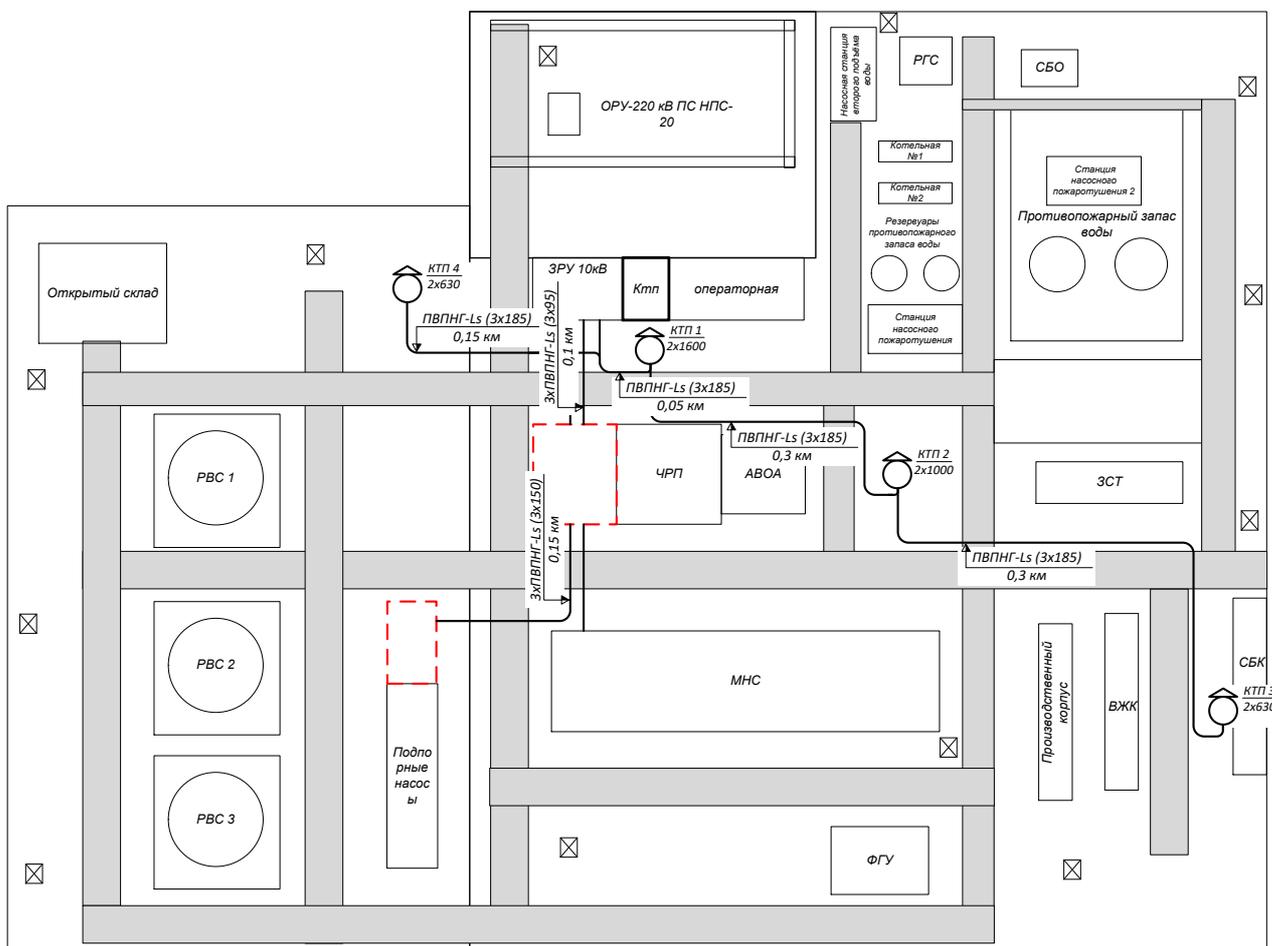


Рисунок 2 – Вариант схемы сети 10 кВ по магистральной схеме

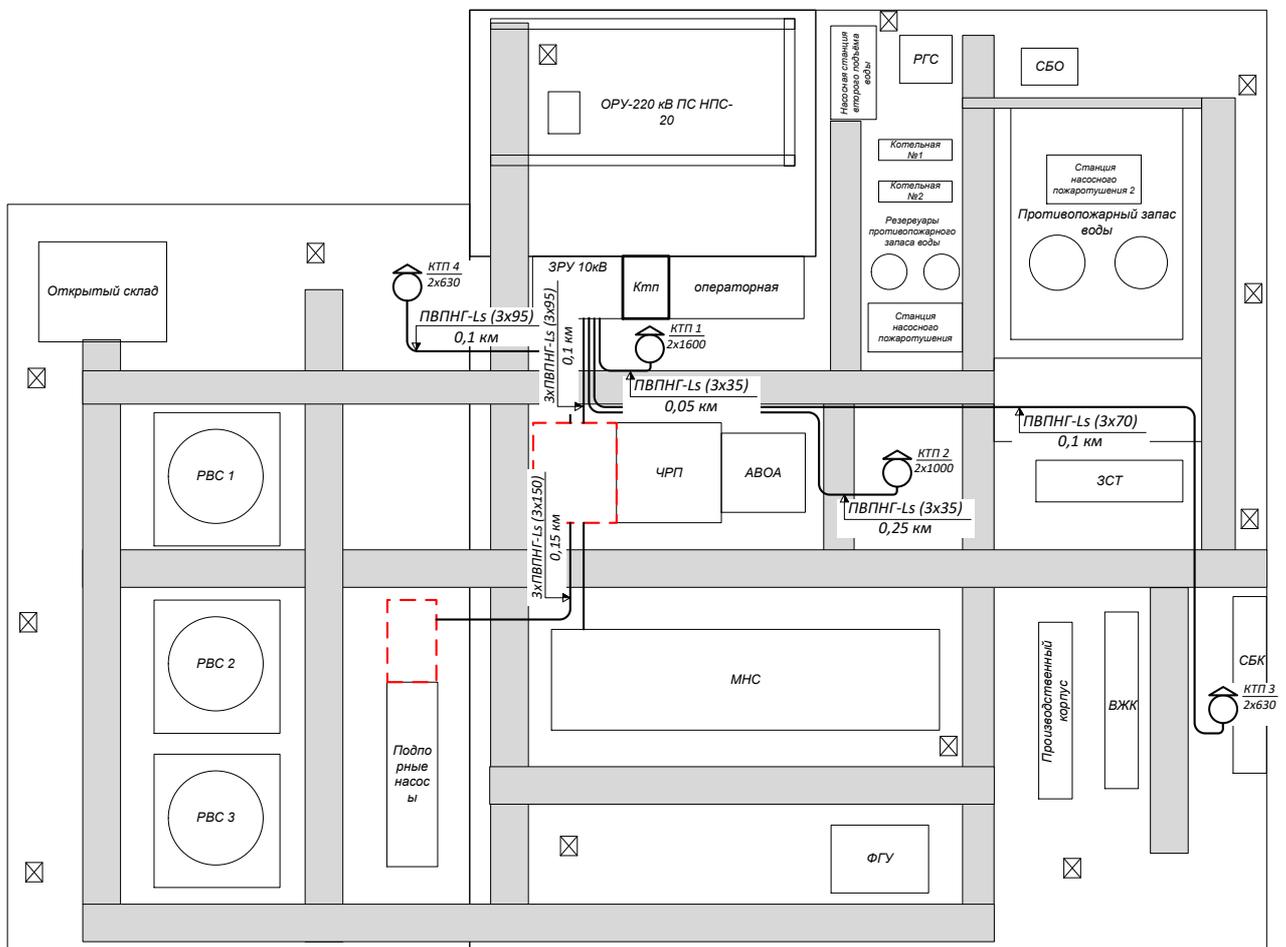


Рисунок 3 – Вариант схемы сети 10 кВ по радиальной схеме

На примере вычисления расчётного тока кабеля для питания трансформатора ЧРП показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [16], подходящей под требования данного расчёта:

$$I_{P_{\text{МАКС}}} = \frac{S_P}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot N_{\text{ц}}}, \quad (45)$$

$$I_{P_{\text{МАКС}}} = \frac{17000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 983 \text{ A},$$

где  $N_{\text{ц}}$  - количество цепей, 2:

Принимаем 3 кабеля ПвПнг-Лс сечением жил  $95 \text{ мм}^2$  3x95 с длительно допустимым током 336 А.

На примере вычисления допустимого тока кабеля для питания трансформатора ЧРП показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [12], подходящей под требования данного расчёта:

$$I_{\text{ДОП}} = I_{\text{ДОП СТАНД}} \cdot K_{\text{СН}} \cdot K_{\text{ПЕР}} \cdot K_{\text{ТЕМП}} , \quad (46)$$

$$I_{\text{ДОП}} = 0,93 \cdot 1,17 \cdot 0,94 \cdot 336 \cdot 3 = 1031 \text{ А},$$

где  $K_{\text{СН}}$  - коэффициент снижения токовой нагрузки, зависящий от количества кабелей траншее, принимается равный 0.93;

$K_{\text{ПЕР}}$  - для кабелей 10 кВ при прокладке в земле с учётом времени ликвидации аварии (6 часов) принимается 1.17;

$K_{\text{ТЕМП}}$  - температурный коэффициент, принимается 0,94.

На примере выбора кабеля для питания трансформатора ЧРП по нагреву показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [12], подходящей под требования данного расчёта:

$$I_{\text{р МАК}} \leq I_{\text{ДОП}} ,$$

$$983 \leq 1031 \text{ А}.$$

Условие выбора выполняется.

На примере вычисления нагрузки магистральной линии КТП-1-4-2-3 (вариант 2) показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [12], подходящей под требования данного расчёта:

$$S_{\text{р маг}} = K_{\text{с}} \cdot (S_{\text{р1}} + S_{\text{р2}} + S_{\text{р3}} + S_{\text{р4}}) \quad (47)$$

$$S_{\text{р маг}} = 0,9 \cdot (1870 + 1229 + 671 + 749) = 4373 \text{ кВА}.$$

где  $K_c$  - средний коэффициент спроса для питаемых потребителей.

Промежуточные вычисления тока кабелей 10 кВ НПС-20 представляют собой массив информации, которую имеет смысл разместить в виде полученных по исходным данным значений, таблица 10.

Таблица 10 – Выбор кабелей для электроснабжения корпусов

Наименование	$S_{р\text{ кл}}$ , кВА	$I_{р\text{ кл}}$ , А	$I_{\text{доп кл}}$ , А	$N_{ц}$
кабель питания трансформатора ЧРП	17000	983	17000	3
кабель питания двигателя насосов	14706	1389	14706	3
кабель питания КТП-1 (вариант №1)	1847	115	1847	2
кабель питания КТП-2 (вариант №1)	1214	76	1214	2
кабель питания КТП-3 (вариант №1)	659	41	659	2
кабель питания КТП-4 (вариант №1)	713	46	713	2
кабель питания КТП-1-4-2-3 (вариант №2)	4518	250	477	2
ВЛ до КТП 5-6	892	52	210	2

На примере вычисления потери напряжения магистральной линии КТП-1-4-2-3 (вариант 2) показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [12], подходящей под требования данного расчёта:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I_p \cdot l \cdot \frac{100}{U_n} \cdot (r_{уд} \cdot \cos \varphi), \quad (48)$$

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot 270 \cdot 0,8 \cdot \frac{100}{10000} \cdot (0,1 \cdot 0,9) = 0,7\%,$$

где  $\cos \varphi$  – средний коэффициента мощности питающего кабеля;

$l$  – длина кабельной линии, м;

$I_p$  – расчетный ток кабельной линии, А.

Расчёт проводим без учёта реактивного сопротивления линий.

На примере проверки по потери напряжения магистральной линии КТП-1-4-2-3 (вариант 2) показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [12], подходящей под требования данного расчёта:

$$\Delta U < \Delta U_{\text{доп}}, \quad (49)$$

$$0,7\% < 10\%,$$

где  $\Delta U_{\text{доп}}$  - допустимое медленное изменение напряжения, 10%, [30].

Промежуточные вычисления потери напряжения для кабелей 10 кВ НПС-20 представляют собой массив информации, которую имеет смысл разместить в виде полученных по исходным данным значений, таблица 11.

Таблица 11 – Проверка кабелей внутреннего электроснабжения

Наименование фидера 10 кВ	$K_c$	$S_{P_{\text{КЛ}}}$ , кВА	$I_{P_{\text{КЛ}}}$ , А	$N_{\text{ц}}$	$L$ , км	$\cos\varphi$	$R_{\text{КЛ}}$ , Ом/км	$\Delta U_{\text{КЛ}}$ , %	$\Delta U_{\text{КЛ}}$ , %
кабель питания трансформатора ЧРП	1	17000	983	3	0,1	1	0,193	0,7	нормально допустимая потеря напряжения 10%
кабель питания двигателя насосов	1	14706	1389	3	0,15	0,85	0,124	0,8	
кабель питания КТП-1 (вариант №1)	1	1847	115	2	0,05	0,93	0,524	0,1	
кабель питания КТП-2 (вариант №1)	1	1214	76	2	0,2	0,93	0,524	0,3	
кабель питания КТП-3 (вариант №1)	1	659	41	2	0,5	0,93	0,524	0,3	
кабель питания КТП-4 (вариант №1)	1	713	46	2	0,1	0,93	0,524	0,1	
кабель питания КТП-1-4-2-3 (вариант №2)	0,90	4373	270	2	0,8	0,93	0,1	0,7	
ВЛ до КТП 5-6	1	892	52	2	3	0,98	0,986	5,2	

Суммарная наибольшая потеря напряжения составляет 0,8%, что не превышает 10%, значит, выбранные сечения подходят.

## 8 РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ ЛИНИИ 10 кВ

Для питания потребителей 10 кВ НПС-20 выбраны кабельные линии при условии прокладки в блоках или открыто по территории НПС. Так как территория НПС является пожароопасной, то необходимо применение кабелей с медными жилами и негорючей изоляцией [18].

Кабели ПвВнг-LS не распространяют горение при групповой прокладке по категории А или В.

Дымообразование при горении и тлении кабелей не приводит к снижению светопрозрачности в испытательной камере более чем на 50 %.

Элементы конструкции кабеля показаны на рисунке 4.

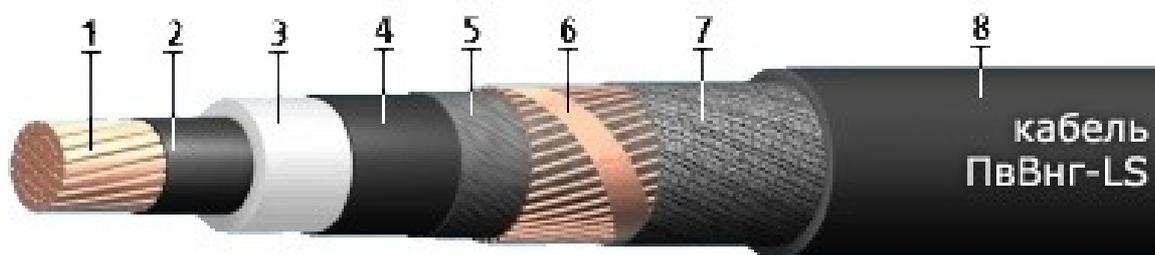


Рисунок 4 – Кабель ПвВнг-LS (1 - круглая многопроволочная уплотнённая токопроводящая жила из меди, 2 -экран по жиле из экструдированного полупроводящего сшитого полиэтилена; 3 - изоляция из сшитого полиэтилена (Пв); 4 - экран по изоляции из экструдированного полупроводящего сшитого полиэтилена; 5 - разделительный слой; 6 - экран из медных проволок, скреплённых медной лентой; 7 - разделительный слой из прорезиненной ткани или полимерной ленты, для кабелей категории "А" пожарной безопасности накладывается дополнительный слой из слюдосодержащей ленты; 8 - оболочка из ПВХ пластика пониженной пожароопасности.)

ВЛ-10 кВ для подключения КТП вахтового поселка выполняются проводом СИП-3 (3х35) на железобетонных опорах двухцепного исполнения.

## 9 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ СХЕМЫ СЕТИ 10 КВ

В данной ВКР применяется метод технико-экономического сравнения затрат на реконструкцию сетей 10 кВ НПС-20 по приведенным затратам. Затраты на сооружение КТП не учитываются, так как в обоих предлагаемых вариантах сети 10 кВ количество КТП не меняется.

