

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
« _____ » _____ 2022 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему: Реконструкция системы внутреннего электроснабжения напряжением 10 кВ Бурейского района Амурской области с центром питания подстанция НПС-28

Исполнитель
студент группы 842-узб

подпись, дата

В.А. Кособуцкий

Руководитель
профессор,
канд.техн.наук, доцент

подпись, дата

Ю.В. Мясоедов

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

подпись, дата

А.Б. Булгаков

Нормоконтроль
ст. преподаватель

подпись, дата

Л.А. Мясоедова

Благовещенск 2022

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
« _____ » _____ 20__ г.

З А Д А Н И Е

К выпускной квалификационной работе студента В.А. Кособуцкий

1. Тема выпускной квалификационной работы: Реконструкция системы внутреннего электроснабжения напряжением 10 кВ Бурейского района Амурской области с центром питания подстанция НПС-28

(утверждена приказом от ____ . ____ .2022г. № _____)

2. Срок сдачи студентом законченной работы (проекта) _____

3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе: схема сетей 10 кВ НПС-28, однолинейная схема ПС «НПС-28», контрольный замер в электрических сетях за 2021 год, схема и план развития Амурской области на период до 2030 года.

4. Содержание выпускной квалификационной работы (перечень подлежащих разработке вопросов): характеристика района проектирования, расчёт нагрузок, выбор рационального напряжения, компенсация реактивной мощности, определение центра электрических нагрузок, 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 на воздействие токов короткого замыкания, выбор электрических аппаратов, оборудование комплектных трансформаторных подстанций, релейная защита и автоматика, компенсация емкостных токов замыкания на землю, молниезащита, заземление здания насосной, безопасность и экологичность.

5. Перечень материалов приложения: (наличие чертежей, таблиц, графиков, схем, программных продуктов, иллюстративного материала и т.п.): план нпс-28, варианты внутривидовых сетей 10 кВ НПС-28, микропроцессорная защита кабельной линии 10 кВ, однолинейная схема ПС НПС-28, однолинейная схема КТП 10/0,4 кВ, план и разрез КТП 10/0,4 кВ, однолинейная схема электроснабжения НПС-28

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

7. Дата выдачи задания _____

Руководитель выпускной квалификационной работы: _____

(фамилия, имя, отчество, должность, ученая степень, ученое звание)

Задание принял к исполнению (дата): _____

(подпись студента)

РЕФЕРАТ

Бакалаврская работа содержит 108 с, 10 рисунков, 24 таблицы, 35 источников.

НАГРУЗКА, РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО, РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА, ТРАНСФОРМАТОР, КАБЕЛЬНАЯ ЛИНИЯ, ВЫКЛЮЧАТЕЛЬ, РАЗЪЕДИНИТЕЛЬ, ЖЕСТКАЯ ОШИНОВКА, НЕФТЕПЕРЕКАЧИВАЮЩАЯ СТАНЦИЯ, ОГРАНИЧИТЕЛЬ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ, МОЛНИЕОТВОД, ПАРАМЕТР ПОТОКООТКАЗОВ, УСТАВКА СРАБАТЫВАНИЯ.

Объектом разработки принимается система внутреннего электроснабжения напряжением 10 кВ района НПС-28 в Амурской области. В работе рассматриваются способы выполнения внутривозрадных сетей ПС НПС-28. Цель выпускной квалификационной работы – реконструкция системы внутреннего электроснабжения напряжением 10 кВ Бурейского района Амурской области с центром питания

ПС НПС- 28. В работе определены уровни токов КЗ на ПС. Выбраны уставки средств РЗ и А трансформаторов для защиты линий 10 кВ и двигателей 10 кВ.

СОДЕРЖАНИЕ

Определения, обозначения, сокращения	6
Введение	7
1 Характеристика района проектирования	9
2 Расчёт нагрузок	11
3 Выбор рационального напряжения	16
4 Компенсация реактивной мощности	17
5 Определение центра электрических нагрузок	19
6 Выбор варианта внутреннего электроснабжения	23
7 Распределительные линии 10 кВ	30
8 Техничко-экономическое обоснование варианта внутреннего электроснабжения	32
9 Расчет токов короткого замыкания в сети 10 кВ	34
10 Проверка выбранных сечений на воздействие токов короткого замыкания	38
11 Выбор электрических аппаратов	40
11.1 Выбор КРУ 10 кВ	40
11.2 Выбор выключателей 10 кВ	42
11.3 Выбор разъединителей 10 кВ	45
11.4 Выбор трансформаторов тока 10 кВ	47
11.5 Выбор трансформатора напряжения 10 кВ	52
11.6 Выбор ограничителей перенапряжений	54
11.7 Выбор предохранителей для защиты ТН	56
11.8 Выбор жестких шин на стороне 10 кВ	57
11.9 Выбор изоляторов	60
11.10 Выбор аккумуляторных батарей	62
12 Оборудование комплектных трансформаторных подстанций	66
12.1 Выбор числа и мощности трансформаторов КТП с учетом компенсации реактивной мощности	66

12.2	Выбор предохранителей для защиты трансформаторов ТП	68
12.3	Выбор выключателей нагрузки	70
13	Релейная защита и автоматика	73
13.1	Токовая отсечка без выдержки времени КЛ-10 кВ	73
13.2	Максимальная токовая защита КЛ-10 кВ	75
13.3	Защита от однофазных замыканий на землю КЛ-10 кВ	76
13.4	Токовая отсечка электродвигателей 10 кВ	78
13.5	Максимальная токовая защита электродвигателей 10 кВ	80
13.6	Устройства автоматического включения резерва	82
13.7	Защита трансформаторов 10/0,4 кВ	82
14	Компенсация емкостных токов замыкания на землю	86
15	Молниезащита, заземление здания насосной	87
16.1	Молниезащита здания насосной	87
16.2	Заземление здания насосной	88
16	Безопасность и экологичность	93
16.1	Безопасность	93
16.2	Экологичность	97
16.3	Чрезвычайные ситуации	99
	Заключение	103
	Библиографический список	105

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ

ВСТО – Восточная Сибири – Тихий океан;

ГЭС – гидроэлектростанция;

ЗНЗ – защита от замыкания на землю;

КЛ – кабельная линия;

КТП – комплектная трансформаторная подстанция;

МТЗ – максимальная токовая защита;

НБК – низковольтные батареи конденсаторов;

НПС – нефтяная перекачивающая станция;

СМНП - специальный морской нефтеналивной порт;

ТО – токовая отсечка;

ТЭО – технико-экономическое обоснование;

ВВЕДЕНИЕ

Стабильное развитие экономического сектора стимулирует непрерывное развитие энергетического сектора Российской Федерации. Большинство ранее выдвинутых инициатив развития Дальнего Востока продолжают своё существование в нынешней экономической модели региона и требуют обеспечения электроэнергией в большей степени.

Наряду с проектами территорий опережающего развития Дальнего Востока в 2010-2012 гг. были разработаны и проведены изыскания на сооружения ряда нефтеперекачивающих станций по территории Дальнего Востока для обеспечения транспортировки нефтепродуктов к нефтеналивным портам.

Для территории Амурской области одной из первых произошло сооружение НПС-28. Подключение НПС-28 к энергосистеме осуществлялось к ПС ЕНЭС на напряжении 220 кВ. Система внутреннего электроснабжения в подавляющем большинстве НПС выполнена на напряжении 10 кВ и обладала составом оборудования для обеспечения проектных мощностей начального этапа работы ВСТО.

Постепенный рост объёмов транспорта нефтепродуктов в рамках международного сотрудничества по проекту ВСТО приводит к необходимости пересмотра состава оборудования НПС для покрытия растущих потребностей.

В рамках выполнения данной выпускной квалификационной работы проводится расчёт параметров реконструкции системы внутреннего электроснабжения 10 кВ ПС НПС-28.

Цель бакалаврской работы – реконструкция системы внутреннего электроснабжения напряжением 10 кВ Бурейского района Амурской области с центром питания ПС НПС- 28.

Решаемые задачи в процессе разработки параметров реконструкции системы внутреннего электроснабжения 10 кВ ПС НПС-28:

1. Расчёт электрических нагрузок и определение его центра.
2. Выбор оптимального варианта сети 10 кВ.

3. Выбрать оборудование, проверить по стойкости к токам КЗ.
4. Выбрать уставки средств РЗА на подстанции.
5. Рассчитать заземление центра питания.
6. Рассмотреть меры безопасности при эксплуатации ПС.

Актуальность выпускной квалификационной работы состоит в том, что современные экономические условия внешнеэкономической деятельности России в отношении стран-потребителей нефтепродуктов по проекту ВСТО приводят к увеличению объёмов транспорта нефтепродуктов, что влечёт за собой необходимость частичной модернизации системы внутреннего электроснабжения НПС-28.

Ожидаемые результаты выпускной квалификационной работы приводятся с точки зрения правильности выбора силового электрооборудования и устройств защиты и автоматики, а также новизна выбираемого оборудования системы внутреннего электроснабжения НПС-28 является результатом выполнения работы.

Полученные результаты отражают перспективные возможности использования параметров реконструкции системы внутреннего электроснабжения 10 кВ ПС НПС-28.

Практическая значимость работы состоит в полученных выходных данных системы внутреннего электроснабжения 10 кВ ПС НПС-28 после выполнения всех необходимых мероприятий по её реконструкции, что в конечном итоге способствует повышению объёмов транспорта нефтепродуктов по проекту ВСТО.

Методология выполнения выпускной квалификационной работы включает в себя сбор информации на производственной и преддипломной практике, систематизацию справочной литературы, анализ общедоступных источников информации, обобщение знаний и умений, полученных за период обучения по специальности.

При проектировании использовались ПЭВМ и следующие лицензионные программные продукты: MS Office; MS Visio; Mathcad.

1 ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Промежуточная НПС-28 расположена в Бурейском районе Амурской области. По административно-территориальному делению участок работ расположен на землях Бурейского административного района. Автодорожная сеть в районе работ развита хорошо. Проектируемая НПС № 28 расположена в 3 км восточнее строящейся Нижнебурейской ГЭС. Территория проектируемой НПС-28 находится на возвышенности частично залесена. Отметки рельефа колеблются от 246 м до 274,5 м, [1].

Подъезд к НПС 28 планируется организовать от федеральной автодороги «Чита - Хабаровск».

Необходимая площадь под строительство:

- Территория НПС-28, га - 9,3577;
- Насосная 1-го подъема воды, га - 1,6907.

Климатические характеристики площадки строительства НПС-28 приняты по СНиП 2.01.07-85* «Нагрузки и воздействия», СНиП 23-01-99* «Строительная климатология»:

- Подъездная дорога от насосной к НПС и существующей автодороге с водоотводной канавой, га - 0,0113;
- Площадь, занимаемая под оголовок на выпуске очищенных сточных вод отводного коллектора, га - 0,0225;
- Площадь, занимаемая под колодец-гаситель напора отводного коллектора, га - 15,49;
- Площадь, занимаемая площадками временных зданий и сооружений, га - 1.9209.

Нормативное давление ветра по III району - 38 кг/м²;

расчетный вес снегового покрова по I-II району – 80-120 кг/м²;

температура наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 - минус 38 °С;

температура наиболее холодных суток обеспеченностью 0,98 - минус 42 °С;

абсолютная максимальная температура + 40 °С;

абсолютная минимальная температура минус 50 °С;

сейсмичность - 6 баллов.

Зона климатического районирования для строительства 1В.

На период изысканий грунтовые воды о пределах сферы взаимодействия проектируемых зданий и сооружений с геологической средой не встречены.

Питание грунтовых вод, преимущественно происходит за счёт перетекания из нижележащих водоносных горизонтов, разгрузка осуществляется в ближайшую эрозионную сеть.

Химический состав и степень агрессивности грунтовых вод приведены по данным инженерно-геологических изысканий на стадии ТЭО.

По химическому составу воды гидрокарбонатно-кальциевые с минерализацией 105,2 мг/л - вода пресная.

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 РАСЧЁТ НАГРУЗОК

Потребителями внутривозрадных сетей НПС-28 являются преимущественно двигатели магистральных насосов напряжением 10 кВ, в качестве вспомогательного оборудования используются электроприемники 0,4 кВ узла запорной арматуры, фильтра-грязеуловителя, емкости для сбора утечек нефти и дренажа, резервуара для хранения топлива, резервуара для хранения масла, блока измерений показателей качества нефти, резервуара противопожарного запаса воды, технологических помещений при резервуарах противопожарного запаса воды, станции биологической очистки сточных вод, лаборатории эколого-аналитического контроля, склада эколого- и химико-аналитических лабораторий, насосной станции хозяйственно-питьевого водоснабжения, здания котельной, открытой стоянки для техники, площадки для складирования труб, закрытой стоянки техники с ремонтным блоком, склада оборудования, запасных частей, служебно-бытового корпуса с узлом связи, бытового корпуса. Электроприёмники на напряжении 0,4 кВ подключены к системе электроснабжения от шин 0,4 кВ КТП 10/0,4 кВ. Всего на территории НПС-28 используются 2 КТП 10/0,4 кВ, их количество остаётся неизменным.

С момента введения НПС-28 в эксплуатацию изменился состав силового оборудования 10 кВ. По мере выхода на новые проектные мощности произошло увеличение планируемого объёма транспорта нефти, что является поводом пересмотра существующего состава оборудования 10 кВ в виде насосных агрегатов. Предусмотрены дополнительно устанавливаемые синхронные двигатели 2х8000 кВт, в связи с этим проводится реконструкция внутреннего электроснабжения напряжением 10 кВ Бурейского района Амурской области с центром питания ПС НПС- 28.

Добавление синхронных двигателей 2х8000 кВт в существующую схему электроснабжения 10 кВ НПС-28 не требует дополнительного строительства зданий и сооружений, так как на этапе проектирования НПС-28 был заложен резерв роста мощности и количества агрегатов насосной станции.

Рисунок 1, где отражен состав и расположение потребителей НПС-28 даётся для ознакомления ниже.

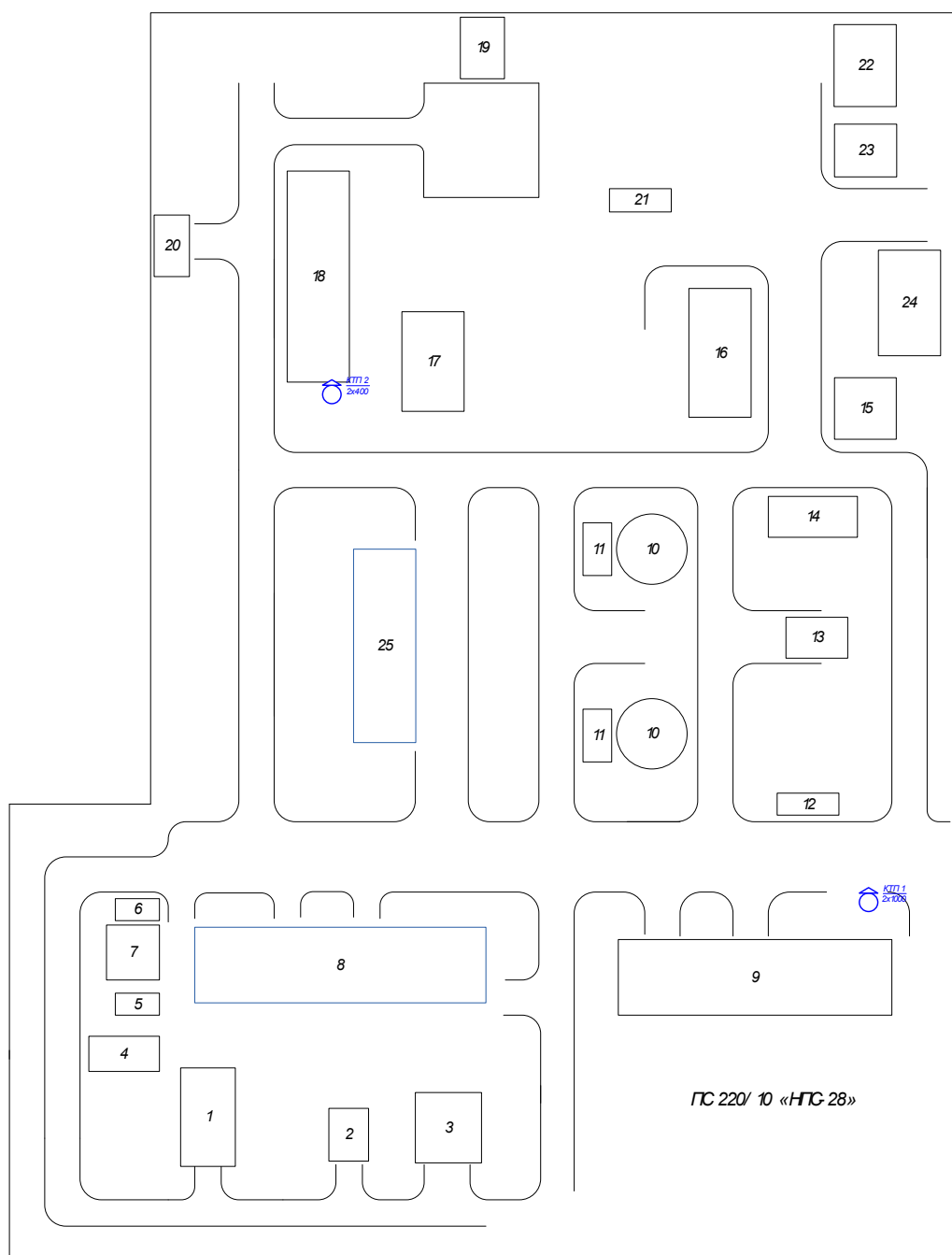


Рисунок 1 – Потребители НПС-28

Здание магистральной насосной 8 служит для размещения в нём двигателей 10 кВ насосов нефтеперекачки, основного и вспомогательного оборудования защиты и управления.