На примере вычисления приведенных затрат для варианта реконструкции сетей 1 показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [15], подходящей под требования данного расчёта:

$$Z = E_H \cdot (K_{КЛ} + K_{ВЫКЛ}) + (a_{амкл} \cdot K_{КЛ} + a_{амвыкл} \cdot K_{ВЫКЛ}) + C_0 \cdot \Delta W_{КЛ} \cdot 10^{-3}, \quad (50)$$

$$Z = 0,1 \cdot (1200 + 791) + 0,059 \cdot 1200 + 0,005 \cdot 791 + 1,9 \cdot 39000 \cdot 10^{-3} = 393 \text{ тыс.руб.},$$

где  $E_H$  - норматив дисконтирования, 0,1 [15];

$K_{КЛ}$  - стоимость КЛ, тыс.руб.;

$K_{ВЫКЛ}$  - стоимость выключателей, тыс.руб.;

$C_0$  - удельная стоимость потерь электроэнергии, 1,9 руб/кВтч [10];

$a_{ам.выкл}$  - отчисления на амортизацию выключателей 10 кВ, 5,9%, [15];

$a_{ам.КЛ}$  - отчисления на амортизацию КЛ-10 кВ, 0,5%, [15];

$\Delta W_{КЛ}$  - потери электроэнергии в КЛ.

На примере вычисления потерь электроэнергии для кабеля питания КТП-1 (вариант №1) показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [15], подходящей под требования данного расчёта:

$$\Delta W_{КЛ} = \frac{(P_L)^2 + (Q_L)^2}{U_{ном}^2} \cdot r_{уд} \cdot l \cdot T, \quad (51)$$

$$\Delta W_{KL} = \frac{(1717)^2 + (739)^2}{10^2} \cdot 0,524 \cdot 0,05 \cdot 8760 = 9 \text{ тыс.кВтч,},$$

где  $P_L$  – потоки активной мощности по линии, МВт;

$Q_L$  – потоки реактивной мощности по линии, МВАр;

$T$  – число часов максимальных потерь.

Промежуточные вычисления приведенных затрат для вариантов сети 10 кВ НПС-20 представляют собой массив информации, которую имеет смысл разместить в виде полученных по исходным данным значений, таблица 12.

Таблица 12 - Выбор схемы электрических соединений для сети 10 кВ

№ Варианта		1	2
Количество выключателей 10 кВ, шт		8	2
Стоимость выключателя 10 кВ, тыс руб		150	150
Капиталовложения в выключатели, тыс руб		1200	300
Протяженность КЛ 10 кВ сечением, км	185	1,6	
	35		1,7
Стоимость кабеля сечением, тыс. руб./км	185	1046	
	35		465
Капиталовложения в линии 10 кВ, тыс руб		791	1674
Издержки на эксплуатацию и ремонт линий 10 кВ, тыс руб		3	7
Издержки на эксплуатацию и ремонт выключателей 10 кВ, тыс руб		71	18
Издержки на амортизацию электрооборудования, тыс руб		100	99
Потери электроэнергии, кВтч		39000	131000
Стоимость потерь электроэнергии, руб/кВтч		1,9	1,9
Издержки потерь электроэнергии, тыс руб		21	69
Приведенные затраты, тыс руб		393	389

В результате сравнения по приведенным затратам выявлено, что по приведенным затратам варианты оказались равноэкономичными, так как вариант №2 дешевле на 1%, чем вариант №1. Для дальнейшей разработки принимаем вариант №1 по минимальным потерям электроэнергии или издержкам на оплату потерь электроэнергии..

## 10 РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В СЕТИ 10 кВ

Для определения уровня токов КЗ в принятой схеме электроснабжения проведём расчет токов КЗ на шинах РУ-10 кВ, а также на каждой радиальной линии 10 кВ. Схема замещения для расчёта по каждой магистрали приведена на рисунке 5, [9].

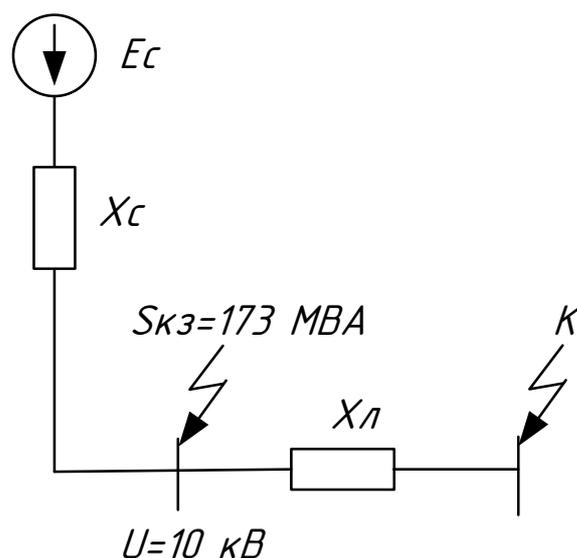


Рисунок 5 - Схема замещения участка 10 кВ

На примере вычисления сопротивления системы для шин 10 кВ показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [9], подходящей под требования данного расчёта:

$$X_c = \frac{U_{ep}^2}{\sqrt{3} \cdot S_{сист}}; \quad (52)$$

$$X_c = \frac{10,5^2}{\sqrt{3} \cdot 173} = 0,37 \text{ Ом};$$

где  $S_{сист}$  – мощность КЗ системы, ожидаемая величина равна 173 МВА.

Реактивное сопротивление кабеля больше чем в 3 раза активного сопротивления ( $R_{кл}=0,05$  Ом/км), поэтому согласно [9] при расчёте учитывается только реактивное сопротивление кабелей.

На примере вычисления сопротивления кабеля 10 кВ питания трансформаторов ЧРП показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [9], подходящей под требования данного расчёта:

$$X_{кл} = \frac{r_{y\partial}}{N_y} \cdot L, \quad (53)$$

$$X_{кл} = \frac{0,193}{1} \cdot 0,1 = 0,02 \text{ Ом},$$

На примере вычисления периодической составляющей тока короткого замыкания на стороне 10 кВ трансформаторов ЧРП показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [9], подходящей под требования данного расчёта:

$$I_{no} = \frac{U_{срнн}}{\sqrt{3} \cdot X_{\Sigma}} = \frac{U_{срнн}}{\sqrt{3} \cdot (X_{кл} + X_c)}, \quad (54)$$

$$I_{no} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot (0,37 + 0,02)} = 16,45 \text{ кА}.$$

\

На примере вычисления тока двухфазного короткого замыкания на стороне 10 кВ трансформаторов ЧРП показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [9], подходящей под требования данного расчёта:

$$I_{no}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{no}^{(3)}, \quad (55)$$

$$I_{no}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 16,45 = 14,31 \text{ кА.}$$

На примере вычисления постоянной затухания аperiodической составляющей тока короткого замыкания на стороне 10 кВ трансформаторов ЧРП показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [9], подходящей под требования данного расчёта:

$$T_a = \frac{X_\Sigma}{R_\Sigma \cdot 314}, \quad (56)$$

$$T_a = \frac{0,37}{0,02 \cdot 314} = 0,06 \text{ с.}$$

На примере вычисления коэффициента затухания аperiodической составляющей тока короткого замыкания на стороне 10 кВ трансформаторов ЧРП показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [9], подходящей под требования данного расчёта:

$$K_{y\partial} = 1 + e^{-\frac{0,01}{T_a}}; \quad (57)$$

$$K_{y\partial} = 1 + e^{-\frac{0,01}{0,06}} = 1,85.$$

На примере вычисления ударного тока короткого замыкания на стороне 10 кВ трансформаторов ЧРП показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [9], подходящей под требования данного расчёта:

$$i_{y\partial} = K_{y\partial} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{no}; \quad (58)$$

$$i_{y\partial} = 1,85 \cdot 1,41 \cdot 16,45 = 43 \text{ кА.}$$

Промежуточные вычисления токов КЗ в сети 10 кВ НПС-20 представляют собой массив информации, которую имеет смысл разместить в виде полученных по исходным данным значений, таблица 13.

Таблица 13 – Результаты расчетов токов КЗ в сети 10 кВ

Линия	Длина, км	X <sub>каб</sub> , Ом	X <sub>с</sub> , Ом	I <sup>(3)</sup> <sub>по</sub> , кА	I <sup>(2)</sup> <sub>по</sub> , кА	T, с	K <sub>уд</sub>	I <sub>уд</sub> , кА
кабель питания трансформатора ЧРП	0,10	0,02	0,37	16,45	14,31	0,06	1,85	43,01
кабель питания двигателя насосов	0,15	0,02	0,37	16,46	14,32	0,06	1,85	43,13
кабель питания КТП-1 (вариант №1)	0,05	0,03	0,37	16,43	14,30	0,04	1,80	41,83
кабель питания КТП-2 (вариант №1)	0,20	0,10	0,37	15,85	13,79	0,01	1,41	31,58
кабель питания КТП-3 (вариант №1)	0,50	0,26	0,37	13,43	11,68	0,00	1,11	21,02
кабель питания КТП-4 (вариант №1)	0,10	0,05	0,37	16,31	14,19	0,02	1,64	37,83
кабель питания КТП-1 (вариант №1)	0,05	0,02	0,37	16,45	14,31	0,06	1,85	43,01
ВЛ до КТП 5-6	3	0,1	0,37	2,04	1,77	0,0004	1,00	2,88

## 11 ПРОВЕРКА ВЫБРАННЫХ СЕЧЕНИЙ КАБЕЛЬНЫХ И ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ НАПРЯЖЕНИЕМ 10 КВ НА ВОЗДЕЙСТВИЕ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

На примере вычисления расчётного времени теплового импульса на стороне 10 кВ трансформаторов ЧРП показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [9], подходящей под требования данного расчёта:

$$t_n = t_с + t_{сст} ; \quad (59)$$

$$t_n = 0,055 + 0,1 = 0,155 \text{ с};$$

$t_с$  - времени отключения выключателя, 0,055с;

$t_{сст}$  - ступень селективности, 0,1 с.

На примере вычисления расчётного теплового импульса кабеля 10 кВ питания трансформаторов ЧРП показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [9], подходящей под требования данного расчёта:

$$B_{KP} = I_K^2 \cdot t_n , \quad (60)$$

$$B_{KP} = 16,45^2 \cdot 0,155 = 42 \text{ кА}^2\text{с};$$

где  $I_K$  - ток трехфазного короткого замыкания на стороне 10 кВ трансформаторов ЧРП, кА.

На примере вычисления номинального теплового импульса кабеля 10 кВ питания трансформаторов ЧРП показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [9], подходящей под требования данного расчёта:

$$B_{\text{Кном}} = I_{\text{терм}}^2 \cdot t_{\text{терм}}, \quad (61)$$

$$B_{\text{Кном}} = 6^2 \cdot 3 = 108 \text{ кА}^2\text{с};$$

где  $I_{\text{терм}}$  - ток термической стойкости кабеля ПвВнг-LS 3х95, 6 кА;

$t_{\text{терм}}$  - время стойкости кабеля ПвВнг-LS при КЗ, 3 с.

На примере проверки термической стойкости кабеля 10 кВ питания трансформаторов ЧРП показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [9], подходящей под требования данного расчёта:

$$B_{\text{Кном}} \geq B_{\text{КР}}; \quad (62)$$

$$108 \text{ кА}^2\text{с} \geq 42 \text{ кА}^2\text{с}.$$

Термическая стойкость кабеля 10 кВ питания трансформаторов ЧРП ПвВнг-LS 3х95 обеспечивается.

Промежуточные вычисления для проверки термической стойкости кабелей 10 кВ НПС-20 представляют собой массив информации, которую имеет смысл разместить в виде полученных по исходным данным значений, таблица 14.

Таблица 14 – Проверка КЛ-10 кВ

Линия	$I_{\text{по}}^{(3)}$ , кА	$t_{\text{п}}$ , с	Вкр, кА <sup>2</sup> ·с	F <sub>факт</sub> , мм <sup>2</sup>	Вкном, кА <sup>2</sup> ·с
1	2	3	4	5	6
кабель питания трансформатора ЧРП	16,45	0,155	42,0	95	108
кабель питания двигателя насосов	16,46	0,155	42,0	150	300
кабель питания КТП-1 (вариант №1)	16,43	0,155	41,9	35	48
кабель питания КТП-2 (вариант №1)	15,85	0,155	38,9	35	48

Продолжение таблицы 14

1	2	3	4	5	6
кабель питания КТП-3 (вариант №1)	13,43	0,155	27,9	35	48
кабель питания КТП-4 (вариант №1)	16,31	0,155	41,2	35	48
кабель питания КТП-1 (вариант №1)	16,45	0,155	42,0	35	48
ВЛ КТП 5-6	2,04	0,655	2,7	35	48

Анализируя данные таблицы 9, видно, что все КЛ удовлетворяют условию по термической стойкости к току КЗ.

## 12 ВЫБОР ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ 10 кВ ПОДСТАНЦИИ НПС-20

### 12.1 Выбор КРУ

На стороне 10 кВ НПС-20 выбираем КРУ К-63 (Общество с ограниченной ответственностью «Новосибирский Электротехнический Завод»).

На примере выбора КРУ 10 кВ для КЛ-10 кВ питания трансформаторов ЧРП по напряжению подключения показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [28], подходящей под требования данного расчёта:

$$U_{уст} \leq U_{ном}; \quad (63)$$

$$10 \text{ кВ} \leq 12,5 \text{ кВ}.$$

На примере выбора КРУ 10 кВ для КЛ-10 кВ питания трансформаторов ЧРП по току главных цепей показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [28], подходящей под требования данного расчёта:

$$I_{ном} \geq I_{рmax}, \quad (64)$$

$$1250 \text{ А} \geq 938 \text{ А}.$$

На примере вычисления расчётного времени теплового импульса КРУ 10 кВ для КЛ-10 кВ питания трансформаторов ЧРП показывается подробный порядок применения расчётной формулы:

$$t_n = t_g + t_{сет}; \quad (65)$$

$$t_n = 0,055 + 1 = 1,055 \text{ с};$$

$t_e$  - времени отключения выключателя, 0,055с;

$t_{сел}$  - ступень селективности, 1,0 с.

На примере вычисления расчётного теплового импульса КРУ 10 кВ для КЛ-10 кВ питания трансформаторов ЧРП показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [28], подходящей под требования данного расчёта:

$$B_{KP} = I_K^2 \cdot t_n, \quad (66)$$

$$B_{KP} = 16,45^2 \cdot 1,055 = 286 \text{ кА}^2\text{с};$$

где  $I_K$  - ток трехфазного короткого замыкания на стороне 10 кВ трансформаторов ЧРП, кА.

На примере вычисления номинального теплового импульса КРУ 10 кВ для КЛ-10 кВ питания трансформаторов ЧРП показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [28], подходящей под требования данного расчёта:

$$B_{Kном} = I_{терм}^2 \cdot t_{терм}, \quad (67)$$

$$B_{Kном} = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2\text{с};$$

где  $I_{терм}$  - ток термической стойкости КРУ К-63, 20 кА;

$t_{терм}$  - время стойкости КРУ К-63 при КЗ, 3 с.

На примере проверки термической стойкости КРУ 10 кВ для КЛ-10 кВ питания трансформаторов ЧРП показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [28], подходящей под требования данного расчёта:

$$B_{\text{ном}} \geq B_{\text{кр}};$$

$$1200 \text{ кА}^2\text{с} \geq 286 \text{ кА}^2\text{с}.$$

На примере проверки электродинамической стойкости КРУ 10 кВ для КЛ-10 кВ питания трансформаторов ЧРП показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [28], подходящей под требования данного расчёта:

$$i_{\text{уд}} \leq i_{\text{скв}}; \quad (68)$$

$$43 \text{ кА} \leq 50 \text{ кА}.$$

Промежуточные вычисления для выбора и проверки КРУ для КЛ-10 кВ НПС-20 представляют собой массив информации, которую имеет смысл разместить в виде полученных по исходным данным значений, таблица 15.