Таблица 1, куда можно свести все имеющиеся исходные данные о составе и расположению потребителей НПС-28 даётся для ознакомления ниже.

Таблица 1 – Характеристика потребителей

Наименование	Номер на плане	Руст, кВт	Ки	tgφ	Рр, кВт
Здание магистральной насосной	8	32000	0,60	0,484	19200
Узел запорной арматуры	4	50	0,30	0,484	15
Фильтр- грязеуловитель	1	50	0,80	0,484	40
Емкость для сбора утечек нефти и дренажа.	7	150	0,30	0,484	45
Резервуар для хранения топлива	13	50	0,30	0,484	15
Резервуар для хранения масла	6	20	0,40	0,484	8
Блок измерений показателей качества нефти (БИК)	5	20	0,40	0,484	8
Операторная ЗРУ, КТП	9	2530	0,9	0,484	1771
Дизельная электростанция	12	670	0,65	0,484	436
Насосная станция пожаротушения	25	800	0,9	0,484	400
Резервуар противопожарного запаса воды	10	220	0,40	0,484	88
Технологическое помещение при резервуарах противопожарного запаса воды	11	650,4	0,30	0,484	195
Станция биологической очистки сточных вод	20	50	0,30	0,484	15
Лаборатория эколого-аналитического контроля.	3	75,2	0,30	0,484	23
Склад эколого- и химико-аналитических лабораторий	2	75,2	0,30	0,484	23
Насосная станция хозяйственно-питьевого водоснабжения	19	18,1	0,30	0,484	5
Здание котельной	14	50,6	0,30	0,484	15
Открытая стоянка для техники	17	20	0,30	0,484	6
Площадка для складирования труб	21	20	0,30	0,484	6
Закрытая стоянка техники с ремонтным блоком. Склад оборудования, запасных частей.	18	1003,49	0,9	0,484	301
Служебно-бытовой корпус с узлом связи	24	190,1	0,75	0,484	143
Бытовой корпус. Столовая	16	184,5	0,70	0,484	129
Закрытая стоянка техники	22	7,8	0,30	0,484	2
Служебно-бытовой корпус аварийно-профилактических групп (АПГ)	23	38,7	0,30	0,484	12

В здания 9, 18 встроены КТП с соответствующей нагрузкой, таким образом, нагрузки потребителей 0,4 кВ, представленных в таблице 1, уже учтены в установленной нагрузке КТП согласно исходной информации по НПС-28.

Предусмотрен резерв на КТП-2 от ДЭС. КТП выполнены двухтрансформаторными мощностью 2х1000 и 2х400 кВА.

По заданной мощности потребителей 8,9,25,18, используя коэффициент использования K_u и коэффициент мощности, определяются суммарная расчётные активная P_{pi} и реактивная Q_{pi} мощности нагрузок, [2].

Проведение расчёта нагрузки здания магистральной насосной по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражениям:

$$P_p = P_{СУММ} \cdot K_u; \quad (1)$$

$$P_p = 32000 \cdot 0.6 = 19200 \text{ кВт};$$

$$Q_p = P_p \cdot \text{tg}\varphi; \quad (2)$$

$$Q_p = 19200 \cdot 0.484 = 9299 \text{ квар},$$

где K_u - коэффициент использования агрегатов магистральной насосной при работе в оптимальных условиях и количестве агрегатов 4, используется справочник [10];

$\text{tg}\varphi$ - коэффициент мощности агрегатов магистральной насосной используется справочник [20];

$P_{СУММ}$ – суммарная величина активной мощности агрегатов магистральной насосной с учётом вновь вводимых агрегатов 2х8000 кВт.

При реконструкции внутреннего электроснабжения напряжением 10 кВ ПС НПС- 28 учитывается режим работы насосов при их выводе в ремонт.

Таблица 2, куда можно свести все полученные в промежуточных вычислениях данные о расчётных нагрузках остальных потребителей НПС-28 даётся для ознакомления ниже.

Таблица 2 – Расчётные нагрузки потребителей

Наименование	$P_{\text{СУММ}}$, кВт	$Q_{\text{СУММ}}$, квар	$S_{\text{СУММ}}$, кВА	K_{II}	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА
Здание магистральной насосной (8 на плане)	32000	15498	35556	0,6	19200	9299	21333
Операторная ЗРУ, КТП (9 на плане)	2530	1225	2811	0,9	2151	1042	2389
Насосная станция пожаротушения (25 на плане)	800	387	889	0,9	720	349	800
Закрытая стоянка техники с ремонтным блоком. Склад оборудования, запасных частей (18 на плане)	893	432	992	0,9	830	402	923

Проведение расчёта суммарной нагрузки НПС-28 по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражениям:

$$P_p = \sum_{i=1}^n P_{\text{кат}i} \cdot K_{II}; \quad (3)$$

$$Q_p = \sum_{i=1}^n P_{\text{кат}i} \cdot K_{II} \cdot \text{tg}(\varphi_H); \quad (4)$$

$$P_p = 32000 \cdot 0,6 + 2530 \cdot 0,9 + 800 \cdot 0,9 + 893 \cdot 0,9 = 22900 \text{ кВт};$$

$$Q_p = 19200 \cdot 0,484 + 2151 \cdot 0,48 + 720 \cdot 0,48 + 830 \cdot 0,48 = 10496 \text{ квар}.$$

3 ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Так как основная нагрузка НПС-28 – двигательная на напряжении 10 кВ магистральных насосных агрегатов, то целесообразно использовать данное напряжение для подключения КТП.

Внутренние сети НПС-28 выполняются на напряжении 10 кВ кабельными линиями.

Проведение расчёта рационального напряжения подключения НПС-28 по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению (формула Стилла), кВ:

$$U_{НОМ\ ВЛ} = 4,34 \cdot \sqrt{16 \cdot P_p + L}, \quad (5)$$

$$U_{НОМ\ ВЛ} = 4,34 \cdot \sqrt{16 \cdot 22,9 + 53,3} = 88,9,$$

где l - длина линии, по которой передаётся мощность $P_{МАХ}$, принимается 53,3 км по схеме электроснабжения.

НПС-28 подключается на напряжение 220 кВ, питающего напряжения линии достаточно.

4 КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

В случае НПС-28, подключаемой к внешней сети на уровне напряжения 220 кВ и являющейся потребителем оптового рынка электроэнергии и мощности (ОРЭМ), граница раздела балансовой принадлежности будет проходить либо по вводам 220 кВ подстанции НПС-28 (в случае, если объект собственности – подстанция), либо по шинам 220 кВ питающих подстанций/станций (в случае, если объект собственности – подстанция и линии 220 кВ). Расчёт за потребляемую электроэнергию будет производиться по приборам учёта 220 кВ на границе раздела балансовой принадлежности, при этом потери электроэнергии в сети 10 кВ находятся ниже границы балансовой принадлежности, во внутренних сетях.

Целесообразность в компенсации реактивной мощности на шина 10 кВ питающей подстанции обоснована меньшей величиной энергии, поступающей по стороне 220 кВ в сеть 10 кВ.

Использование для целей КРМ магистральных насосных агрегатов представляется затруднительным, ввиду категоричности потребителей НПС-28 (1 категория) даже при условии резервного агрегата 10 кВ. Поэтому, для КРМ на стороне 10 кВ подстанции рассмотрим выбор установок КРМ-10 кВ.

Проведение расчёта требуемой мощности компенсирующих устройств НПС-28 по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению, [4]:

$$Q_{KV}^{треб} = Q_{max} - P_{max} \cdot tg \varphi_{норм}, \quad (6)$$

$$Q_{KV}^{треб} = 10,496 - 22,9 \cdot 0,4 = 1,33 \text{ Мвар},$$

где $tg \varphi_{н0}$ - коэффициент мощности для шин 10 кВ ПС НПС-28, 0,4 [4].

Проведение расчёта некомпенсированной реактивной мощности НПС-28 по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению, [9]:

$$Q_{\text{неск}} = Q_{\text{max}} - Q_{\text{КУ}}^{\text{факт}} . \quad (7)$$

$$Q_{\text{неск}} = 10,496 - 2 \cdot 0,675 = 9,146 \text{ Мвар} .$$

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

Выбираем комплектные конденсаторные установки марки УКРМ – 10 – 675 в количестве 2 шт, [8].

5 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕНТРА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

Для выбора схемы внутреннего электроснабжения НПС-28 по критерию оптимальной протяженности внутренних сетей 10 кВ проводится расчёт координат центра электрических нагрузок НПС-28, [6].

Промежуточным этапом определения центра электрических нагрузок НПС-28 является расчёт картограммы нагрузок НПС-28, с последующим определением геометрического центра зданий и сооружений, участвующих в расчёте центра электрических нагрузок всей территории НПС-28.

Проведение расчёта диаметра окружности картограммы нагрузок НПС-28 по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать для корпуса 8 по выражению, [3]:

$$D_i = 2 \cdot \sqrt{\frac{P_{pi}}{\pi \cdot m}}, \quad (8)$$

$$D_8 = 2 \cdot \sqrt{\frac{32000}{\pi \cdot 50}} = 28.6 \text{ см.}$$

где m – электрический масштаб, принимаем 50 кВт/см²;

P_{pi} – суммарная нагрузка группы потребителей схожих по режиму работы без разделения на структурные единицы.

Таблица 3, куда можно свести все полученные в промежуточных вычислениях данные о расчётных радиусах картограммы нагрузок остальных потребителей НПС-28 даётся для ознакомления ниже.

Таблица 3 – Радиусы картограммы нагрузок

Потребитель	$P_{уст}$, кВт	D, см
1	2	3
8	32000	28.6
4	50	1.1

продолжение таблицы 3

1	2	3
1	50	1.1
7	150	2.0
13	50	1.1
6	20	0.7
5	20	0.7
9	2530	8.0
12	670	4.1
25	800	4.5
10	220	2.4
11	650.4	4.1
20	50	1.1
3	75.2	1.4
2	75.2	1.4
19	18.1	0.7
14	50.6	1.1
17	20	0.7
21	20	0.7
18	1003.49	5.1
24	190.1	2.2
16	184.5	2.2
22	7.8	0.4
23	38.7	1.0

Проведение расчёта условного центра электрических нагрузок НПС-28 по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражениям, [3]:

$$X_0 = \frac{\sum P_i \cdot X_i}{\sum P_i}; \quad (9)$$

$$Y_0 = \frac{\sum P_i \cdot Y_i}{\sum P_i} \quad (10)$$

Таблица 4, куда можно свести все полученные в промежуточных вычислениях данные о картограмме нагрузок НПС-28 даётся для ознакомления ниже.

Таблица 4 – Картограмма нагрузок

Потребитель	X	Y	P*X	P*Y
8	1.8	1.6	57600	51200
4	0.7	1.1	35	55
1	1.1	0.8	55	40
7	0.7	1.6	105	240
13	4.1	3.1	205	155
6	0.7	1.9	14	38
5	1.7	1.5	34	30
9	4	1.6	10120	4048
12	4.1	2.2	2747	1474
25	2	3	1600	2400
10	3.3	3.2	726	704
11	3	3.2	1951	2081
20	1	5.1	50	255
3	2.4	0.8	180	60
2	1.8	0.8	135	60
19	2.5	6.2	45	112
14	4.2	3.8	212	192
17	2.1	4.5	42	90
21	3.3	5.2	66	104
18	1.5	5	1505	5017
24	4.8	5	912	950
16	3.5	4.5	645	830
22	5.5	5.5	42	42
23	5.5	5.6	212	216
			Хцэн	2.03
			Yцэн	1.81

Графически центр электрических нагрузок представлен на рисунке 2.

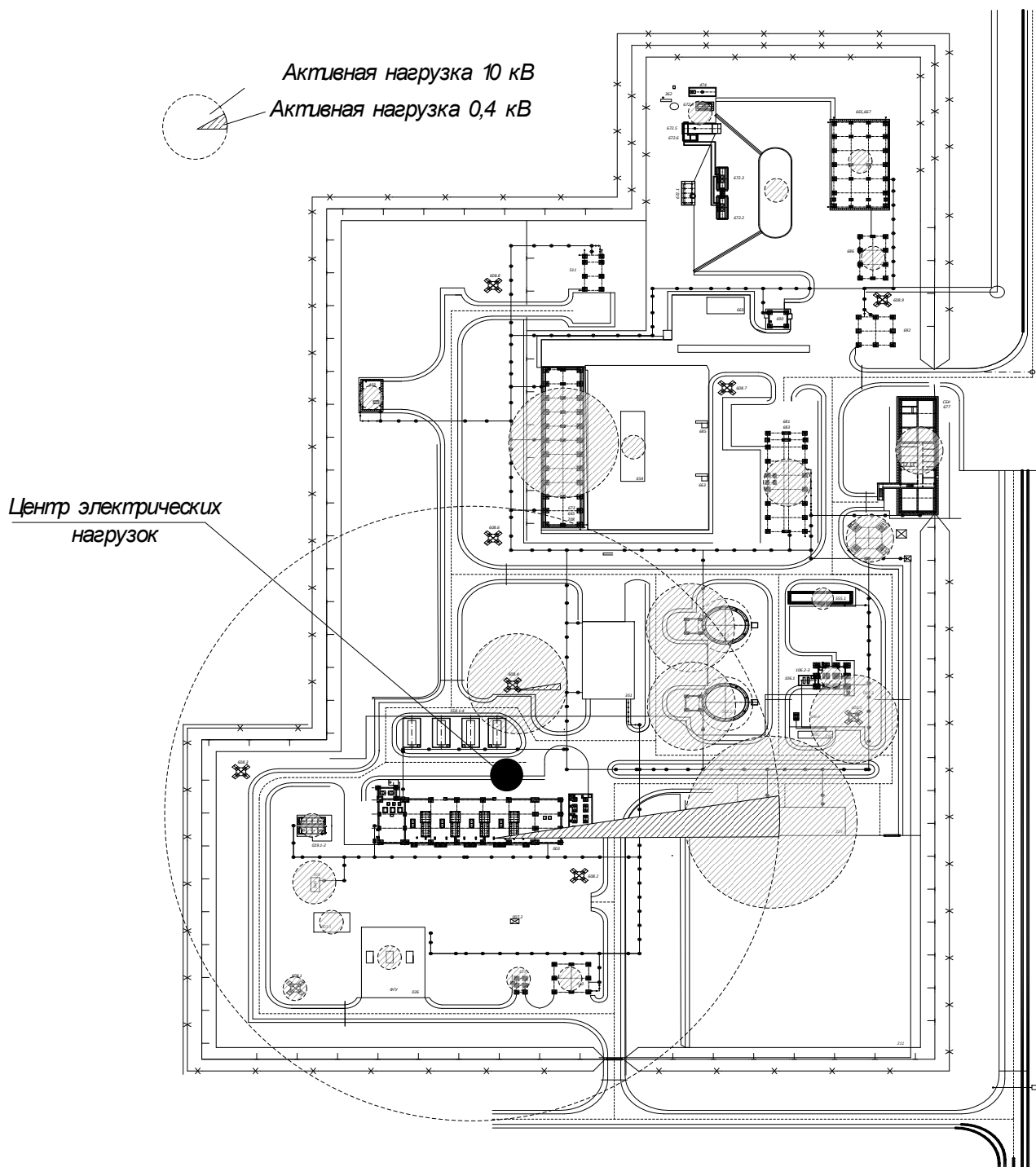


Рисунок 2 - Картограмма электрических нагрузок

Таким образом из рисунка 4 видно, что центр приближен к территории корпуса 8. Из данного положения удобно выполнить прокладку кабелей по территории НПС-28, используя двойную магистральную и резервированную радиальную схемы электроснабжения.

6 ВЫБОР ВАРИАНТА ВНУТРЕННЕГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Составляется 2 варианта прокладки кабельных линий по территории НПС-28 – магистральный и радиальный.

Рисунок 3, где отражен вариант подключения потребителей НПС-28 по магистральной схеме даётся для ознакомления ниже.