Таблица 15 – Выбор и проверка КРУ-10 кВ НПС-20

Технические параметры	Расчётные параметры	Условия выбора/проверки
<b>трансформаторы ЧРП</b>		
$U_{\text{ном}} = 12,5 \text{ кВ}$ $I_{\text{ном}} = 1250 \text{ А}$ $i_{\text{скв}} = 50 \text{ кА}$ $B_{\text{к.ном}} = 1200 \text{ кА}^2\text{с}$	$U_{\text{уст}} = 10 \text{ кВ}$ $I_{\text{рmax}} = 983 \text{ А}$ $i_{\text{уд}} = 43 \text{ кА}$ $B_{\text{к.}} = 286 \text{ кА}^2\text{с}$	$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{уст}}$ $I_{\text{ном}} \geq I_{\text{рmax}}$ $i_{\text{скв}} \geq i_{\text{уд}}$ $B_{\text{к.ном}} \geq B_{\text{к}}$
<b>линейные ячейки КТП</b>		
$U_{\text{ном}} = 12,5 \text{ кВ}$ $I_{\text{ном}} = 630 \text{ А}$ $i_{\text{скв}} = 50 \text{ кА}$ $B_{\text{к.ном}} = 1200 \text{ кА}^2\text{с}$	$U_{\text{уст}} = 10 \text{ кВ}$ $I_{\text{рmax}} = 115 \text{ А}$ $i_{\text{уд}} = 41,8 \text{ кА}$ $B_{\text{к.}} = 285 \text{ кА}^2\text{с}$	$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{уст}}$ $I_{\text{ном}} \geq I_{\text{рmax}}$ $i_{\text{скв}} \geq i_{\text{уд}}$ $B_{\text{к.ном}} \geq B_{\text{к}}$

## 12.2 Выбор выключателей

На стороне 10 кВ выбираем КРУ К-63 с вакуумными выключателями типа ВВ/Te1-10–20-20/1000УХЛ2 – для ячейки питания трансформаторов ЧРП. На

ячейках питания КТП устанавливаем выключатели такой же марки, но с другим номинальным током - ВВ/Тел-10–12,5-20/630УХЛ2.

На примере выбора выключателей 10 кВ для КЛ-10 кВ питания трансформаторов ЧРП по напряжению подключения показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [28], подходящей под требования данного расчёта:

$$U_{уст} \leq U_{ном};$$

$$10 \text{ кВ} \leq 12,5 \text{ кВ}.$$

На примере выбора выключателей 10 кВ для КЛ-10 кВ питания трансформаторов ЧРП по току главных цепей показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [28], подходящей под требования данного расчёта:

$$I_{ном} \geq I_{рmax},$$

$$1250 \text{ А} \geq 938 \text{ А}.$$

На примере вычисления расчётного времени теплового импульса выключателей 10 кВ для КЛ-10 кВ питания трансформаторов ЧРП показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [28], подходящей под требования данного расчёта:

$$t_n = t_g + t_{сеп};$$

$$t_n = 0,055 + 1 = 1,055 \text{ с};$$

$t_e$  - времени отключения выключателя, 0,055с;

$t_{сел}$  - ступень селективности, 1,0 с.

На примере вычисления расчётного теплового импульса выключателей 10 кВ для КЛ-10 кВ питания трансформаторов ЧРП показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [28], подходящей под требования данного расчёта:

$$B_{KP} = I_K^2 \cdot t_n, \quad (69)$$

$$B_{KP} = 16,45^2 \cdot 1,055 = 286 \text{ кА}^2\text{с};$$

где  $I_K$  - ток трехфазного короткого замыкания на стороне 10 кВ трансформаторов ЧРП, кА.

На примере вычисления номинального теплового импульса выключателей 10 кВ для КЛ-10 кВ питания трансформаторов ЧРП показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [28], подходящей под требования данного расчёта:

$$B_{Kном} = I_{терм}^2 \cdot t_{терм}, \quad (70)$$

$$B_{Kном} = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2\text{с};$$

где  $I_{терм}$  - ток термической стойкости выключателя ВВ/Тел, 20 кА;

$t_{терм}$  - время стойкости выключателя ВВ/Тел при КЗ, 3 с.

На примере проверки термической стойкости выключателей 10 кВ для КЛ-10 кВ питания трансформаторов ЧРП показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [28], подходящей под требования данного расчёта:

$$B_{\text{Кном}} \geq B_{\text{КР}};$$

$$1200 \text{ кА}^2\text{с} \geq 286 \text{ кА}^2\text{с}.$$

На примере проверки электродинамической стойкости выключателей 10 кВ для КЛ-10 кВ питания трансформаторов ЧРП показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [28], подходящей под требования данного расчёта:

$$i_{\text{уд}} \leq i_{\text{скв}}; \quad (71)$$

$$43 \text{ кА} \leq 50 \text{ кА}.$$

На примере проверки выключателей 10 кВ для КЛ-10 кВ питания трансформаторов ЧРП по отключению периодической составляющей тока КЗ показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [28], подходящей под требования данного расчёта:

$$I_{\text{вкл}} \geq I_{\text{по}}, \quad (72)$$

$$20 \text{ кА} \geq 16,45 \text{ кА}.$$

На примере вычисления номинальной апериодической составляющей выключателей 10 кВ для КЛ-10 кВ питания трансформаторов ЧРП показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [28], подходящей под требования данного расчёта:

$$i_{\text{а.ном}} = \sqrt{2} \cdot \beta_{\text{н}} \cdot I_{\text{ном откл}}, \quad (73)$$

$$i_{a,ном} = \sqrt{2} \cdot 0.4 \cdot 20 = 11.31 \text{ кА},$$

где  $\beta_n$  – содержание аperiodической составляющей в отключаемом токе выключателя ВВ/Тел, 40%;

$I_{ном откл}$  – номинальный ток отключения выключателя ВВ/Тел, 20 кА.

На примере проверки выключателей 10 кВ для КЛ-10 кВ питания трансформаторов ЧРП по отключению аperiodической составляющей тока КЗ показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [28], подходящей под требования данного расчёта:

$$i_{a,ном} \geq i_{at}, \quad (74)$$

$$11,31 \text{ кА} \geq 5,1 \text{ кА}.$$

На примере проверки выключателей 10 кВ для КЛ-10 кВ питания трансформаторов ЧРП по отключению полного тока КЗ показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [28], подходящей под требования данного расчёта:

$$\sqrt{2} \cdot I_{(3)} + i_{at} \leq \sqrt{2} \cdot I_{откл} \cdot \left(1 + \frac{\beta_i}{100}\right); \quad (75)$$

$$\sqrt{2} \cdot 16,45 + 16,45 \cdot 0,54 \leq \sqrt{2} \cdot 20 \cdot \left(1 + \frac{0,40}{100}\right);$$

$$32,1 \leq 39,59 \text{ кА}.$$

Промежуточные вычисления для выбора и проверки выключателей 10 кВ НПС-20 представляют собой массив информации, которую имеет смысл разместить в виде полученных по исходным данным значений, таблица 16.

Таблица 16 – Выбор и проверка выключателей 10 кВ НПС-20

Технические параметры	Расчётные параметры	Условия выбора/проверки
<b>трансформаторы ЧРП</b>		
$U_{НОМ} = 12,5 \text{ кВ}$ $I_{НОМ} = 1250 \text{ А}$ $i_{скв} = 50 \text{ кА}$ $B_{к.НОМ} = 1200 \text{ кА}^2\text{с}$ $I_{ВКЛ} = 20 \text{ кА}$ $I_{ОТКЛ} = 20 \text{ кА}$ $i_{а.НОМ} = 11,31 \text{ кА}$	$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$ $I_{рmax} = 983 \text{ А}$ $i_{y\delta} = 43 \text{ кА}$ $B_{к.} = 286 \text{ кА}^2\text{с}$ $I_{по} = 16,45 \text{ кА}$ $I_{пт} = 16,45 \text{ кА}$ $i_{at} = 5,1 \text{ кА}$	$U_{НОМ} \geq U_{уст}$ $I_{НОМ} \geq I_{рmax}$ $i_{скв} \geq i_{y\delta}$ $B_{к.НОМ} \geq B_{к.}$ $I_{ВКЛ} \geq I_{по}$ $I_{ОТКЛ} \geq I_{пт}$ $i_{а.НОМ} \geq i_{at}$
<b>линейные ячейки КТП</b>		
$U_{НОМ} = 12,5 \text{ кВ}$ $I_{НОМ} = 630 \text{ А}$ $i_{скв} = 50 \text{ кА}$ $B_{к.НОМ} = 1200 \text{ кА}^2\text{с}$ $I_{ВКЛ} = 20 \text{ кА}$ $I_{ОТКЛ} = 20 \text{ кА}$ $i_{а.НОМ} = 11,31 \text{ кА}$	$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$ $I_{рmax} = 115 \text{ А}$ $i_{y\delta} = 41,8 \text{ кА}$ $B_{к.} = 285 \text{ кА}^2\text{с}$ $I_{по} = 16,43 \text{ кА}$ $I_{пт} = 16,43 \text{ кА}$ $i_{at} = 5,1 \text{ кА}$	$U_{НОМ} \geq U_{уст}$ $I_{НОМ} \geq I_{рmax}$ $i_{скв} \geq i_{y\delta}$ $B_{к.НОМ} \geq B_{к.}$ $I_{ВКЛ} \geq I_{по}$ $I_{ОТКЛ} \geq I_{пт}$ $i_{а.НОМ} \geq i_{at}$

### 12.3 Выбор разъединителей

Выбираем на стороне 10 кВ секционный разъединитель РВ-1-10\630.

На примере выбора секционного разъединителя КРУ 10 кВ по напряжению подключения показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [28], подходящей под требования данного расчёта:

$$U_{уст} \leq U_{НОМ};$$

$$10 \text{ кВ} \leq 12,5 \text{ кВ}.$$

На примере вычисления максимального рабочего тока трансформаторов 220/10 кВ НПС-20 показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [28], подходящей под требования данного расчёта:

$$I_{раб.мак} = \frac{S_{т.ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}},$$

$$I_{\text{раб.мак}} = \frac{40000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 2312 \text{ А.}$$

На примере выбора секционного разъединителя КРУ 10 кВ по току главных цепей показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [28], подходящей под требования данного расчёта:

$$I_{\text{НОМ}} \geq I_{\text{рmax}},$$

$$2500 \text{ А} \geq 2312 \text{ А.}$$

На примере вычисления расчётного времени теплового импульса секционного разъединителя КРУ 10 кВ показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [28], подходящей под требования данного расчёта:

$$t_n = t_e + t_{\text{сел}} ;$$

$$t_n = 0,055 + 1 = 1,055 \text{ с;}$$

$t_e$  - времени отключения выключателя, 0,055с;

$t_{\text{сел}}$  - ступень селективности, 1,0 с.

На примере вычисления расчётного теплового импульса секционного разъединителя КРУ 10 кВ показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [28], подходящей под требования данного расчёта:

$$B_{\text{КР}} = I_{\text{К}}^2 \cdot t_n ,$$

$$B_{\text{КР}} = 16,45^2 \cdot 1,055 = 286 \text{ кА}^2\text{с;}$$

где  $I_k$  - ток трехфазного короткого замыкания на стороне 10 кВ трансформаторов ЧРП, кА.

На примере вычисления номинального теплового импульса секционного разъединителя КРУ 10 кВ показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [28], подходящей под требования данного расчёта:

$$B_{\text{Кном}} = I_{\text{терм}}^2 \cdot t_{\text{терм}},$$

$$B_{\text{Кном}} = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2\text{с};$$

где  $I_{\text{терм}}$  - ток термической стойкости КРУ К-63, 20 кА;

$t_{\text{терм}}$  - время стойкости КРУ К-63 при КЗ, 3 с.

На примере проверки термической стойкости секционного разъединителя КРУ 10 кВ показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [10], подходящей под требования данного расчёта:

$$B_{\text{Кном}} \geq B_{\text{КР}};$$

$$1200 \text{ кА}^2\text{с} \geq 286 \text{ кА}^2\text{с}.$$

На примере проверки электродинамической стойкости секционного разъединителя КРУ 10 кВ показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [28], подходящей под требования данного расчёта:

$$i_{\text{уд}} \leq i_{\text{скв}};$$

$$43 \text{ кА} \leq 50 \text{ кА}.$$

Промежуточные вычисления для выбора и проверки секционного разъединителя КРУ 10 кВ представляют собой массив информации, которую имеет смысл разместить в виде полученных по исходным данным значений, таблица 17.

Таблица 17 – Выбор и проверка секционного разъединителя КРУ 10 кВ НПС-20

Технические параметры	Расчётные параметры	Условия выбора/проверки
$U_{\text{НОМ}} = 12,5 \text{ кВ}$ $I_{\text{НОМ}} = 2500 \text{ А}$ $i_{\text{скв}} = 50 \text{ кА}$ $B_{\text{к.НОМ}} = 1200 \text{ кА}^2\text{с}$	$U_{\text{уст}} = 10 \text{ кВ}$ $I_{\text{рmax}} = 2312 \text{ А}$ $i_{\text{уд}} = 43 \text{ кА}$ $B_{\text{к.}} = 286 \text{ кА}^2\text{с}$	$U_{\text{НОМ}} \geq U_{\text{уст}}$ $I_{\text{НОМ}} \geq I_{\text{рmax}}$ $i_{\text{скв}} \geq i_{\text{уд}}$ $B_{\text{к.НОМ}} \geq B_{\text{к}}$

#### 12.4 Выбор трансформаторов тока

Выберем марку трансформатора тока ТОЛ 10 - 1.

На примере выбора трансформаторов тока 10 кВ для КЛ-10 кВ питания трансформаторов ЧРП по напряжению подключения показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [28], подходящей под требования данного расчёта:

$$U_{\text{уст}} \leq U_{\text{НОМ}};$$

$$10 \text{ кВ} \leq 12,5 \text{ кВ.}$$

На примере выбора трансформаторов тока 10 кВ для КЛ-10 кВ питания трансформаторов ЧРП по току главных цепей показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [28], подходящей под требования данного расчёта:

$$I_{\text{НОМ}} \geq I_{\text{рmax}},$$

$$1000 \text{ А} \geq 938 \text{ А.}$$

На примере вычисления расчётного времени теплового импульса трансформаторов тока 10 кВ для КЛ-10 кВ питания трансформаторов ЧРП показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [28], подходящей под требования данного расчёта:

$$t_n = t_g + t_{сел} ;$$

$$t_n = 0,055 + 1 = 1,055 \text{ с};$$

$t_g$  - времени отключения выключателя, 0,055с;

$t_{сел}$  - ступень селективности, 1,0 с.

На примере вычисления расчётного теплового импульса трансформаторов тока 10 кВ для КЛ-10 кВ питания трансформаторов ЧРП показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [28], подходящей под требования данного расчёта:

$$B_{KP} = I_K^2 \cdot t_n ,$$

$$B_{KP} = 16,45^2 \cdot 1,055 = 286 \text{ кА}^2\text{с};$$

где  $I_K$  - ток трехфазного короткого замыкания на стороне 10 кВ трансформаторов ЧРП, кА.

На примере вычисления номинального теплового импульса трансформаторов тока 10 кВ для КЛ-10 кВ питания трансформаторов ЧРП показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [28], подходящей под требования данного расчёта:

$$B_{Кном} = I_{терм}^2 \cdot t_{терм} ,$$

$$B_{\text{Кном}} = 16^2 \cdot 3 = 768 \text{ кА}^2\text{с};$$

где  $I_{\text{терм}}$  - ток термической стойкости трансформаторов тока ТОЛ-10-1, 16 кА;

$t_{\text{терм}}$  - время стойкости трансформаторов тока ТОЛ-10-1 при КЗ, 3 с.

На примере проверки термической стойкости трансформаторов тока 10 кВ для КЛ-10 кВ питания трансформаторов ЧРП показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [28], подходящей под требования данного расчёта:

$$B_{\text{Кном}} \geq B_{\text{КР}};$$

$$768 \text{ кА}^2\text{с} \geq 286 \text{ кА}^2\text{с}.$$

На примере проверки электродинамической стойкости трансформаторов тока 10 кВ для КЛ-10 кВ питания трансформаторов ЧРП показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [28], подходящей под требования данного расчёта:

$$i_{\text{уд}} \leq i_{\text{скв}};$$

$$43 \text{ кА} \leq 81 \text{ кА}.$$

Вторичная нагрузка трансформаторов тока 10 кВ устанавливаемых в линейных ячейках КРУ 10 кВ состоит из подключенных во вторичную цепь амперметра РА-355 и счетчика электроэнергии ЕвроАльфа (Альфа А1600), нагрузка приборов при это складывается как:

- Фаза А – счетчик электроэнергии 1 x 1,24 ВА;

- Фаза В – амперметр 1 x 0,5 ВА; счетчик электроэнергии 1 x 1,24 ВА;
- Фаза С – счетчик электроэнергии 1 x 1,24 ВА.