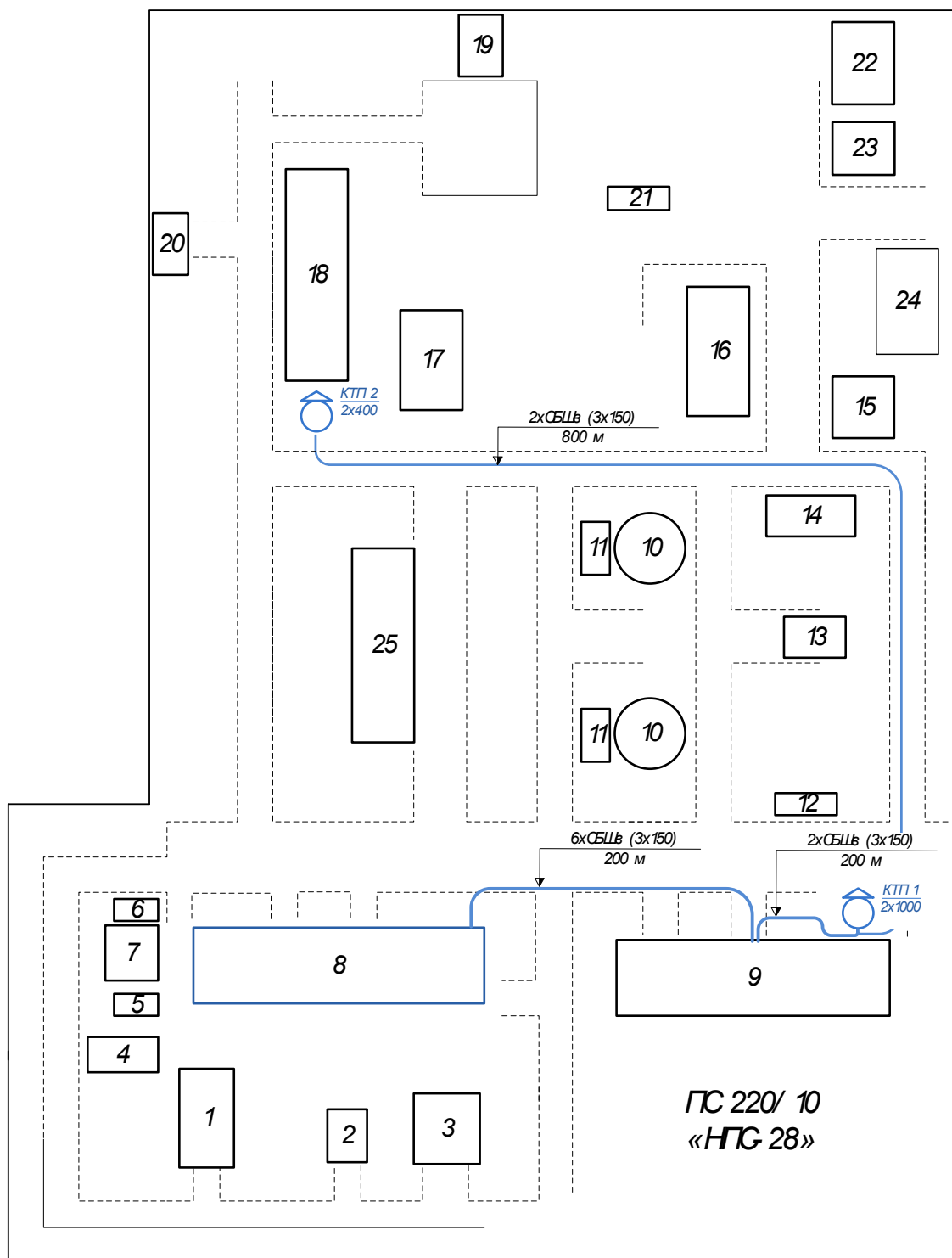


Рисунок 3 – Вариант №1 схемы сети 10 кВ по магистральной схеме

Рисунок 4, где отражен вариант подключения потребителей НПС-28 по радиальной схеме даётся для ознакомления ниже.

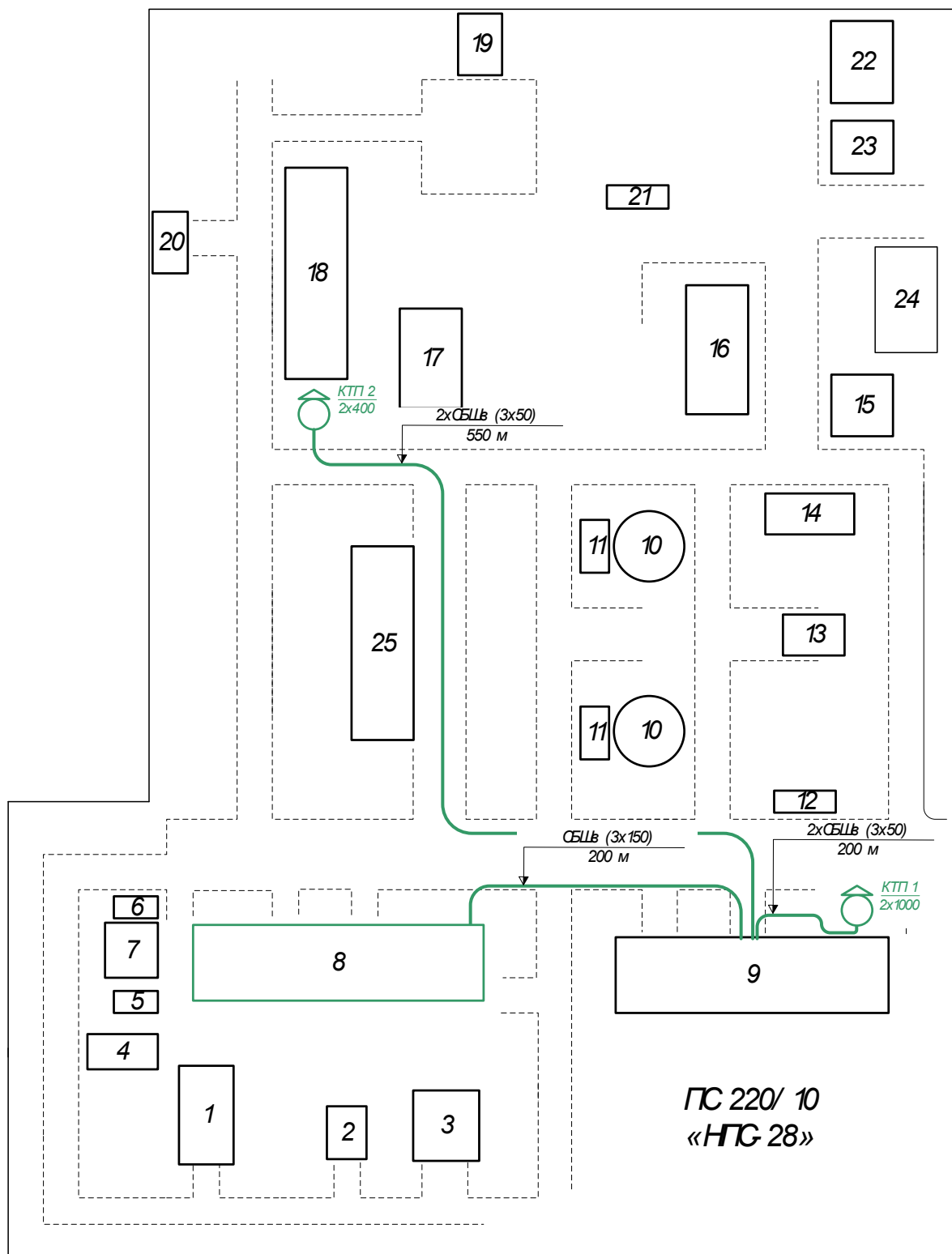


Рисунок 4 – Вариант №2 схемы сети 10 кВ по радиальной схеме

Рисунок 5, где отражена упрощенная однолинейная схема варианта подключения потребителей НПС-28 по магистральной схеме даётся для ознакомления ниже.

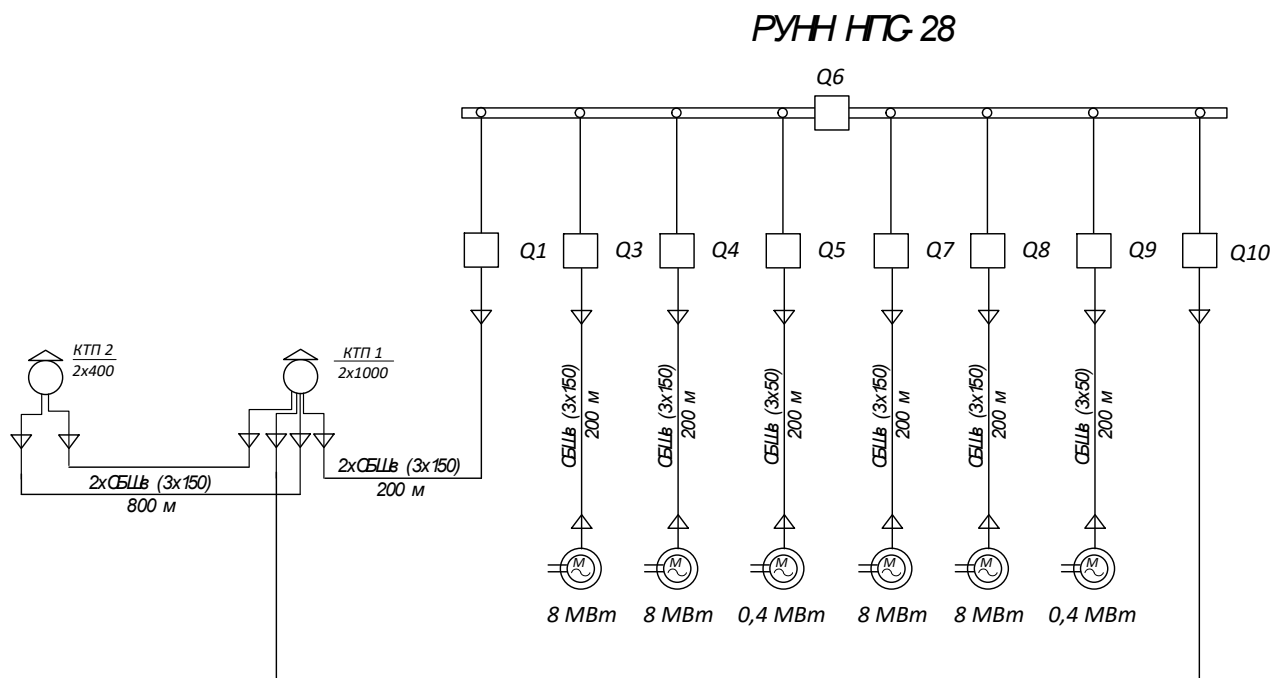


Рисунок 5 – Упрощенная однолинейная схема сети 10 кВ (вариант 1)

Рисунок 6, где отражена упрощенная однолинейная схема варианта подключения потребителей НПС-28 по радиальной схеме даётся для ознакомления ниже.

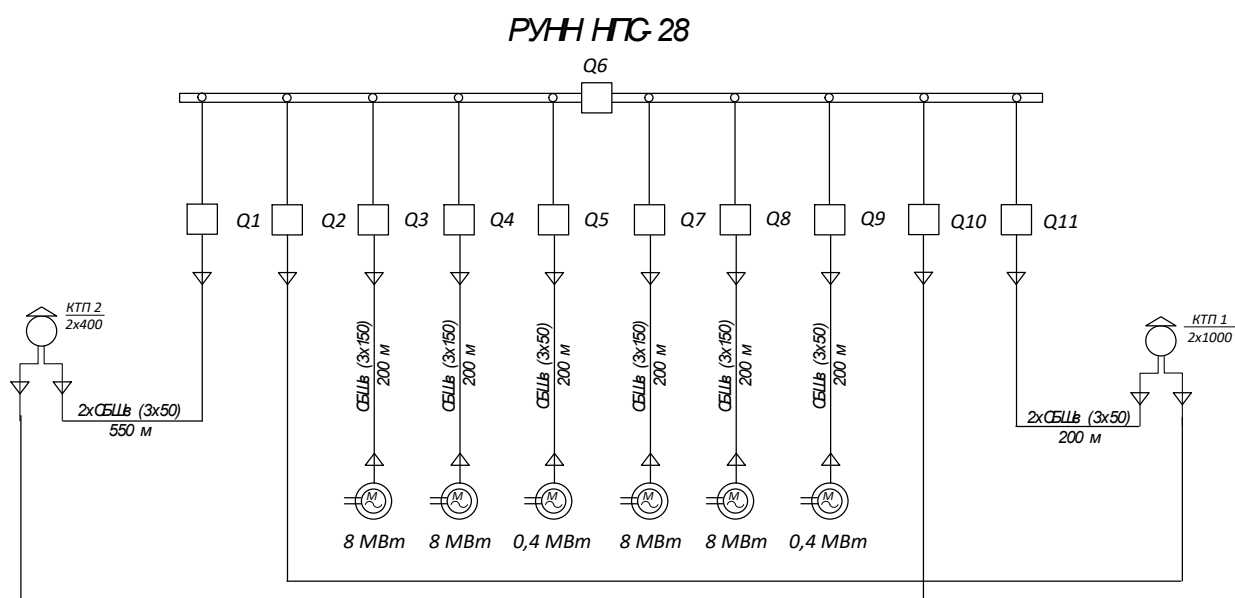


Рисунок 6 – Упрощенная однолинейная схема сети 10 кВ (вариант 2)

Магистральный вариант предусматривает подключение нескольких потребителей, радиальный предусматривает отдельную линию к каждому потребителю. В обоих случаях линии делаются резервируемыми вторым кабелем.

Проведение расчёта максимального тока корпусов НПС-28 по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать для корпуса 9 по выражению, [2]:

$$I_{P_{\text{МАКС}}} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot N_u} \quad (11)$$

$$I_{P_{\text{МАКС}}} = \frac{2389}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 2} = 69 \text{ А},$$

где - N_u - количество цепей, 2.

Выбран кабель сечением жил 3*50 мм² с длительно допустимым током 140 А.

Проведение расчёта допустимого тока кабельных линий с учётом дополнительных условий корпусов НПС-28 по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать для корпуса 9 по выражению, [2]:

$$I_{\text{ДОП}} = I_{\text{ДОП СТАНД}} \cdot K_{\text{СН}} \cdot K_{\text{ПЕР}} \cdot K_{\text{ТЕМП}}, \quad (12)$$

$$I_{\text{ДОП}} = 0,9 \cdot 1,25 \cdot 1,0 \cdot 140 = 158 \text{ А},$$

где $K_{\text{СН}}$ - коэффициент снижения токовой нагрузки, снижает номинальную нагрузку до 0.9 при двух кабелях в одной траншее;

$K_{\text{ПЕР}}$ - коэффициент роста токовой нагрузки, увеличивает номинальную нагрузку до 1,25 при ликвидации аварии в течении 6 часов на повреждённом кабеле;

$K_{\text{ТЕМП}}$ - коэффициент температурной составляющей, принят 1,0.

Выбор кабелей 10 кВ по допустимому току корпусов НПС-28 по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать для корпуса 9 по выражению, [2]:

$$I_{\text{р МАК}} \leq I_{\text{ДОП}} , \quad (13)$$

$$69 \leq 158 \text{ А.}$$

Условие выбора выполняется.

Таблица 5, куда можно свести все полученные в промежуточных вычислениях данные о результатах выбора кабелей 10 кВ НПС-28 даётся для ознакомления ниже.

Таблица 5 – Выбор кабелей для электроснабжения корпусов

Наименование	$S_{\text{Р КЛ}}$, кВА	$I_{\text{Р КЛ}}$, А	$I_{\text{ДОП КЛ}}$, А	$N_{\text{ц}}$
Здание магистральной насосной (8)	21333	308	309	4
Операторная ЗРУ, КТП (9)	2389	69	158	2
Насосная станция пожаротушения (25)	800	23	158	2
Закрытая стоянка техники с ремонтным блоком. Склад оборудования, запасных частей.(18)	923	27	158	2

Проведение расчёта нагрузки магистральной линии ПС - 8 - 25 – 18 по варианту 2 схемы реконструкции НПС-28 по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению, [2]:

$$S_{\text{Р маг}} = K_c \cdot (S_{\text{Р8}} + S_{\text{Р25}} + S_{\text{Р18}}) ; \quad (14)$$

$$S_{\text{Р маг}} = 0,79 \cdot (21333 + 800 + 923) = 29700 \text{ кВА. ,}$$

где K_c - средний коэффициент спроса для потребителей, подключенных в одну магистраль.

Проведение расчёта потери напряжения по магистральной линии ПС - 8 - 25 – 18 по варианту 2 схемы реконструкции НПС-28 по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению, [2]:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I_p \cdot l \cdot \frac{100}{10000} \cdot (r_{уд} \cdot \cos(\varphi)), \quad (15)$$

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot 286 \cdot 0,7 \cdot \frac{100}{10000} \cdot (0,206 \cdot 0,9) = 0,3 \%,$$

где $\cos(\varphi)$ – принимается средневзвешенное значение коэффициента мощности среди всех подключенных на общую линию потребителей без привязки к мощности потребителя;

l – длина линии, м;

I_p – расчетный ток в линии, А.

Проведение проверки условия допустимой потери напряжения по магистральной линии ПС - 8 - 25 – 18 по варианту 2 схемы реконструкции НПС-28 по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению, [2]:

$$\Delta U < \Delta U_{дон}, \quad (16)$$

$$0,3 \% < 10 \%$$

где $\Delta U_{дон}$ – допустимое медленное изменение напряжения для рассматриваемых сетей НПС-28, по ГОСТ 32144-2013, 10%.

Таблица 6, куда можно свести все полученные в промежуточных вычислениях данные о результатах выбора кабелей 10 кВ внутреннего электроснабжения НПС-28 даётся для ознакомления ниже.

Таблица 6 – Выбор кабелей внутреннего электроснабжения

Наименование фидера 10 кВ	$S_{\text{СУММ КЛ}}$, кВА	K_c	$S_{P \text{ КЛ}}$, кВА	$I_{P \text{ КЛ}}$, А	$N_{\text{ц}}$	L, км	$\cos(\varphi)$	$R_{\text{КЛ}}$, Ом/км	$\Delta U_{\text{КЛ}}$, %
Здание магистральной насосной 8	35556	0,6	21333	308	4	0,2	0,90	0,206	0,2
Операторная ЗРУ, КТП 9	2811	0,9	2389	69	2	0,1	0,90	0,641	0,1
Насосная станция пожаротушения 25	889	0,9	800	23	2	0,3	0,90	0,641	0,1
Закрытая стоянка техники с ремонтным блоком. Склад оборудования, запасных частей.18	992	0,9	923	27	2	0,55	0,90	0,641	0,2
ПС - 8 - 18 (вариант 2)	37437	0,79	29700	286	6	0,7	0,90	0,206	0,3

7 КАБЕЛИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ 10 кВ

Внутриплощадочные сети 10 кВ НПС-28 выполняются кабельными линиями при условии прокладки в блоках или открыто по территории НПС. Так как территория НПС является пожароопасной, то необходимо применение кабелей СБШВ-10. Элементы конструкции СБШВ-10 показаны на рисунке 7.