На примере вычисления общего сопротивления приборов вторичных цепей трансформаторов тока 10 кВ показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [28], подходящей под требования данного расчёта:

$$r_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{I_2^2}, \quad (76)$$

$$r_{\text{приб}} = \frac{1.74}{5^2} = 0.07 \text{ Ом.}$$

где  $S_{\text{ПРИБ}}$  – мощность, потребляемая приборами, 1,74 ВА;

$I_2$  – вторичный номинальный ток трансформаторов тока ТОЛ-10-1, 5 А.

На примере вычисления номинального сопротивления вторичной обмотки трансформаторов тока 10 кВ показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [28], подходящей под требования данного расчёта:

$$R_{2Н} = \frac{S_{2Н}}{I_2^2}, \quad (77)$$

$$R_{2Н} = \frac{12.5}{5^2} = 0.5 \text{ Ом.}$$

где  $S_{2Н}$  - мощность вторичной обмотки трансформаторов тока ТОЛ-10-1, 12.5 ВА.

На примере вычисления сопротивления проводов коммутации вторичной обмотки трансформаторов тока 10 кВ показывается подробный порядок приме-

нения расчётной формулы, взятой в [28], подходящей под требования данного расчёта:

$$r_{\text{пр}} = \frac{\rho \cdot l}{q}, \quad (77)$$

$$r_{\text{пр}} = \frac{0.0283 \cdot 5}{4} = 0.035 \text{ Ом},$$

где  $q$  - сечение проводов коммутации,  $4 \text{ мм}^2$ ;

$\rho$  – удельное погонное сопротивление проводов коммутации,  $0,0283 \text{ Ом} \cdot \text{м}/\text{мм}^2$ ;

$l$  - длина проводов коммутации,  $5 \text{ м}$ .

На примере вычисления сопротивления нагрузки вторичной обмотки трансформаторов тока  $10 \text{ кВ}$  показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [28], подходящей под требования данного расчёта:

$$r_2 = r_{\text{конт}} + r_{\text{пров}} + r_{\text{приб}}, \quad (78)$$

$$r_2 = 0.1 + 0.035 + 0.07 = 0.21 \text{ Ом},$$

где  $r_{\text{конт}}$  - сопротивление контактов,  $0.1 \text{ Ом}$ .

На примере проверки вторичной нагрузки трансформаторов тока  $10 \text{ кВ}$  для КЛ- $10 \text{ кВ}$  питания трансформаторов ЧРП показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [28], подходящей под требования данного расчёта:

$$r_2 \leq R_{2\text{н}}, \quad (79)$$

$$0,21 \text{ Ом} \leq 0,4 \text{ Ом},$$

Промежуточные вычисления для выбора и проверки трансформаторов тока для КЛ-10 кВ НПС-20 представляют собой массив информации, которую имеет смысл разместить в виде полученных по исходным данным значений, таблица 18.

Таблица 18 – Выбор и проверка трансформаторов тока 10 кВ НПС-20

Технические параметры	Расчётные параметры	Условия выбора/проверки
<b>трансформаторы ЧРП</b>		
$U_{\text{НОМ}} = 12,5 \text{ кВ}$ $I_{\text{НОМ}} = 1000 \text{ А}$ $i_{\text{скв}} = 81 \text{ кА}$ $B_{\text{к.НОМ}} = 768 \text{ кА}^2\text{с}$ $R_{2\text{Н}} = 0,4 \text{ Ом}$	$U_{\text{уст}} = 10 \text{ кВ}$ $I_{\text{рmax}} = 983 \text{ А}$ $i_{\text{уд}} = 43 \text{ кА}$ $B_{\text{к.}} = 286 \text{ кА}^2\text{с}$ $r_2 = 0,21 \text{ Ом}$	$U_{\text{НОМ}} \geq U_{\text{уст}}$ $I_{\text{НОМ}} \geq I_{\text{рmax}}$ $i_{\text{скв}} \geq i_{\text{уд}}$ $B_{\text{к.НОМ}} \geq B_{\text{к}}$ $r_2 \leq R_{2\text{Н}}$
<b>линейные ячейки КТП</b>		
$U_{\text{НОМ}} = 12,5 \text{ кВ}$ $I_{\text{НОМ}} = 200 \text{ А}$ $I_{\text{НОМ}} = 100 \text{ А}$ $I_{\text{НОМ}} = 50 \text{ А}$ $I_{\text{НОМ}} = 50 \text{ А}$ $i_{\text{скв}} = 81 \text{ кА}$ $B_{\text{к.НОМ}} = 768 \text{ кА}^2\text{с}$ $R_{2\text{Н}} = 0,4 \text{ Ом}$	$U_{\text{уст}} = 10 \text{ кВ}$ $I_{\text{рmax}} = 115 \text{ А}$ $I_{\text{рmax}} = 76 \text{ А}$ $I_{\text{рmax}} = 41 \text{ А}$ $I_{\text{рmax}} = 46 \text{ А}$ $i_{\text{уд}} = 41,8 \text{ кА}$ $B_{\text{к.}} = 285 \text{ кА}^2\text{с}$ $r_2 = 0,21 \text{ Ом}$	$U_{\text{НОМ}} \geq U_{\text{уст}}$ $I_{\text{НОМ}} \geq I_{\text{рmax}}$  $i_{\text{скв}} \geq i_{\text{уд}}$ $B_{\text{к.НОМ}} \geq B_{\text{к}}$ $r_2 \leq R_{2\text{Н}}$

### 12.5 Выбор трансформатора напряжения

Выбирается трансформатор напряжения НАМИ-10У3.

На примере выбора трансформаторов напряжения 10 кВ по напряжению подключения показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [28], подходящей под требования данного расчёта:

$$U_{\text{уст}} \leq U_{\text{НОМ}};$$

$$10 \text{ кВ} \leq 12,5 \text{ кВ}.$$

Вторичная нагрузка трансформаторов напряжения 10 кВ устанавливаемых в ячейках КРУ 10 кВ состоит из подключенных во вторичную цепь вольтметра ЗВ0702, вольтметра с переключением регистрирующего Н3095 и счетчика электроэнергии ЕвроАльфа (Альфа А1600), нагрузка приборов при это складывается как:

- счетчик электроэнергии 5 x 3,6 Вт(8 Вар);
- вольтметр 1 x 2 Вт;
- вольтметр с переключением регистрирующий 1 x 12 Вт.

На примере вычисления сопротивления нагрузки вторичной обмотки трансформаторов напряжения 10 кВ показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [10], подходящей под требования данного расчёта:

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{P_{\text{приб}}^2 + Q_{\text{приб}}^2} ; \quad (80)$$

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{32^2 + 40^2} = 51 \text{ ВА.}$$

На примере проверки вторичной нагрузки трансформаторов напряжения 10 кВ показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [10], подходящей под требования данного расчёта:

$$S_{2\Sigma} \leq S_{\text{ном}} , \quad (81)$$

$$51 \text{ ВА} \leq 150 \text{ ВА,}$$

где  $S_{\text{ном}}$  – номинальная мощность вторичной обмотки НАМИ-10У3 в классе точности 0,5.

Промежуточные вычисления для выбора и проверки трансформаторов напряжения для подключаемых КЛ-10 кВ НПС-20 представляют собой массив информации, которую имеет смысл разместить в виде полученных по исходным данным значений, таблица 19.

Таблица 19 – Выбор трансформатора напряжения 10 кВ

Технические параметры	Расчётные параметры	Условия выбора/проверки
$U_{\text{ном}} = 12,5 \text{ кВ}$ $S_{\text{Н}} = 150 \text{ ВА}$	$U_{\text{уст}} = 10 \text{ кВ}$ $S_{\text{Р}} = 51 \text{ ВА}$	$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{уст}}$ $S_{\text{Н}} \geq S_{\text{Р}}$

### 12.6 Выбор ограничителей перенапряжений

Выбираются ОПН марки ОПН-КР/TEL для обеспечения защиты проектируемых КЛ и ВЛ-10 кВ от перенапряжений [31].

Для соответствия наибольшего длительного рабочего напряжения ОПН 10 кВ условиям его использования показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [17], подходящей под требования данного расчёта:

$$U_{\text{НР}} \geq 1,02 - 1,05 \cdot U_{\text{НС}}, \quad (82)$$

$$10,5 \geq 1,05 \cdot 10 = 10,5 \text{ кВ},$$

где  $U_{\text{НР}}$  - длительно допустимое рабочее напряжение ОПН-КР/TEL на линейных ячейках ПС НПС-20, 10,5 кВ;

$U_{\text{НС}}$  - наибольшее рабочее фазное напряжение КЛ-10 кВ от НПС-20, 10 кВ.

Для соответствия номинального напряжения ОПН 10 кВ условиям его использования показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [17], подходящей под требования данного расчёта:

$$U_{ном} \geq U_{к} \cdot \left(\frac{T_{к}}{10}\right)^m, \quad (83)$$

$$13,1 \geq 15 \cdot \left(\frac{2}{10}\right)^{0,2} = 10,9 \text{ кВ},$$

где  $U_{ном}$  - номинальное паспортное напряжение ОПН, 13,1 кВ;

$U_{к}$  - амплитуда квазистационарного перенапряжения для сетей 10 кВ от ПС НПС-20 для случая сброса нагрузки кратностью  $1,5 \cdot U_{ном}$ ;

$T_{к}$  - длительность квазистационарного перенапряжения для протяженных сетей 10 кВ при сбросе нагрузки, 2 с;

$m$  - среднее значение коэффициента ОПН, 0,02.

Для соответствия разрядного тока ОПН 10 кВ условиям его использования показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [17], подходящей под требования данного расчёта:

$$I_{ном P} \geq 5 \text{ кА},$$

$$10 \text{ кА} \geq 5 \text{ кА},$$

где  $I_{ном P}$  – разрядный ток 80/20 мкс ОПН-КР/TEL, 10 кА.

Для соответствия 4-го класса энергоемкости ОПН 10 кВ условиям его использования показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [17], подходящей под требования данного расчёта:

$$W = 2 \cdot U_{эк} \cdot (U_{п} - U_{эк}) \cdot \frac{T_B}{Z}; \quad (84)$$

$$W = 2 \cdot 25,7 \cdot (3,67 \cdot 10 - 25,7) \cdot \frac{7,94}{120} = 37,4 \text{ кДж},$$

$$W_{y\partial} = \frac{W}{U_{ном}}; \quad (85)$$

$$W_{y\partial} = \frac{37,4}{10} = 3,74 \text{ кДж/кВ};$$

$$W_{y\partial} \leq W_{ном4 кл};$$

$$3,74 \text{ кДж/кВ} \leq 4,5 \text{ кДж/кВ}$$

где  $U_{II}$  - амплитуда напряжения ОПН для диапазона 2%-ных перенапряжений кратностью  $3,67 \cdot U_{ном}$ ;

$U_{эк}$  - остающееся напряжение ОПН при коммутационном импульсе 500 А 30/60 мкс, 25,7 кВ;

$Z$  – волновое сопротивление КЛ-10 кВ ПС НПС-20, 120 Ом;

$T$  - время распространения электромагнитной волны по КЛ-10 кВ ПС НПС-20 до ТП, 7,94 мкс.

Для соответствия взрывобезопасности ОПН 10 кВ условиям его использования показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [17], подходящей под требования данного расчёта:

$$I_{ВБ} \geq I_{КЗ}, \quad (86)$$

$$20 \text{ кА} > 20 \text{ кА},$$

где  $I_{ВБ}$  – ток взрывобезопасности ОПН-КР/TEL КЛ-10 кВ ПС НПС-20, 20 кА;

$I_{КЗ}$  – наибольшая величина тока КЗ на стороне 10 кВ ПС НПС-20, предельное значение для вакуумного выключателя, 20 кА.

Для соответствия по способности ограничивать коммутационные перенапряжения ОПН 10 кВ условиям его использования показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [17], подходящей под требования данного расчёта:

$$U_{OCT} \leq U_{КИ} / (1,15-1,20), \quad (87)$$

$$U_{КИ} = K_{И} \cdot K_{К} \cdot \sqrt{2} \cdot U_{ИСП}, \quad (88)$$

$$U_{КИ} = 1,35 \cdot 0,9 \cdot \sqrt{2} \cdot 75 = 42,8 \text{ кВ};$$

$$25,7 \text{ кВ} < 128/1,2 = 107 \text{ кВ},$$

где  $U_{OCT}$  – остающееся напряжение ОПН-КР/TEL при токе коммутационных перенапряжений на волне 30/60 мкс с амплитудой 25,7 кВ;

$U_{ИСП}$  – испытательное напряжение для РУ 10 кВ ПС НПС-20, 75 кВ;

$K_{И}$  – коэффициент импульса, 1,35;

$K_{К}$  – коэффициент куммулятивности, 0,9.

Для соответствия по способности ограничивать грозовые перенапряжения ОПН 10 кВ условиям его использования показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [17]:

$$(U_{ИСП_{гр}} - U_{OCT.ОПН10}) / U_{ИСП_{гр}} > 0,2-0,25; \quad (89)$$

$$(75-33,5) / 75 = 0,55 > 0,2-0,25,$$

где  $U_{OCT.ОПН10}$  – остающееся напряжение на ОПН-КР/TEL в грозовом импульсе тока 10 кА 8/20 мкс, 33,5 кВ;

$U_{ИСП_{гр}}$  – испытательное значение используемого грозового импульса, 75 кВ.

Промежуточные вычисления для выбора и проверки ОПН для подключаемых КЛ-10 кВ НПС-20 представляют собой массив информации, которую имеет смысл разместить в виде полученных по исходным данным значений, таблица 20.

Таблица 20 – Выбор ОПН 10 кВ

Технические параметры	Расчётные параметры	Условия выбора/проверки
$U_{\text{ном}} = 13,1 \text{ кВ}$ $W_{\text{ном 4 кл}} = 4,5 \text{ кДж/кВ}$  $I_{\text{ВБ}} = 20 \text{ кА}$	$U_{\text{уст}} = 10,5 \text{ кВ}$ $W_{\text{уд}} = 3,74 \text{ кДж/кВ}$  $I_{\text{КЗ}} = 20 \text{ кА}$	$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{уст}}$ $W_{\text{ном 4 кл}} \geq W_{\text{уд}}$ По 4 классу энергоемкости  $I_{\text{ВБ}} \geq I_{\text{КЗ}}$

### 12.7 Выбор предохранителей

Выбираются предохранители ПKN101-10-10-20У1.

На примере вычисления тока максимального режима работы трансформатора напряжения 10 кВ показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [18], подходящей под требования данного расчёта:

$$I_{\text{раб.мак}} = \frac{S_{\text{тн}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}}, \quad (90)$$

$$I_{\text{раб.мак}} = \frac{150}{\sqrt{3} \cdot 10} = 8,7 \text{ А}.$$

На примере выбора предохранителей 10 кВ для трансформаторов напряжения по напряжению подключения показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [18], подходящей под требования данного расчёта:

$$U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном}};$$

$$10 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ}.$$

На примере выбора предохранителей 10 кВ для трансформаторов напряжения по току показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [18], подходящей под требования данного расчёта:

$$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{рmax}},$$

$$10 \text{ А} \geq 8,7 \text{ А}.$$

На примере проверки предохранителей 10 кВ для трансформаторов напряжения по отключению периодической составляющей тока КЗ показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [18], подходящей под требования данного расчёта:

$$I_{\text{вкл}} \geq I_{\text{по}},$$

$$20 \text{ кА} \geq 16,45 \text{ кА}.$$

Промежуточные вычисления для выбора и проверки предохранителей 10 кВ для трансформаторов напряжения НПС-20 представляют собой массив информации, которую имеет смысл разместить в виде полученных по исходным данным значений, таблица 21.

Таблица 21 – Выбор и проверка предохранителей 10 кВ НПС-20

Технические параметры	Расчётные параметры	Условия выбора/проверки
$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$ $I_{\text{ном}} = 10 \text{ А}$ $I_{\text{откл}} = 20 \text{ кА}$	$U_{\text{уст}} = 10 \text{ кВ}$ $I_{\text{рmax}} = 8,7 \text{ А}$ $I_{\text{по}} = 16,46 \text{ кА}$	$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{уст}}$ $I_{\text{ном}} \geq I_{\text{рmax}}$ $I_{\text{откл}} \geq I_{\text{по}}$

## 12.8 Выбор жестких шин на стороне 10 кВ

Принимаем алюминиевые шины  $60 \times 8 \text{ мм}^2$ , марки АДЗ1Т - из алюминиевого сплава, закаленные и естественно состаренные.