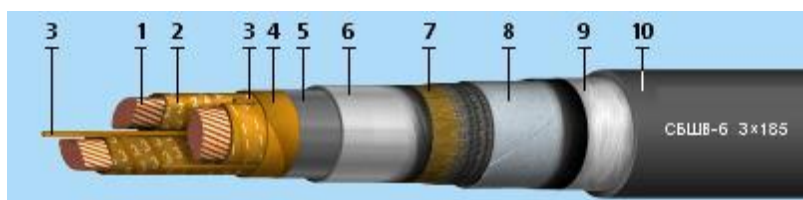


Рисунок 7 – Кабель СБШВ-10

1. Медная токопроводящая жила однопроволочная сечением 25-240 мм²;
2. Фазная бумажная изоляция, пропитанная вязким или нестекающим изоляционным пропиточным составом; маркировка жил цветовая: жёлтая, зеленая, красная;
3. Заполнение из бумажных жгутов;
4. Поясная бумажная изоляция, пропитанная вязким или нестекающим изоляционным пропиточным составом;
5. Экран из электропроводящей бумаги для кабелей на напряжение от 6 кВ и более;
6. Свинцовая оболочка;
7. Подушка из битума и крепированной бумаги;
8. Броня из стальных лент;
9. Подслой из битума и ПЭТ пленки;
10. Наружный покров из ПВХ пластиката.

Кабели СБШВ-10 считаются наиболее подходящими для эксплуатации в макроклиматических районах с умеренным и холодным климатом. Так как прокладка кабелей проводится по территории НПС-28 в частично затапливаемых помещениях при наличии среды со средней и высокой коррозионной активностью, то с учётом опасности механических повреждений в ходе эксплуатации

кабели СБШВ-10 выдерживают условия прокладки по длительному воздействию.

Кабели СБШВ-10 предназначены для прокладки во взрывоопасных зонах В-I, В-Ia и в шахтах, если отсутствует опасность механических повреждений в ходе эксплуатации и не распространяют горение при одиночной прокладке, то с учётом опасности повреждений огнем в ходе эксплуатации кабели СБШВ-10 выдерживают условия прокладки по кратковременному температурному воздействию.

Срок службы кабелей СБШВ-10 во внутриплощадочных сетях 10 кВ НПС-28 не менее 30 лет.

Кабели во внутриплощадочных сетях 10 кВ НПС-28 прокладываются в траншее глубиной 0,7 м, укладывают «змейкой» с запасом по длине 1 – 2% для компенсации температурных деформаций и смещений почвы. Кабели во внутриплощадочных сетях 10 кВ НПС-28 крепят в местах изгибов, муфт и заделок, в конечных точках, [10].

Кабели внутренних сетей 10 кВ помещений НПС-28 во избежание повреждений прокладывают на высоте не менее 2 м и на глубине не менее 0,3 м и защищают стальными листами и трубами.

Кабели во внутриплощадочных сетях 10 кВ НПС-28 по всей длине КЛ защищают красным кирпичом или бетонными плитами, предварительно покрыв слоем песка или почвы 0,1 м.

ТП внутренних сетей 10 кВ помещений НПС-28 размещаются на первом и втором этажах производственных зданий, которые согласно противопожарным требованиям отнесены к категории Г или Д первой или второй степени огнестойкости.

КРУ и КТП внутренних сетей 10 кВ помещений НПС-28 размещены в пределах «мертвой зоны» подъемно-транспортных механизмов. Ширина прохода для персонала внутренних сетей 10 кВ помещений НПС-28 составляет 0,6—0,8 м для управления и ремонта КРУ выкатного типа и КТП.

8 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВАРИАНТА ВНУТРЕННЕГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Проведение расчёта потерь электроэнергии по линиям 10 кВ схемы реконструкции НПС-28 по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению, [2]:

$$\Delta W_{КЛ} = \sum \frac{(P_{Л})^2 + (Q_{Л})^2}{U_{ном}^2} \cdot R_{Л} \cdot T, \quad (17)$$

где $P_{Л}$ – потоки активной мощности по линии, МВт;

$Q_{Л}$ – потоки реактивной мощности по линии, МВАр;

$R_{Л}$ – активное и реактивное сопротивление линии, Ом;

T – число часов.

Проведение расчёта приведенных затрат на реконструкцию схемы НПС-28 по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению, [2]:

$$Z = E_H \cdot K + И = E_H \cdot (K_{КЛ} + K_{ВЫКЛ}) + (A \cdot K_{КЛ} + A \cdot K_{ВЫКЛ}) + C_0 \cdot (\Delta W_{КЛ}) \cdot 10^{-3}, \quad (18)$$

где E_H - норматив дисконтирования, 0,1, [13];

$K_{КЛ}$ - стоимость КЛ схемы реконструкции НПС-28;

$K_{ВЫКЛ}$ - стоимость выключателей схемы реконструкции НПС-28;

C_0 – удельная стоимость потерь электроэнергии, 1,4 руб/кВт*ч [15];

A - ежегодные отчисления на амортизацию, ремонт и обслуживание $a_{ам.выкл} = 5,9\%$, $a_{ам.КЛЭП} = 0,5\%$ [24];

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

Таблица 7, куда можно свести все полученные в промежуточных вычислениях данные о результатах выбора варианта сети 10 кВ внутреннего электрообеспечения НПС-28 даётся для ознакомления ниже.

Таблица 7 - Выбор схемы электрических соединений для сети 10 кВ

№ Варианта		1	2
Количество выключателей 10 кВ, шт		4	8
Стоимость выключателя 10 кВ, тыс руб		150	150
Капиталовложения в выключатели, тыс руб		600	1200
Протяженность КЛ 10 кВ сечением, км	150	4,2	0,8
	50	0,2	1,9
Стоимость кабеля сечением, тыс. руб./км	150	4125	4125
	50	1100	1100
Капиталовложения в линии 10 кВ, тыс руб		17545	5390
Издержки на эксплуатацию и ремонт линий 10 кВ, тыс руб		70,18	21,56
Издержки на эксплуатацию и ремонт выключателей 10 кВ, тыс руб		35,4	70,8
Издержки на амортизацию электрооборудования, тыс руб		907,25	329,5
Потери электроэнергии, кВт*ч		855283	203289
Стоимость потерь электроэнергии, руб/кВт*ч		1,4	1,4
Издержки потерь электроэнергии, тыс руб		1197,4	284,6
Приведенные затраты, тыс руб		4024,7	1365,5

В результате сравнения по приведенным затратам выявлено, что по приведенным затратам вариант №2 дешевле в 3 раза, чем вариант №1. Для дальнейшей разработки принимаем вариант №2.

9 РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В СЕТИ 10 кВ

Для определения уровня токов КЗ в принятой схеме электроснабжения внутренних сетей 10 кВ НПС-28 выполняется расчет токов КЗ на каждой отходящей линии 10 кВ от ПС НПС-28.

Рисунок 8, где отражена схема замещения для расчёта токов КЗ по каждой магистрали НПС-28 даётся для ознакомления ниже, [14].

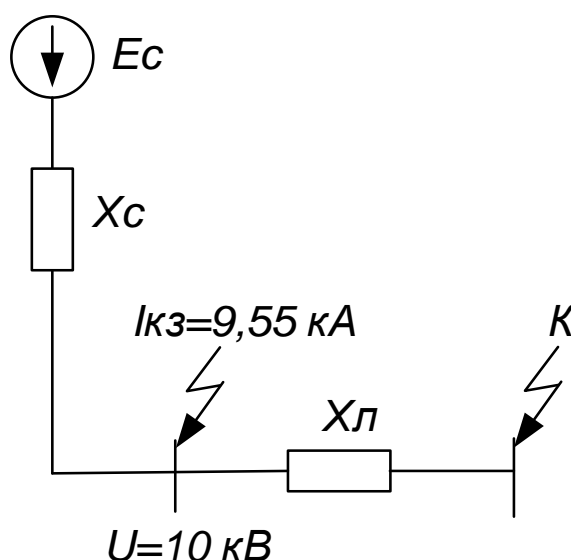


Рисунок 8 - Схема замещения участка 10 кВ

Проведение расчёта сопротивления системы на шинах ПС НПС-28 по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению, [14], Ом:

$$X_C = \frac{U_{cp}}{\sqrt{3} \cdot I_{СИСТ}}; \quad (19)$$

$$X_C = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 9,55} = 0,64;$$

где $I_{СИСТ}$ – ток КЗ системы, замерная величина равна 9,55 кА [5].

Выполняется расчёт токов КЗ для кабелей 10 кВ питания здания магистральной насосной 8.

Проведение расчёта реактивного сопротивления участков кабелей внутренних сетей 10 кВ НПС-28 по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению, [14], Ом:

$$X_{кЛ8} = \frac{r_{уд}}{N_u} \cdot L, \quad (20)$$

$$X_{кЛ8} = \frac{0,206}{2} \cdot 0,2 = 0,02,$$

где $r_{уд}$ - удельное сопротивление кабелей 10 кВ, 0,206 Ом/км для СПШВ-3х150.