На примере выбора шин 10 кВ по длительному току показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [18], подходящей под требования данного расчёта:

$$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{рmax}},$$

$$1025 \text{ А} \geq 983 \text{ А}.$$

На примере вычисления сечения по условию термической стойкости показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [18], подходящей под требования данного расчёта:

$$q_{\text{min}} = \frac{\sqrt{Bk}}{C}; \quad (91)$$

$$q_{\text{min}} = \frac{\sqrt{286 \cdot 10^6}}{91} = 185 \text{ мм}^2.$$

На примере проверки шин 10 кВ по термической стойкости к току КЗ показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [18], подходящей под требования данного расчёта:

$$q \geq q_{\text{min}}; \quad (92)$$

$$480 \text{ мм}^2 \geq 185 \text{ мм}^2;$$

где  $q$  – площадь сечения шин АДЗ1Т  $60 \times 8$ ,  $480 \text{ мм}^2$ .

На примере вычисления момента инерции и момента сопротивления шины ( $b=0.8$  см,  $h=6$  см) показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [18], подходящей под требования данного расчёта:

$$J = \frac{b \cdot h^3}{12}; \quad (93)$$

$$J = \frac{0.8 \cdot 6^3}{12} = 14.4 \text{ см}^4;$$

$$W = \frac{b^2 \cdot h}{6}; \quad (94)$$

$$W = \frac{0.8^2 \cdot 6}{6} = 0.64 \text{ см}^3.$$

На примере вычисления минимального пролёта по условию резонанса шины показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [18], подходящей под требования данного расчёта:

$$l^2 \leq \frac{173.2}{200} \cdot \sqrt{\frac{J}{q}}, \quad (95)$$

$$l^2 \leq \frac{173.2}{200} \cdot \sqrt{\frac{14.4}{0.48}},$$

$$1,2 \text{ м} \leq 1,34 \text{ м};$$

где  $l$  - длина пролёта между осями опорных изоляторов, для КРУ К-63 1,2 м.

На примере вычисления напряжения в материале шины при воздействии изгибающего момента показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [18], подходящей под требования данного расчёта:

$$\sigma_{РАСЧ} = \sqrt{3} \cdot 10^{-8} \cdot \frac{i_{ВД}^2 \cdot l^2}{W \cdot a}, \quad (96)$$

$$\sigma_{РАСЧ} = \sqrt{3} \cdot 10^{-8} \cdot \frac{43^2 \cdot 1.2^2}{0.64 \cdot 0.8} = 90 \text{ МПа},$$

где  $a$  - расстояние между фазами, 0,8 м;

$l$  - длина пролета между опорными изоляторами, м.

На примере проверки шин 10 кВ по механической прочности показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [18], подходящей под требования данного расчёта:

$$\sigma_{РАСЧ} < \sigma_{ДОП}, \quad (97)$$

$$90 < 95 \text{ МПа}.$$

На примере проверки шин 10 кВ по механической прочности с учётом старения материала шины показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [18], подходящей под требования данного расчёта:

$$\sigma_{ДОП} \leq 0.7 \sigma_{РАЗР}, \quad (98)$$

$$90 \leq 0.7 \cdot 130 = 91 \text{ МПа}.$$

Промежуточные вычисления для выбора и проверки шин 10 кВ для КРУ-10 кВ НПС-20 представляют собой массив информации, которую имеет смысл разместить в виде полученных по исходным данным значений, таблица 22.

Таблица 22 – Выбор и проверка жёстких шин 10 кВ НПС-20

Технические параметры	Расчётные параметры	Условия выбора/проверки
$I_{\max} = 983 \text{ А}$ $\sigma_{\text{расч}} = 90 \text{ МПа}$ $q_{\min} = 5,9 \text{ мм}^2$	$I_{\text{доп}} = 1025 \text{ А}$ $\sigma_{\text{доп}} = 91 \text{ МПа}$ $q = 480 \text{ мм}^2$	$I_{\text{доп}} \geq I_{\max}$ $\sigma_{\text{доп}} \geq \sigma_{\text{расч}}$ $q \geq q_{\min}$

### 12.9 Выбор изоляторов

Выбираем опорные изоляторы марки ИОС -10-500 УХЛ.

На примере выбора опорных изоляторов 10 кВ по напряжению подключения показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [10], подходящей под требования данного расчёта:

$$U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном}};$$

$$10 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ}.$$

На примере вычисления расчётной нагрузка на головку опорного изолятора показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [18], подходящей под требования данного расчёта:

$$F_{\text{расч}} = \sqrt{3} \frac{i_{\text{yd}}^2 \cdot l}{a} \cdot 10^{-7}, \quad (99)$$

$$F_{\text{расч}} = \sqrt{3} \cdot \frac{43^2 \cdot 1.2}{0.8} \cdot 10^{-7} = 480 \text{ Н}.$$

На примере вычисления допустимой нагрузки на головку опорного изолятора показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [18], подходящей под требования данного расчёта:

$$F_{доп} = 0.6 \cdot F_{разр} , \quad (100)$$

$$F_{доп} = 0.6 \cdot 3000 = 1800 \text{ Н};$$

где  $F_{разр}$  - усилие на разрушение опорного изолятора ИОС -10-500 УХЛ, 3000 Н.

На примере проверки опорных изоляторов 10 кВ по механическому усилию показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [18], подходящей под требования данного расчёта:

$$F_{доп} \geq F_{расч}; \quad (101)$$

$$1800 \text{ Н} \geq 480 \text{ Н}.$$

Промежуточные вычисления для выбора и проверки опорных изоляторов 10 кВ для КРУ-10 кВ НПС-20 представляют собой массив информации, которую имеет смысл разместить в виде полученных по исходным данным значений, таблица 23.

Таблица 23 – Выбор и проверка опорных изоляторов 10 кВ НПС-20

Технические параметры	Расчётные параметры	Условия выбора/проверки
$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$ $F_{расч} = 480 \text{ Н}$	$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$ $F_{доп} = 2400 \text{ Н}$	$U_{ном} \geq U_{уст}$ $F_{доп} \geq F_{расч}$

На примере выбора проходных изоляторов 10 кВ по длительному току показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [18], подходящей под требования данного расчёта:

$$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{рmax}},$$

$$1000 \text{ А} \geq 983 \text{ А}.$$

На примере вычисления допустимой нагрузки на головку проходного изолятора показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [18], подходящей под требования данного расчёта:

$$F_{\text{доп}} = 0.6 \cdot F_{\text{разр}},$$

$$F_{\text{доп}} = 0.6 \cdot 7500 = 4500 \text{ Н}$$

где  $F_{\text{разр}}$  - усилие на разрушение проходного изолятора ИП-10/1000-750 УХЛ1, 7500 Н.

На примере проверки проходных изоляторов 10 кВ по механическому усилию показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [18], подходящей под требования данного расчёта:

$$F_{\text{доп}} \geq F_{\text{расч}};$$

$$4500 \text{ Н} \geq 480 \text{ Н}.$$

Промежуточные вычисления для выбора и проверки изоляторов 10 кВ для КРУ-10 кВ НПС-20 представляют собой массив информации, которую имеет смысл разместить в виде таблицы 24.

Таблица 24 – Выбор и проверка проходных изоляторов 10 кВ НПС-20

Технические параметры	Расчётные параметры	Условия выбора/проверки
$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$ $I_{\text{ном}} = 1000 \text{ А}$ $F_{\text{расч}} = 480 \text{ Н}$	$U_{\text{уст}} = 10 \text{ кВ}$ $I_{\text{рmax}} = 983 \text{ А}$ $F_{\text{доп}} = 2400 \text{ Н}$	$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{уст}}$ $I_{\text{ном}} \geq I_{\text{рmax}}$ $F_{\text{доп}} \geq F_{\text{расч}}$

## 13 ОБОРУДОВАНИЕ КОМПЛЕКТНЫХ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПОДСТАНЦИЙ

### 13.1 Выбор предохранителей для защиты трансформаторов ТП

Выбираются предохранители ПКЗ – 10УЗ.

На примере вычисления тока максимального режима работы трансформатора КТП-1 показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [18], подходящей под требования данного расчёта:

$$I_p = \frac{2 \cdot S_{ТП}}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ}}, \quad (102)$$

$$I_p = \frac{2 \cdot 1600}{\sqrt{3} \cdot 10} = 185 \text{ А}.$$

На примере выбора предохранителей 10 кВ для КТП-1 по напряжению подключения показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [18], подходящей под требования данного расчёта:

$$U_{уст} \leq U_{НОМ};$$

$$10 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ}.$$

На примере выбора предохранителей 10 кВ для КТП-1 по току показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [18], подходящей под требования данного расчёта:

$$I_{вст} \geq I_p,$$

$$I_{НОМ \text{ пред}} \geq I_{вст},$$

$$200 \text{ A} \geq 185 \text{ A},$$

$$200 \text{ A} \geq 200 \text{ A}.$$

На примере проверки предохранителей 10 кВ для КТП-1 по отключению периодической составляющей тока КЗ показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [18], подходящей под требования данного расчёта:

$$I_{\text{вкл}} \geq I_{\text{по}},$$

$$20 \text{ кА} \geq 16,45 \text{ кА}.$$

Промежуточные вычисления для выбора и проверки предохранителей 10 кВ для КТП НПС-20 представляют собой массив информации, которую имеет смысл разместить в виде полученных по исходным данным значений, таблица 25.

Таблица 25 – Выбор и проверка предохранителей 10 кВ КТП НПС-20

Каталожные данные	Расчётные величины						Условие выбора/проверки
	КТП-1	КТП-2	КТП-3	КТП-4	КТП-5	КТП-6	
$U_{\text{Н}}=10 \text{ кВ}$	$U_{\text{р}}=10 \text{ кВ}$	$U_{\text{р}}=10 \text{ кВ}$	$U_{\text{р}}=10 \text{ кВ}$	$U_{\text{р}}=10 \text{ кВ}$	$U_{\text{р}}=10 \text{ кВ}$	$U_{\text{р}}=10 \text{ кВ}$	$U_{\text{Н}} \leq U_{\text{р}}$
$I_{\text{вст}}=200 \text{ А}$	$I_{\text{р}}=183 \text{ А}$	$I_{\text{р}}=116 \text{ А}$	$I_{\text{р}}=73 \text{ А}$	$I_{\text{р}}=73 \text{ А}$	$I_{\text{р}}=46 \text{ А}$	$I_{\text{р}}=46 \text{ А}$	$I_{\text{р}} \leq I_{\text{вст}}$
$I_{\text{ном пред}}=200 \text{ А}$	$I_{\text{вст}}=200 \text{ А}$	$I_{\text{вст}}=200 \text{ А}$	$I_{\text{вст}}=80 \text{ А}$	$I_{\text{вст}}=80 \text{ А}$	$I_{\text{вст}}=80 \text{ А}$	$I_{\text{вст}}=80 \text{ А}$	$I_{\text{вст}} \leq I_{\text{ном пред}}$
$I_{\text{вкл}}=20 \text{ кА}$	$I_{\text{по}}=16,4 \text{ кА}$	$I_{\text{по}}=15,85 \text{ кА}$	$I_{\text{по}}=13,43 \text{ кА}$	$I_{\text{по}}=16,3 \text{ кА}$	$I_{\text{по}}=2,04 \text{ кА}$	$I_{\text{по}}=2,04 \text{ кА}$	$I_{\text{вкл}} \geq I_{\text{по}}$

### 13.2 Выбор выключателей нагрузки

Выбираются ВМП - 10/400.

На примере выбора выключателей нагрузки 10 кВ для КТП-1 по напряжению подключения показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [18], подходящей под требования данного расчёта:

$$U_{уст} \leq U_{ном};$$

$$10 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ}.$$

На примере выбора выключателей нагрузки 10 кВ для КТП-1 по току главных цепей показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [18], подходящей под требования данного расчёта:

$$I_{ном} \geq I_{рmax},$$

$$400 \text{ А} \geq 183 \text{ А}.$$

На примере вычисления расчётного времени теплового импульса выключателей нагрузки 10 кВ для КТП-1 показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [18], подходящей под требования данного расчёта:

$$t_n = t_е + t_{сел};$$

$$t_n = 0,055 + 0,5 = 0,555 \text{ с};$$

$t_е$  - времени отключения выключателя, 0,055с;

$t_{сел}$  - ступень селективности, 0,5 с.

На примере вычисления расчётного теплового импульса выключателей нагрузки 10 кВ для КТП-1 показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [10], подходящей под требования данного расчёта:

$$B_{KP} = I_K^2 \cdot t_n, \quad (42)$$

$$B_{кр} = 16,43^2 \cdot (0,055 + 0,5) = 150 \text{ кА}^2\text{с};$$

где  $I_k$  - ток трехфазного короткого замыкания на стороне 10 кВ КТП-1, кА.

На примере вычисления номинального теплового импульса выключателей нагрузки 10 кВ для КТП-1 показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [18], подходящей под требования данного расчёта:

$$B_{Кном} = I_{терм}^2 \cdot t_{терм},$$

$$B_{Кном} = 10^2 \cdot 3 = 300 \text{ кА}^2\text{с};$$

где  $I_{терм}$  - ток термической стойкости выключателя нагрузки ВМП - 10/400, 10 кА;

$t_{терм}$  - время стойкости выключателя нагрузки ВМП - 10/400 при КЗ, 3 с.

На примере проверки термической стойкости выключателей нагрузки 10 кВ для КТП-1 показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [18], подходящей под требования данного расчёта:

$$B_{Кном} \geq B_{кр};$$

$$300 \text{ кА}^2\text{с} \geq 150 \text{ кА}^2\text{с}.$$

На примере проверки электродинамической стойкости выключателей нагрузки 10 кВ для КТП-1 показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [18], подходящей под требования данного расчёта:

$$i_{уд} \leq i_{скв};$$

$$41,83 \text{ кА} \leq 50 \text{ кА}.$$

Промежуточные вычисления для выбора и проверки выключателей нагрузки 10 кВ для КТП НПС-20 представляют собой массив информации, которую имеет смысл разместить в виде полученных по исходным данным значений, таблица 26.

Таблица 26 – Выбор и проверка выключателей нагрузки 10 кВ НПС-20

Каталожные данные	Расчётные величины						Условие выбора/проверки
	КТП-1	КТП-2	КТП-3	КТП-4	КТП-5	КТП-6	
$U_H=10 \text{ кВ}$	$U_P=10 \text{ кВ}$	$U_P=10 \text{ кВ}$	$U_P=10 \text{ кВ}$	$U_P=10 \text{ кВ}$	$U_P=10 \text{ кВ}$	$U_P=10 \text{ кВ}$	$U_H \leq U_P$
$I_H=400 \text{ А}$	$I_P=183 \text{ А}$	$I_P=116 \text{ А}$	$I_P=73 \text{ А}$	$I_P=73 \text{ А}$	$I_P=46 \text{ А}$	$I_P=46 \text{ А}$	$I_P \leq I_H$
$i_{скв}=50 \text{ кА}$	$i_{уд}=41,83 \text{ кА}$	$i_{уд}=31,58 \text{ кА}$	$i_{уд}=21,02 \text{ кА}$	$i_{уд}=37,83 \text{ кА}$	$i_{уд}=2,9 \text{ кА}$	$i_{уд}=2,9 \text{ кА}$	$i_{уд} \leq i_{скв}$
$I_T^2 \cdot t_T = 300 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_k=150 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_k=140 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_k=100 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_k=148 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_k=4,4 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_k=4,4 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_k \leq B_{к.ном}$

## 14 РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА

### 14.1 Токовая отсечка без выдержки времени

На примере вычисления коэффициента трансформации трансформатора тока КЛ-10 кВ питания трансформаторов ЧРП показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [14], подходящей под требования данного расчёта:

$$n_{\text{т}} = \frac{I_{\text{ттВН}}}{I_{\text{ттНН}}}; \quad (103)$$

$$n_{\text{т}} = \frac{1000}{5}.$$

На примере вычисления первичного тока срабатывания ТО КЛ-10 кВ питания трансформаторов ЧРП показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [14], подходящей для данного расчёта:

$$I_{\text{с.з.}} = k_{\text{н}} \cdot I_{\text{к.мах}}^{(3)}, \quad (104)$$

$$I_{\text{с.з.}} = 1,1 \cdot 16,45 = 18,1 \text{ кА},$$

где  $k_{\text{н}}$  – коэффициент надёжности, для «Сириус-2-Л» равным 1,1;  
 $I_{\text{к.мах}}^{(3)}$  – значение тока трехфазного КЗ на стороне 10 кВ трансформаторов ЧРП.

На примере вычисления чувствительности ТО КЛ-10 кВ питания трансформаторов ЧРП показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [14], подходящей под требования данного расчёта:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{КЗ}}^{(2)}}{I_{\text{с.з.}}}, \quad (105)$$

$$K_{\psi} = \frac{18,1}{14,31} = 0,79 \geq 2,$$

где  $I_{\text{КЗ}}^{(2)}$  – значение тока двухфазного КЗ на стороне 10 кВ трансформаторов ЧРП.

На примере вычисления вторичного тока срабатывания ТО КЛ-10 кВ питания трансформаторов ЧРП показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [14], подходящей для данного расчёта:

$$I_{\text{с.р.}} = k_{\text{сх}} \frac{I_{\text{с.з.}}}{n_T}, \quad (106)$$

$$I_{\text{с.р.}} = 1 \cdot \frac{18100}{200} = 90 \text{ А.}$$

На примере вычисления времени работы ТО КЛ-10 кВ питания трансформаторов ЧРП показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [14], подходящей под требования данного расчёта:

$$t_{\text{с.з.}} = t_{\text{р.з.}} + \Delta t, \quad (107)$$

$$t_{\text{с.з.}} = 0 + 0,1 = 0,1.$$

#### 14.2 Максимальная токовая защита линий

На примере вычисления первичного тока срабатывания МТЗ КЛ-10 кВ питания трансформаторов ЧРП показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [14], подходящей для данного расчёта:

$$I_{\text{с.з.}} = I_{\text{раб.}} \cdot k_H \cdot k_{\text{с.з.}} / k_{\text{в}}, \quad (108)$$

$$I_{\text{с.з.}} = 1,031 \cdot 1,1 \cdot 1 / 0,95 = 1,194,$$

где  $k_H$  – коэффициент надежности, для «Сириус-2-Л»  $k_H = 1,1$ ;  
 $k_{с.з.}$  – коэффициент запуска двигателей, принимаемый равным 1;  
 $k_в$  – коэффициент возврата, для «Сириус-2-Л»  $k_в = 0,95$ ;  
 $I_{раб.}$  – максимальный рабочий ток защищаемой линии, А.

На примере вычисления вторичного тока срабатывания МТЗ КЛ-10 кВ питания трансформаторов ЧРП показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [19], подходящей для данного расчёта:

$$I_{с.р.} = I_{с.з.} \cdot k_{сх} / n_T, \quad (109)$$

$$I_{с.р.} = 1194 \cdot 1 / (1000/5) = 6.$$

где  $k_{сх}$  – коэффициент схемы,  $k_{сх} = 1$ ;

На примере вычисления чувствительности МТЗ КЛ-10 кВ питания трансформаторов ЧРП показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [19], подходящей под требования данного расчёта:

$$K_{ч} = \frac{I_{кз}^{(2)}}{I_{с.з.}}, \quad (110)$$

$$K_{ч} = \frac{14,31}{11,94} = 1,7 \geq 1,5,$$

На примере вычисления времени работы МТЗ КЛ-10 кВ питания трансформаторов ЧРП показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [19], подходящей под требования данного расчёта:

$$t_{с.з.МТЗ} = t_{р.з.} + \Delta t, \quad (111)$$

$$t_{с.з.МТЗ} = 0,1 + 0,1 = 0,2 \text{ с.}$$

### 14.3 Защита от однофазных замыканий на землю

На примере вычисления тока замыкания на землю КЛ-10 кВ питания трансформаторов ЧРП показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [19], подходящей под требования данного расчёта:

$$I_{\text{повр.л}} = \frac{U_H \cdot L_K}{10}; \quad (113)$$

$$I_{\text{повр.л}} = \frac{10 \cdot 0,2}{10} = 0,2 \text{ А.}$$

На примере вычисления остаточной величины тока замыкания на землю КЛ-10 кВ питания трансформаторов ЧРП показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [19], подходящей под требования данного расчёта:

$$I_{\text{ТНП.повр.л}} = I_{\text{ЗНЗ}} - I_{\text{повр.л}}, \quad (114)$$

$$I_{\text{ТНП.повр.л}} = 1,6 - 0,2 = 1,4.$$

где  $I_{\text{ЗНЗ}}$  – суммарный емкостной ток сети, 1,6 А.

На примере вычисления тока срабатывания ЗНЗ КЛ-10 кВ питания трансформаторов ЧРП показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [19], подходящей под требования данного расчёта:

$$I_{\text{с.з.}} = I_{\text{ТНП.повр.л}} / k_{\text{ч}} \quad (115)$$

$$I_{\text{с.з.}} = 1,4 / 1,5 = 0,9 \text{ А;}$$

где  $k_{\text{ч}}$  – коэффициент чувствительности, 1,5.

Промежуточные вычисления для выбора и проверки уставок срабатывания РЗ КЛ-10 кВ НПС-20 представляют собой массив информации, которую имеет смысл разместить в виде полученных по исходным данным значений, таблица 27.

Таблица 27 – Уставки срабатывания РЗ КЛ-10 кВ НПС-20

Линия	I <sub>(3)по</sub> , кА	I <sub>(2)по</sub> , кА	I <sub>p</sub> , А	I <sub>НТТ</sub> , А	ТО				МТЗ			ЗНЗ		
					I <sub>с.з.</sub> , кА	пТ	I <sub>с.р.</sub> А	К <sub>ч</sub>	I <sub>с.з.</sub> , кА	I <sub>с.р.</sub> А	К <sub>ч</sub>	I <sub>повр.л.</sub> , А	I <sub>ТНП.повр.л.</sub> , А	I <sub>с.з.</sub> , А
кабель питания трансформатора ЧРП	16,45	14,31	983	1000	18,1	200	90	0,79	1,194	6	1,7	0,20	1,40	0,9
кабель питания двигателя насосов	16,46	14,32	1389	1500	18,1	300	60	0,79	1,652	6	1,9	0,30	1,30	0,9
кабель питания КТП-1 (вариант №1)	16,43	14,30	115	150	18,1	30	603	0,79	0,262	9	5,5	0,10	1,50	1,0
кабель питания КТП-2 (вариант №1)	15,85	13,79	76	100	17,4	20	872	0,79	0,262	13	5,3	0,40	1,20	0,8
кабель питания КТП-3 (вариант №1)	13,43	11,68	41	50	14,8	10	1477	0,79	0,262	26	4,5	1,00	0,60	0,4
кабель питания КТП-4 (вариант №1)	16,31	14,19	46	50	17,9	10	1794	0,79	0,262	26	5,4	0,20	1,40	0,9
ВЛ КТП 5-6	2,04	1,77	52	100	2,2	20	112	0,79	0,243	12	1,7	0,02	0,02	0,01

#### 14.4 Защита синхронных двигателей

Для защиты двигателей используется блок БМРЗ-ДА-47.

На примере вычисления номинального тока двигателей 10 кВ показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [19], подходящей под требования данного расчёта:

$$I_{ном} = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \cos\varphi}, \quad (116)$$

$$I_{ном} = \frac{12000}{1,73 \cdot 10 \cdot 0,85} = 850 \text{ A}$$

На примере вычисления пускового тока двигателей 10 кВ показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [19], подходящей под требования данного расчёта:

$$I_{пус} = K_i \cdot I_{ном}, \quad (117)$$

$$I_{пус} = 4 \cdot 850 = 3400 \text{ A} .$$

где  $K_i$  - кратность пускового тока,  $K_i = 4$  ;

На примере вычисления тока срабатывания ТО двигателей 10 кВ показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [19], подходящей под требования данного расчёта:

$$I_{с.о} = K_n \cdot 1,8 \cdot I_{пус} . \quad (118)$$

$$I_{с.о} = 1,1 \cdot 1,8 \cdot 3400 = 6732 \text{ A} .$$

где  $K_n$  – коэффициент надёжности,  $K_n = 1,1 - 1,2$  ;

1,8 – коэффициент, учитывающий действие апериодической составляющей тока при пуске.

На примере вычисления тока срабатывания терминала ТО двигателей 10 кВ показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [19], подходящей под требования данного расчёта:

$$I_{с.р.} = \frac{K_{сх}}{n_{та}} \cdot I_{с.о} \quad (119)$$

$$I_{c.p.} = \frac{1}{200} \cdot 6732 = 34 A$$

где  $K_{cx}$  – коэффициент схемы, для случая соединения обмоток трансформаторов тока по схеме полная и неполная звезда  $K_{cx}=1$ ;

$n_{та}$  – коэффициент трансформации трансформаторов тока,  $n_{та}=1000/5=200$ .

На примере вычисления чувствительности ТО двигателей 10 кВ показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [19], подходящей под требования данного расчёта:

$$K_{ч} = \frac{I_{к}^{(2)}}{I_{c.o.}} \geq 2 \quad (120)$$

$$K_{ч} = \frac{6732}{14316} = 2,1 \geq 2$$

где  $I_{к}^{(2)}$  – ток двухфазного КЗ:

Чувствительность ТО соответствует норме.

На примере вычисления тока срабатывания МТЗ двигателей 10 кВ показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [19], подходящей под требования данного расчёта:

$$I_{c.з.} = \frac{K_{н}}{K_{в}} \cdot I_{ном} \quad (121)$$

$$I_{c.з.} = \frac{1,1}{0,98} \cdot 850 = 954 A$$

где  $K_{н}$  – коэффициент надёжности, 1,1;

$K_{в}$  – коэффициент возврата, для микропроцессорных блоков 0,98;

На примере вычисления тока срабатывания терминала МТЗ двигателей 10 кВ показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [19], подходящей под требования данного расчёта:

$$I_{c.p.} = \frac{K_{cx}}{n_{та}} \cdot I_{c.з.}; \quad (122)$$

$$I_{c.p.} = \frac{\sqrt{3}}{200} \cdot 954 = 8,3 A$$

где-  $K_{cx}$  – коэффициент схемы,  $\sqrt{3}$ ;

$n_{та}$  – коэффициент трансформации трансформаторов тока,  $n_{та} = 200$ .

На примере вычисления чувствительности ТО двигателей 10 кВ показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [19], подходящей под требования данного расчёта:

$$K = \frac{I_{c.p.(ТО)}}{I_{c.p.(МТЗ)}} \geq 1,5;$$

$$K = \frac{14316}{954} = 15 \geq 1,5.$$

Чувствительность МТЗ соответствует норме.

#### 14.5 Устройства автоматического включения резерва

Используются терминалы Сириус-АВР на стороне 10 кВ ПС НПС-20.

На примере вычисления напряжения срабатывания автоматического включения резерва шин 10 кВ показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [14], подходящей под требования данного расчёта:

$$U_{c.з.} = 0,40 \cdot U_{ном}, \quad (123)$$

$$U_{c.з} = 0,4 \cdot 10000 = 400 \text{ В.}$$

На примере вычисления времени работы АВР шин 10 кВ показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [14], подходящей под требования данного расчёта:

$$t_{c.з.} = t_{c.з.МТЗ} + t_{p.з.} + \Delta t, \quad (124)$$

$$t_{c.з.} = 0,2 + 0,1 + 0,1 = 0,4 \text{ с.}$$

## 15 КОМПЕНСАЦИЯ ЕМКОСТНЫХ ТОКОВ ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ

На примере вычисления ёмкостного тока в сети 10 кВ НПС-20 показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [14], подходящей под требования данного расчёта:

$$I_c = \frac{U_H \cdot L_K}{10}; \quad (125)$$

$$I_c = \frac{10 \cdot 1,6}{10} = 1,6 \text{ А},$$

где  $U_H$  – номинальное напряжение сети, 10кВ;

$L_K$  - суммарная длина КЛ, 1,6 км.

На примере проверки соответствия требованиям ПУЭ по допустимой величине ёмкостного тока в сети 10 кВ НПС-20 показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [23], подходящей под требования данного расчёта:

$$I_c \leq I_{c \text{ доп пуэ}};$$

$$1,6 \text{ А} \leq 20 \text{ А}.$$

По требованиям ПУЭ величину ёмкостного тока в сети 10 кВ НПС-20 1,6 А допускается не компенсировать.

## 16 ЗАЗЕМЛЕНИЕ ЗДАНИЯ НАСОСНОЙ

Заземляющее устройство здания насосной представляет собой систему из вертикальных и горизонтальных электродов диаметром 10 мм, соединённых между собой сваркой.

На примере вычисления стационарного сопротивления одного вертикального электрода показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [12], подходящей под требования данного расчёта:

$$R_{ЭВ} = \frac{\rho_{\text{грунт}}}{\pi \cdot 2 \cdot l_B} \cdot \ln \left[ \frac{4 \cdot l_B \cdot (2 \cdot h_3 + l_B)}{d \cdot (4 \cdot h_3 + l_B)} \right], \quad (126)$$

$$R_{ЭВ} = \frac{150}{\pi \cdot 2 \cdot 1} \cdot \ln \left[ \frac{4 \cdot 1 \cdot (2 \cdot 0,2 + 1)}{0,02 \cdot (4 \cdot 0,2 + 1)} \right] = 121, \text{ Ом};$$

где  $l_B$  - длина вертикального электрода, м;

$h_3$  - глубина заложения заземлителя, м;

$\rho_{\text{грунт}}$  - удельное сопротивление грунта, по [12] для почвы берём из диапазона 50-150 Ом·м;

$d$  - диаметр электродов, м.

На примере вычисления стационарного сопротивления одного горизонтального электрода показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [12], подходящей под требования данного расчёта:

$$R_{ЭГ} = \frac{\rho_{\text{грунт}}}{\pi \cdot l} \cdot \ln \left[ \frac{1,5 \cdot l}{\sqrt{2 \cdot d \cdot h_3}} \right]; \quad (127)$$

$$R_{ЭГ} = \frac{150}{\pi \cdot 4} \cdot \ln \left[ \frac{1,5 \cdot 4}{\sqrt{2 \cdot 0,02 \cdot 0,2}} \right] = 25 \text{ Ом},$$

где  $l$  – длина горизонтальной полосы, м.

На примере вычисления общего стационарного сопротивления заземлителя показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [12], подходящей под требования данного расчёта:

$$R = \frac{R_{\text{ЭВ}} \cdot R_{\text{ЭГ}}}{\eta \cdot (n_B \cdot R_{\text{ЭГ}} + n_G \cdot R_{\text{ЭВ}})}, \quad (128)$$

$$R = \frac{121 \cdot 25}{0,75 \cdot (8 \cdot 121 + 8 \cdot 25)} = 3,5 \text{ Ом},$$

где  $\eta$  - коэффициент использования, 0,75;

$n_B$  - число вертикальных электродов;

$n_G$  - число горизонтальных электродов;

На примере вычисления импульсного сопротивления вертикального электрода показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [12], подходящей под требования данного расчёта:

$$R_{uB} = \frac{\alpha_{uB} \cdot R_{\text{ЭВ}}}{\eta \cdot n_B}, \quad (129)$$

$$R_{uB} = \frac{1 \cdot 121}{0,75 \cdot 8} = 20 \text{ Ом},$$

где  $\alpha_{uB} = 1$  - импульсный коэффициент вертикального электрода.

На примере вычисления удельной индуктивности горизонтального заземлителя показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [12], подходящей под требования данного расчёта:

$$L_o = 0,2 \cdot \left( \ln \frac{l}{r} - 0,31 \right), \quad (130)$$

$$L_o = 0,2 \cdot \left( \ln \frac{4}{0,01} - 0,31 \right) = 1,14 \text{ мкГн/м:}$$

На примере вычисления импульсного коэффициента горизонтального заземлителя показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [12], подходящей под требования данного расчёта:

$$\alpha_{u\Gamma} = 1 + \frac{L_o \cdot l}{3 \cdot \tau_\phi \cdot R_{\text{эГ}}} \alpha_{u\Gamma}, \quad (131)$$

$$\alpha_{u\Gamma} = 1 + \frac{1,14 \cdot 4}{3 \cdot 2 \cdot 25} = 1,03,$$

где  $\tau_\phi = 2 \text{ мкс}$  - длительность фронта тока молнии.

На примере вычисления импульсного сопротивления горизонтального заземлителя показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [12], подходящей под требования данного расчёта:

$$R_{u\Gamma} = \alpha_u \cdot R_{\text{эГ}}, \quad (132)$$

$$R_{u\Gamma} = 1,03 \cdot 25 = 26 \text{ Ом.}$$

На примере вычисления общего импульсного сопротивления заземлителя показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [12], подходящей под требования данного расчёта:

$$R_u = \frac{R_{u\Gamma} \cdot R_{uB}}{\eta_u \cdot (n_B \cdot R_{u\Gamma} + n_\Gamma \cdot R_{uB})}, \quad (133)$$

$$R_u = \frac{26 \cdot 20}{0,75 \cdot (8 \cdot 26 + 8 \cdot 20)} = 1,9 \text{ Ом.}$$

На примере проверки соответствия требованиям ПУЭ по стационарному сопротивлению заземлителя допустимой величине в сети 10 кВ НПС-20 показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [23], подходящей под требования данного расчёта:

$$R \leq R_{c \text{ доп нуэ}};$$

$$3,5 \text{ А} \leq 4 \text{ Ом.}$$

По требованиям ПУЭ величина стационарного сопротивления заземлителя в сети 10 кВ НПС-20 допускается до 4 Ом.

На примере проверки соответствия требованиям ПУЭ по импульсному сопротивлению заземлителя допустимой величине в сети 10 кВ НПС-20 показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [23], подходящей под требования данного расчёта:

$$R_u \leq R_{u \text{ доп нуэ}};$$

$$1,9 \text{ А} \leq 9 \text{ Ом.}$$

По требованиям ПУЭ величина импульсного сопротивления заземлителя в сети 10 кВ НПС-20 допускается до 9 Ом.

## 17 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ

Для данного раздела предусмотрено описание мер безопасности во время работ по реконструкции системы внутреннего электроснабжения 10 кВ НПС-20, мер пожарной безопасности при возникновении пожара в сетях 10 кВ НПС-20, а также рассчитывается маслоприёмник КТП-1 с маячным трансформатором ТМ-1600/10.

### 17.1 Безопасность

В данном пункте приводится описание порядка соблюдения мер безопасности работниками НПС-20, подрядными организациями и оперативным персоналом при работах в системе электроснабжения 10 кВ НПС-20.

Для безопасности персонала, выполняющего работы по подключению к системе электроснабжения 10 кВ электроустановок подстанции НПС-20 предусматриваются блокировки, устройства заземления и переносные или стационарные плакаты.

В РУ-10 кВ ПС НПС-20 оперативная блокировка при подключении к системе электроснабжения 10 кВ КРУ НПС-20 не позволяет выполнить включение выкатанного элемента с выключателем 10 кВ при включённом заземлении самой тележки, силовых цепей шкафа КРУ-10 кВ. А также использована блокировка, препятствующая включению заземляющих ножей на ошиновку секции шин, не отделенную разъединителями от ошиновки, находящейся под напряжением. Для силовых трансформаторов 10/0,4 кВ ТП в РУВН установлена блокировка включения и отключения нагрузочного тока силового трансформатора 10/0,4 кВ.

Проведение работ на КЛ-10 кВ ПС НПС-20 допускается только в том случае, если заземляющие ножи линейных разъединителей со стороны подачи питания механически заблокированы по отношению к приводу включения линейного разъединителя.

В РУ-10 кВ ПС НПС-20 исполнение блокировки от ошибочных оперативных переключений выполнено как в виде механических замков, так и в виде

электромагнитных устройств запираания, ключи снятия блокировки находятся у ответственного персонала для исключения снятия или установки блокировок в РУ-10 кВ посторонними лицами.

Блокировки безопасности в РУ-10 кВ ПС НПС-20 представляют собой такие устройства, которые блокируют вход лиц эксплуатационного или ремонтного персонала в обслуживаемые КРУ-10 кВ ПС НПС-20 или испытательного оборудования, в которых остается возможность прикосновения или опасного приближения к токоведущим частям или к частям оборудования, находящегося под напряжением [20].

Реализация блокирующих устройств в КРУ-10 кВ ПС НПС-20 основывается на электрических замках, которые можно отпереть лишь при снятии напряжения с оборудования. Цепи питания оборудования ВН в КРУ-10 кВ ПС НПС-20 оснащаются вспомогательными контактами, автоматически размыкающимися при открытии двери шкафа КРУ-10 кВ ПС НПС-20.

Устройства обеспечения безопасности в РУ-10 кВ ПС НПС-20 включают в себя стационарные заземляющие ножи линейных ячеек КРУ-10 кВ, ячейки трансформатора напряжения для каждой секции шин. Ревизия стационарных заземляющих ножей в КРУ-10 кВ ПС НПС-20 выполняется перед каждым проведением работ в КРУ, при этом проверяется окраска в черный цвет заземляющих ножей, рукоятей привода в красный цвет, вспомогательные привода окрашиваются в соответствии с цветом оборудования РУ-10 кВ.

Устройства обеспечения безопасности в РУ-10 кВ ПС НПС-20 включают в себя переносные заземляющие ножи, для которых имеются в КРУ-10 кВ подготовленные поверхности и крепления для их надёжного монтажа.

Барьеры и ограничительные конструкции в РУ-10 кВ ПС НПС-20 представляют собой такие устройства, которые располагаются на входе в отсек выкатного элемента КРУ-10 кВ в случае если токоведущие части оставлены под напряжением. Барьеры представляют собой съёмную конструкцию и используются также в отсеке силового трансформатора 10/100,4 кВ КТП системы электроснабжения 10 кВ ПС НПС-20, высота установки составляет 1,2 м от

уровня пола или нулевой отметки помещения, в случае перепада уровня земли и уровня рабочей поверхности барьер устанавливается на расстоянии 0,5 м от входной двери в помещение для работы.

В КТП 10/0,4 кВ системы электроснабжения 10 кВ ПС НПС-20 в силовых отсеках трансформаторов 10/0,4 кВ расположение указателей уровня и температуры масла маслонеполненных трансформаторов соответствует безопасным условиям доступа к ним для получения информации о контролируемых параметрах без необходимости в снятии напряжения.

Устанавливать заземления для безопасности работников в РУ КТП на токоведущие части КТП 10/0,4 кВ системы электроснабжения 10 кВ ПС НПС-20 необходимо после проверки отсутствия напряжения.

Переносное заземление перед работой присоединяется надежным проводником к заземляющему устройству КТП, далее проверяется отсутствие напряжения, затем проводится установка заземления на токоведущие части, где располагается рабочее место персонала.

Переносное заземление после работы на рабочем месте отсоединяется от токоведущей части, далее отсоединяется от заземляющего устройства КТП 10/0,4 кВ системы электроснабжения 10 кВ ПС НПС-20.

Во время установки и снятия переносных заземлений в КРУ-10 кВ ПС НПС-20 работники из числа бригады применяют для защиты от поражения электрическим током диэлектрические перчатки и изолирующие штанги.

В КТП 10/0,4 кВ системы электроснабжения 10 кВ ПС НПС-20 запрещается касаться проводящих частей заземления при его установке или снятии.

Работы по подключению к системе электроснабжения 10 кВ ПС НПС-20 электродвигателей 10 кВ проводятся на отключенных электродвигателях, когда вращающиеся части двигателя не находятся под напряжением и не приводятся в движение никакими механизмами, а также с учётом включенных устройств блокировки щита управления и возбуждения, предотвращающих ошибочный пуск электродвигателя. Работу, не связанную с прикосновением к токоведущим или вращающимся частям электродвигателя системы электроснабжения 10 кВ

ПС НПС-20 и приводимого им в движение механизма, разрешается производить на работающем электродвигателе [20].

В системе электроснабжения 10 кВ ПС НПС-20 при работе на электродвигателях 10 кВ не допускается демонтировать ограждения вращающихся частей электродвигателя и механизма, привод которого осуществляет двигатель.

При работе на электродвигателе 10 кВ в системе электроснабжения 10 кВ ПС НПС-20 допускается установка переносного заземления на любом участке КЛ-10 кВ в системе электроснабжения, соединяющей электродвигатель с секцией РУ. Если проведение работ по обслуживанию электродвигателя проводится более чем в течении суток, то питающая КЛ электродвигатель заземляется со стороны подачи напряжения от электродвигателя.

В системе электроснабжения 10 кВ ПС НПС-20 привода насосов, электродвигатели которых находятся на обслуживании запираются блокирующими механизмами, роторы электродвигателей снабжаются тормозными устройствами, стягивающие муфты блокировок проверяются после их установки.

Все накладываемые блокировки или ограничения на работу электродвигателей системы электроснабжения 10 кВ ПС НПС-20 заносятся в соответствующий оперативный журнал под контролем старшего смены системы электроснабжения 10 кВ ПС НПС-20.

Схемы ручного, дистанционного и автоматического управления электроприводами двигателей 10 кВ системы электроснабжения 10 кВ ПС НПС-20 подлежат разборке и снятию с них напряжения до того, как работники приступают к работам на электродвигателях 10 кВ. Щиты управления и ручки приводных механизмов подлежат обязательной маркировке, исключающей двойственного трактования их назначения, в указанных местах обеспечивается размещение плакатов «Не открывать! Работают люди», «Не включать! Работают люди» оперативным или оперативно-ремонтным персоналом.

Так как в системе электроснабжения электродвигателей 10 кВ ПС НПС-20 использованы агрегаты одинакового типоразмера, установленный в одном помещении, то при работе на любом из двигателей плакат «Стоять! Напряжение»

устанавливается на всех электродвигателях независимо от того, находятся они в работе или остановлены.

В системе электроснабжения 10 кВ ПС НПС-20 используется следующий порядок включения электродвигателя – бригада работников с места работы выводится производителем работ, далее производитель работ оформляет окончание работы и сдает наряд-допуск оперативному персоналу. Операции по снятию заземлений, плакатов и блокировок, сборке схем управления выполняются оперативным персоналом НПС-20. После того, как опробованы работы электродвигателя произведено и выявлены дополнительные неисправности электродвигателя, рабочее место занимает оперативный персонал и осуществляется повторный допуск к работе на электродвигателе.

Работу на вращающемся электродвигателе по обслуживанию щеточного аппарата без или с соприкосновением с токоведущими и вращающимися частями разрешается проводить по распоряжению и только обученному для этой цели работнику с группой допуска по электробезопасности не ниже III. При этом работник обеспечивается средствами защиты лица и глаз, в застегнутой спецодежде, диэлектрическими галошами.

Инструкциях по охране труда в системе электроснабжения 10 кВ ПС НПС-20 содержат исчерпывающий перечень требований к подготовке рабочего места и организации безопасного проведения работ на электродвигателях, учитывающие виды используемых электрических машин, особенности пускорегулирующих устройств, специфику механизмов, технологических схем [10].

### **17.2 Экологичность**

В данном пункте для проведения расчётов выбирается маслоприёмник КТП 10/0,4 кВ с целью определить его характеристики, что позволит избежать экологический ущерб в случае утечки трансформаторного масла. Наибольший ущерб возможен для КТП-1, на которой установлены силовые трансформаторы ТМ-1600/10 с наибольшей массой трансформаторного масла, поэтому габариты маслоприёмника определяются для КТП-1.

Для системы электроснабжения НПС-20 применительно к КТП-1 выбирается заглубленный маслоприемник без организации отвода масла в маслобункер, что позволит свести к минимуму экологический ущерб окружающей среде [21].

Место расположения маслоприемника на КТП-1 находится под силовым отсеком трансформаторов 10/0,4 кВ.

Удержание полного объема масла маслоприёмником по требованиям [33] также учитывается в расчётах маслоприемника на КТП-1, так как паспортные данные трансформатора ТМ-1600/10 содержат информацию о необходимых 1400 кг трансформаторного масла.

Габаритные размеры по паспортным данным трансформатора ТМ-1600/10 приведены на рисунке 6.

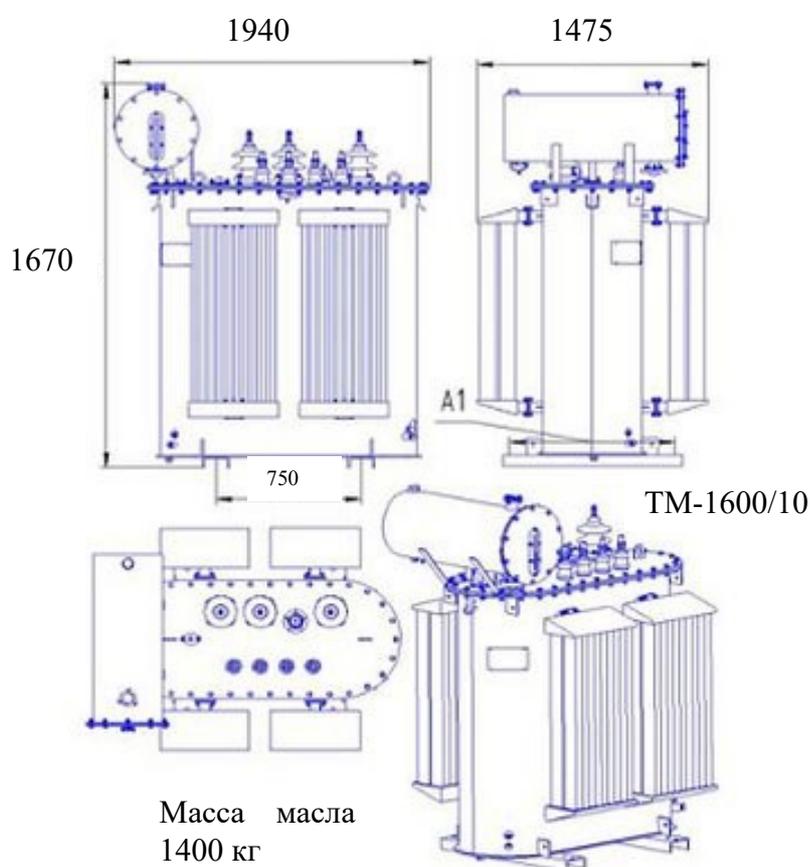


Рисунок 6 – Паспортные данные трансформатора ТМ-1600/10 [22]

По [22] определяются габариты маслоприёмника с учётом выступов по 0,6 м за габариты силового трансформатора ТМ-1600/10

На примере расчёта площади маслоприёмника КТП-1 показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [21], подходящей под требования данного расчёта:

$$S_{МП} = (A + 2 \cdot \delta) \cdot (B + 2 \cdot \delta) , \quad (134)$$

$$S_{МП} = (1,94 + 2 \cdot 0,6) \cdot (1,475 + 2 \cdot 0,6) = 8,4 \text{ м}^2$$

где  $A$  - паспортная длина трансформатора, 1,94 м [22];

$B$  - паспортная ширина трансформатора, 1,475 м [22];

$\delta$  - ширина выступа за габариты трансформатора, 0,6 м [23].

На примере расчёта объёма трансформаторного масла КТП-1 показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [21], подходящей под требования данного расчёта:

$$V_{ТМ} = \frac{M}{\rho_{ТМ}} , \quad (135)$$

$$V_{ТМ} = \frac{1400}{880} = 1,59 \text{ м}^3$$

где  $M$  - масса масла, 1400 кг [22];

$\rho_{ТМ}$  - плотность масла, 880 кг/м<sup>3</sup> [24];

На примере расчёта высоты маслоприёмника КТП-1, при которой весь объём масла удерживается маслоприёмником, показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [21], подходящей под требования данного расчёта:

$$h_{ТМ} = \frac{V_{ТМ}}{S_{МП}} , \quad (136)$$

$$h_{TM} = \frac{1,59}{8,4} = 0,189 \text{ м.}$$

На примере расчёта высоты маслоприёмника КТП-1 показывается подробный порядок применения расчётной формулы, взятой в [21], подходящей под требования данного расчёта:

$$h_{МП} = h_{TM} + h_2 + h_{en} \quad (137)$$

$$h_{МП} = 0,189 + 0,25 + 0,05 + 0,075 = 0,564.$$

где  $h_2$  - толщина слоя гравия на решетке, 0,25 м [21];

$h_p$  - расстояние до решетки, 0,05 м [21];

$h_{en}$  - толщина воздушной прослойки над гравием, 0,075 м [21].

Для наглядности конструкции на рисунке 7 изображается эскиз маслоприёмника КТП-1.

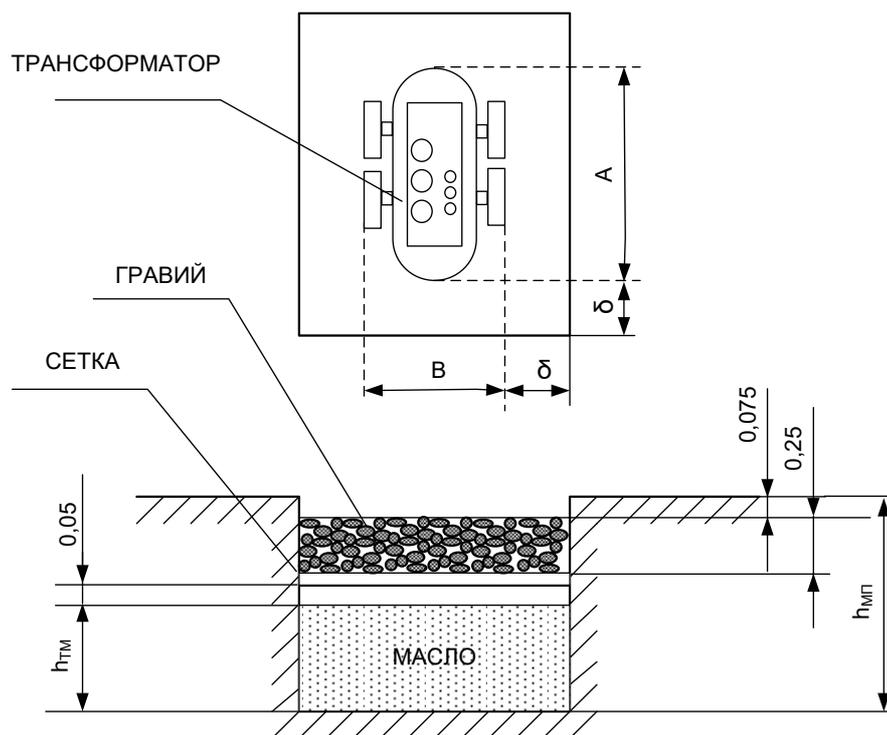


Рисунок 7 - Эскиз маслоприёмника КТП-1 2х1600 кВА

### 17.3 Чрезвычайные ситуации

В данном пункте определяется пожар на элементах системы электропитания 10 кВ НПС-20 в качестве вероятной чрезвычайной ситуации, возникновение которой должно быть предупреждено при соблюдении определенных мер [25].

К каждому цеху или участку производства работ по прокладке кабельных линий 10 кВ системы электропитания НПС-20 приказом вышестоящего руководителя представляется ответственный работник для обеспечения надежной эксплуатации и соблюдения противопожарных мероприятий.

Кабельные линии 10 кВ и КТП 10/0,4 кВ системы электропитания НПС-20 в соответствии с графиком осматриваются ответственным работником с занесением всех обнаруженных замечаний в оперативный журнал. Ведение оперативного журнала находится на постоянном контроле у старшего смены службы технологического оборудования НПС-20, записи о нарушениях мест уплотнения межперегородочных переходов, переходов между перекрытиями или другими технологическими конструкциями кабельных линий 10 кВ системы электропитания НПС-20 должны в кратчайший срок быть доведены до ремонтного персонала, отмеченные неисправности устраняются незамедлительно. Уплотнение переходов кабелей 10 кВ системы электропитания НПС-20 выполнено с применением огнестойких негорючих материалов и составов.

Кабельные сооружения системы электропитания 10 кВ НПС-20 находятся в закрытом состоянии с исправными креплениями кабелей 10 кВ, посторонние предметы, жидкости, мусор не допустимо оставлять на кабельных сооружениях и кабелях 10 кВ.

Обнаруженные места в кабельных сооружениях системы электропитания 10 кВ НПС-20, которые подверглись воздействию воды, пара, пыли твердого топлива, масла, мазута должны быть немедленно ограждены во избежание травматизации персонала, а также должен быть проведен комплекс работ по предотвращению развития загрязнения, далее проводятся работы по устранению загрязнений.

Доступ в кабельные сооружения системы электроснабжения 10 кВ НПС-20 разрешается после согласования со старшим смены системы электроснабжения 10 кВ НПС-20.

Проведение ремонтов на кабельных сооружениях системы электроснабжения 10 кВ НПС-20 разрешается при наличии наряда на производство работ, при этом ответственный за надзор при проведении работ в обязательном порядке осуществляется работником из числа оперативного персонала НПС-20, владеющего в полной мере информацией о схемах кабельных сетей 10 кВ и наименовании оборудования [25].

Проведение обследований кабельных сооружений системы электроснабжения 10 кВ НПС-20 для работников контролирующих организаций допускается только при наличии ответственного лица, сопровождающего бригаду работников контролирующей организации. Количество работников бригады не более 5 человек, оснащение осветительными фонарями должно быть не менее 1 пожаровзрывобезопасного фонаря на бригаду.

Пути эвакуации из кабельных сооружений системы электроснабжения 10 кВ НПС-20 обозначаются специальными табличками, имеющими подсветку и располагаются через каждые 50 м.

Факты выявления повреждений изоляции кабелей 0,4-10 кВ системы электроснабжения НПС-20 заносятся в оперативный журнал и подлежат немедленной передаче ремонтному персоналу для работы по устранению и ремонта кабелей 0,4-10 кВ.

Места выхода кабелей 0,4 кВ из проходных кабельных коробов системы электроснабжения НПС-20 снабжаются штуцерами и металлическими рукавами. Проложенные в металлических коробах кабели 0,4 кВ разделяются посредством установки разделительных перегородок, а также в местах перехода в другие кабельные сооружения, по трассе горизонтальной прокладки через каждые 30 м, в местах ответвления в другие конструкции и перехода через перекрытия по вертикальным отметкам уплотняются материалом огнестойкостью не менее 0,75 ч.

Режимы работы кабелей 0,4-10 кВ системы электроснабжения НПС-20 поддерживаются таким образом, что не превышает длительно допустимый по условию нагрева ток кабелей. Источники внешнего нагрева кабелей 0,4-10 кВ системы электроснабжения НПС-20 не применяются в условиях текущей эксплуатации и не допускаются к длительному воздействию.

Кабельные сооружения новых и расширяемых частей системы электроснабжения НПС-20 принимаются в эксплуатацию после устранения всех замечаний приёмо-сдаточной комиссии с оформлением акта приемки.

В проектируемой системе электроснабжения НПС-20 кабели с горючей полиэтиленовой изоляцией не применяются и отсутствуют места пересечения кабелей 0,4-10 кВ с коммуникациями систем электроснабжения и водоснабжения, а также другими каналами и коробами.

Кабельные каналы и двойные полы в РУ КТП 10/0,4 кВ при прокладке кабелей в них монтируются с использованием негорючих панелей. Съёмные негорючие панели и щиты, закрывающие кабельные каналы, снабжены устройствами быстрого их подъёма без вспомогательных конструкций.

Силовые трансформаторы КТП системы электроснабжения НПС-20 выбраны и проверены по работе без перегрузок, снабжены устройствами защиты и автоматики, позволяющими отключать аварийные режимы работы трансформаторов.

Проверка соответствия установленным нормам по изоляционным характеристикам трансформаторного масла силовых трансформаторов 10/0,4 кВ КТП системы электроснабжения НПС-20 проводится в соответствии с техническим регламентом не менее 1 раза в полугодие.

Ревизия исправной работы и состояния устройств охлаждения силовых трансформаторов 10/0,4 кВ КТП системы электроснабжения НПС-20 выполняется в порядке текущей эксплуатации [25].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения работы были проведены расчёты нагрузок НПС-20 и вахтового посёлка, определены токи КЗ в сетях 10 кВ, выбраны вакуумные выключатели на стороне 10 кВ ПС, оборудование стороны 10 кВ. Всё оборудование проверено по условиям необходимой работы, отвечает всем видам проверки по стойкости к токам КЗ. Выполнены расчёты РЗиА внутренних сетей 10 кВ. Рассмотрены вопросы устройства телемеханики и измерения по территории НПС-20, а также меры безопасности при работе в РУ-10 кВ ПС НПС-20.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Официальный сайт ООО «Транснефть – Восток» URL: [https://vostok.transneft.ru/about/map/ООО «Транснефть – Восток»](https://vostok.transneft.ru/about/map/ООО%20«Транснефть%20–%20Восток») (доступ от 1.02.2023).
- 2 Сибикин, Ю. Д. Электроснабжение [Текст] : учеб. пособие / Ю. Д. Сибикин, М. Ю. Сибикин. - М. : РадиоСофт, 2012. - 328 с. : рис., табл. - Библиогр. : с. 326
- 3 Электроснабжение объектов [Текст] : учеб. пособие для СПО / Е. А. Конюхова. - 9-е изд., испр. - М. : Академия, 2013. - 320 с. : рис., табл. - (Среднее проф. образование. Электротехника). - Библиогр. : с. 311
- 4 Порядок расчета значений соотношения потребления активной и реактивной мощности для отдельных энергопринимающих устройств (групп энергопринимающих устройств) потребителей электрической энергии. Утвержден приказом Минэнерго России от 23 июня 2015 г. № 380.
- 5 Кужеков, С. Л. Практическое пособие по электрическим сетям и электрооборудованию [Текст] / С. Л. Кужеков, С. В. Гончаров. - 4-е изд., доп. и перераб. - Ростов н/Д : Феникс, 2010. - 493 с. : рис., табл. - (Профессиональное мастерство). - Библиогр. : с. 480.
- 6 Мясоедов, Ю. В. Системы электроснабжения промышленных объектов и городов [Электронный ресурс] : учеб. пособие. Ч. 2. Электроснабжение жилых домов с улучшенной планировкой и коттеджей / Ю. В. Мясоедов, Л. А. Мясоедова, И. Г. Подгурская ; АмГУ, Эн. ф. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2015. - 162 с. - Режим доступа [http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU\\_Edition/7366.pdf](http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/7366.pdf) (дата обращения: 10.04.2023).
- 7 Судаков, Г. В. Электроснабжение [Электронный ресурс] : учеб. пособие: учеб.-метод. комплекс для спец. 140204, 140205, 140203 / Г. В. Судаков, Т. Ю. Ильченко, Н. С. Бодруг ; АмГУ, Эн.ф. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2007. - 364 с. - Б. ц

8 Порядок расчета значений соотношения потребления активной и реактивной мощности для отдельных энергопринимающих устройств (групп энергопринимающих устройств) потребителей электрической энергии. Утвержден приказом Минэнерго России от 23 июня 2015 г. № 380.

9 Руководящие указания по расчёту токов короткого замыкания и выбору электрооборудования РД 153-34.0-20.527-98. Утв. Департаментом стратегии развития и научно-технической политики 23.03.1998 г.

10 Официальный сайт АО «ДРСК» - Тариф покупки потерь электроэнергии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http:// www.drsk.ru/](http://www.drsk.ru/) (дата обращения: 28.04.2023).

11 СТО 56947007-29.240.10.028-2009. Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ. – 13.04.2009

12 Электроснабжение объектов [Текст] : учеб. пособие для СПО / Е. А. Конюхова. - 9-е изд., испр. - М. : Академия, 2013. - 320 с. : рис., табл. - (Среднее проф. образование. Электротехника). - Библиогр. : с. 311

13 Официальный сайт Тындинского округа Амурской области – Инвестиционный паспорт - [Электронный ресурс]. – URL: [https://atrtynda.ru/files/ekon/investicyi/%D0%98%D0%BD%D0%B2%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%B8%D1%86%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B9\\_%D0%BF%D0%B0%D1%81%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%82\\_2021\\_%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D0%B9.pdf](https://atrtynda.ru/files/ekon/investicyi/%D0%98%D0%BD%D0%B2%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%B8%D1%86%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%BF%D0%B0%D1%81%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%82_2021_%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D0%B9.pdf) (дата обращения: 20.05.2023).

14 Андреев, В. А. Релейная защита систем электроснабжения в примерах и задачах [Текст] : учеб. пособие : рек. УМО / В. А. Андреев. - М. : Высш. шк., 2008. - 253 с. : рис., табл. - (Для высших учебных заведений. Электротехника). - Библиогр. : с. 248 . - ISBN 978-5-06-005828-4

15 Файбисович, Д.Л. Справочник по проектированию электрических сетей : справочник / Д.Л. Файбисович, И.Г. Карапетян. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: ЭНАС, 2012. – 376 с.

16 Савина Н. В. Системы электроснабжения [Электронный ресурс] : учеб.-метод. комплекс дисц. для спец. 140211.65 / АмГУ, Эн.ф. ; сост. Н. В. Савина . - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2012. - 124 с. – Режим доступа: [http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU\\_Edition/6056.pdf](http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/6056.pdf) (дата обращения: 10.05.2023).

17 Савина Н. В. Техника высоких напряжений. Грозовые перенапряжения и защита от них [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Н. В. Савина ; АмГУ, Эн. ф. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2015. - 191 с. - Режим доступа: [http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU\\_Edition/7361.pdf](http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/7361.pdf) (дата обращения: 10.05.2023).

18 Киреева Э. А. Полный справочник по электрооборудованию и электротехнике (с примерами расчетов) [Текст] / Э. А. Киреева, С. Н. Шерстнев. - 2-е изд., стер. - Москва : КНОРУС, 2013. - 864 с. : табл. - Библиогр.: с. 860-862.

19 Козлов А. Н. Микропроцессорные средства управления [Электронный ресурс] : учеб. пособие для направления подготовки "Электроэнергетика и электротехника". Ч. 1 . Построение основных функций цифровых релейных защит / АмГУ, Эн.ф. ; сост. А. Н. Козлов. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2017. - 54 с. - Режим доступа: [http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU\\_Edition/7739.pdf](http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/7739.pdf) (дата обращения: 24.05.2023).

20 Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок утв. Приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 15 декабря 2020 года

21 Булгаков А.Б. Охрана окружающей среды в электроэнергетике [Электронный ресурс] : учеб. пособие / А. Б. Булгаков ; АмГУ, ИФФ. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2020. - 90 с.

22 Чебоксарские трансформаторы Маркетплейс [Электронный ресурс]. – <https://cheb-transformator.com/catalog/tm1600>– 04.05.2023 г.

23 Правила устройства электроустановок (ПУЭ). 7-е изд. – М.: «Издательство НЦ ЭНАС», 2002. – 488 с.

- 24 ГОСТ 982-80. Масла трансформаторные
- 25 Правила пожарной безопасности для энергетических предприятий : Руководящий документ РД-153.-34.0-03.301-00. – М. : ЗАО Энергетические технологии, 2000. – 116 с.
- 26 Схемы и подстанции электроснабжения [Текст] : справ.: учеб. пособие: рек. УМО / Г. Н. Ополева. - М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2006. - 480 с. : рис., табл. - Библиогр.: с. 473 . - ISBN 5-8199-0254-8 (в пер.). - ISBN 5-16-002581-2
- 27 Электроснабжение силовых электроприемников цеха промышленного предприятия [Электронный ресурс] : учеб. пособие / В. Б. Шлейников, Т. В. Сазонова. - Оренбург : Оренбург. гос. ун-т, 2012. - 110 с. - Б. ц.
- 28 Электроснабжение специальных объектов [Электронный ресурс] : сб. учеб.-метод. материалов для направления подготовки 13.03.02 "Электроэнергетика, электротехника" / АмГУ, Эн.ф. ; сост.: Ю. В. Мясоедов, Л. А. Мясоедова, И. Г. Подгурская. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2017. - 111 с.
- 29 Монтаж, наладка, эксплуатация и ремонт систем электроснабжения промышленных предприятий [Текст] : учеб. пособие : рек. УМО / Н. К. Полуянович. - СПб. : Лань, 2012. - 400 с. : рис., табл. - (Учебники для вузов. Спец. лит.). - Библиогр. : с. 390 . - ISBN 978-5-8114-1201-3
- 30 ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – Введён 2014-07-01. – М.: Изд-во Стандартиформ. – 2014.
- 31 Официальный сайт ООО «Таврида-Электрик» - Руководство по эксплуатации ограничителей перенапряжения [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.tavrida.ru/upload/iblock/f97/TER\\_CBdoc\\_UG\\_12.pdf](https://www.tavrida.ru/upload/iblock/f97/TER_CBdoc_UG_12.pdf) (дата обращения: 10.05.2023).