Проведение расчёта периодической составляющей тока короткого замыкания в начальный момент времени внутренних сетей 10 кВ НПС-28 по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению, [14], кА:

$$I_{no} = \frac{U_{срНН}}{\sqrt{3} \cdot X_{\Sigma}} = \frac{U_{срНН}}{\sqrt{3} \cdot (X_{кЛ8} + X_C)}, \quad (21)$$

$$I_{no} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot (0,64 + 0,02)} = 9,52.$$

Проведение расчёта тока двухфазного короткого замыкания внутренних сетей 10 кВ НПС-28 по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению, [14], кА:

$$I_{no}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{no}^{(3)}, \quad (22)$$

$$I_{no}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 9,52 = 8,28.$$

Проведение расчёта постоянной затухания апериодической составляющей внутренних сетей 10 кВ НПС-28 по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению, [14], с:

$$T_a = \frac{X_\Sigma}{R_\Sigma \cdot 314}, \quad (23)$$

$$T_a = \frac{0,64}{0,02 \cdot 314} = 0,099 \text{ с.}$$

Проведение расчёта коэффициента затухания внутренних сетей 10 кВ НПС-28 по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению, [14]:

$$K_{y\partial} = 1 + e^{-\frac{0,01}{T_a}}, \quad (24)$$

$$K_{y\partial} = 1 + e^{-\frac{0,01}{0,099}} = 1,9.$$

Проведение расчёта ударного ток короткого замыкания внутренних сетей 10 кВ НПС-28 по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению, [14], кА:

$$i_{y\partial} = K_{y\partial} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{no}, \quad (25)$$

$$i_{y\partial} = 1,9 \cdot 1,41 \cdot 9,52 = 25,6.$$

Таблица 8, куда можно свести все полученные в промежуточных вычислениях данные о результатах расчетов токов КЗ в сети 10 кВ внутреннего электропитания НПС-28 даётся для ознакомления ниже.

Таблица 8 – Результаты расчетов токов КЗ в сети 10 кВ

Линия	Длина, км	$X_{\text{каб}}, \text{ Ом}$	$X_{\text{с}}, \text{ Ом}$	$I_{\text{по}}^{(3)}, \text{ кА}$	$I_{\text{по}}^{(2)}, \text{ кА}$	$T, \text{ с}$	$K_{\text{уд}}$	$I_{\text{уд}}, \text{ кА}$
Здание магистральной насосной 8	0,20	0,02	0,64	9,52	8,28	0,10	1,90	25,62
Операторная ЗРУ, КТП 9	0,10	0,03	0,64	9,51	8,28	0,06	1,85	24,94
Насосная станция пожаротушения 25	0,30	0,10	0,64	9,42	8,19	0,02	1,62	21,61
Закрытая стоянка техники с ремонтным блоком. Склад оборудования, запасных частей. 18	0,55	0,18	0,66	9,18	7,99	0,01	1,42	18,43

10 ПРОВЕРКА ВЫБРАННЫХ СЕЧЕНИЙ НА ВОЗДЕЙСТВИЕ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

Проведение расчёта теплового импульса по расчётному уровню токов короткого замыкания внутренних сетей 10 кВ НПС-28 по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению для линии на корпус 8, [14]:

$$B_K = I_{no}^2 \cdot t_{\Pi}, \quad (26)$$

$$B_K = 9,52^2 \cdot (0,01 + 0,045 + 0,5) = 50,29 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

где I_{no} – величина тока трехфазного КЗ в начале участка сети 10 кВ, кА;

t_{Π} - приведённое время КЗ, равное сумме времени срабатывания релейной защиты (0,01с) и времени отключения выключателя (0,045с), с учётом ступени селективности 0,5 с;

Проведение расчёта номинального теплового импульса для кабелей внутренних сетей 10 кВ НПС-28 по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению для линии на корпус 8, [14]:

$$B_{K \text{ ном}} = I_{\text{терм}}^2 \cdot t_{\text{терм}}, \quad (27)$$

$$B_{K \text{ ном}} = 7^2 \cdot (3) = 147 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

где $I_{\text{терм}}$ – величина тока термической стойкости кабеля СПШВ (3x150), 7 кА;

$t_{\text{терм}}$ – расчётное время выдерживания тока термической стойкости кабеля СПШВ (3x150), 3 с.

Проведение проверки термической стойкости для кабелей внутренних сетей 10 кВ НПС-28 по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению для линии на корпус 8, [14]:

$$B_{K ном} \geq B_K, \quad (28)$$

$$147 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \geq 74,65 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Таблица 9, куда можно свести все полученные в промежуточных вычислениях данные о результатах проверки термической стойкости для кабелей в сети 10 кВ внутреннего электроснабжения НПС-28 даётся для ознакомления ниже.

Таблица 9 – Проверка КЛ-10 кВ по термической стойкости

Линия	$I^{(3)}_{по}, \text{ кА}$	$t_{п}, \text{ с}$	$B_K, \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_{K ном}, \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$
Здание магистральной насосной 8	9,52	0,555	74,65	147
Операторная ЗРУ, КТП 9	9,51	0,555	74,59	75
Насосная станция пожаротушения 25	9,42	0,555	73,85	75
Закрытая стоянка техники с ремонтным блоком. Склад оборудования, запасных частей. 18	9,18	0,555	71,98	75

Анализируя данные таблицы 9, видно что сечение жил 150 мм² для здания насосной удовлетворяет условию термической стойкости кабеля СПШв (3x150), сечение жил 50 мм² для здания 9, 19 удовлетворяет условию термической стойкости кабеля СПШв (3x50).

11 ВЫБОР ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

11.1 Выбор КРУ 10 кВ

В системе внутреннего электроснабжения 10 кВ НПС-28 используются КРУ СЭЩ-68У3.

Проведение выбора КРУ 10 кВ по напряжению установки для внутренних сетей 10 кВ НПС-28 по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению для ячеек питания здания 8:

$$U_{уст} \leq U_{ном} ; \quad (29)$$

$$10 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ} .$$

Проведение выбора КРУ 10 кВ по максимальному току для внутренних сетей 10 кВ НПС-28 по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению для ячеек питания здания 8:

$$I_{max} \leq I_{ном}; \quad (30)$$

$$616 \text{ А} \leq 1000 \text{ А}.$$

Проведение проверки КРУ 10 кВ по термической стойкости для сетей 10 кВ НПС-28 допустимо сделать по выражению для ячеек питания здания 8:

$$B_K = I_{н.о.К1}^2 \cdot (t_{отк} + T_a), \quad (31)$$

$$B_K = 9,52^2 \cdot (0,055 + 1,0) = 95,6 \text{ кА}^2\text{с},$$

$$B_{Кном} = I_{терм}^2 \cdot t_{терм} , \quad (32)$$

$$B_{КНОМ} = 20^2 \cdot 4 = 1600 \text{ кА}^2\text{с};$$

$$B_{к} \leq B_{КНОМ}; \quad (33)$$

$$95,6 \text{ кА}^2\text{с} \leq 1600 \text{ кА}^2\text{с};$$

где $t_{отк}$ – собственное время отключения выключателя ВВУ-СЭЩ-Э(П)З-10-20/1000, 0.055с.

$I_{терм}$ - ток термической стойкости КРУ СЭЩ-68УЗ, 20 кА;

$t_{терм}$ - время термической стойкости КРУ СЭЩ-68УЗ, 4 с.

T_a – постоянная затухания тока КЗ с учётом степени селективности, 1 с.

Проведение проверки КРУ 10 кВ по электродинамической стойкости для внутренних сетей 10 кВ НПС-28 допустимо сделать по выражению для ячеек питания здания 8:

$$i_{уд} \leq i_{скв}, \quad (34)$$

$$25,6 \text{ кА} \leq 32 \text{ кА}.$$

Таблица 10, куда можно свести все полученные в промежуточных вычислениях данные о результатах выбора и проверки КРУ 10 кВ внутреннего электроснабжения НПС-28 даётся для ознакомления ниже.

Таблица 10 – Выбор и проверка КРУ 10 кВ

Справочные данные	Расчётные данные	Условия выбора
$U_{НОМ} = 10 \text{ кВ}$ $I_{НОМ} = 1000 \text{ А}$ $i_{скв} = 32 \text{ кА}$ $B_{К.НОМ} = 1600 \text{ кА}^2\text{с}$	$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$ $I_{рmax8} = 616 \text{ А}$ $I_{рmax9} = 138 \text{ А}$ $I_{рmax25} = 46 \text{ А}$ $I_{рmax18} = 54 \text{ А}$ $i_{уд} = 25,6 \text{ кА}$ $B_{к.} = 95,6 \text{ кА}^2\text{с}$	$U_{НОМ} \geq U_{уст}$ $I_{НОМ} \geq I_{рmax}$ $i_{скв} \geq i_{уд}$ $B_{К.НОМ} \geq B_{к}$

На всех отходящих присоединениях НПС-28 КРУ СЭЩ-68У3 отвечают всем условиям проверки и приняты к установке.

11.2 Выбор выключателей 10 кВ

В системе внутреннего электроснабжения 10 кВ НПС-28 используются вакуумные выключатели ВВУ-СЭЩ-Э(П)3-10-20/1000.

Проведение выбора выключателей 10 кВ по напряжению установки для внутренних сетей 10 кВ НПС-28 по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению для ячеек питания здания 8:

$$U_{уст} \leq U_{ном} ;$$

$$10 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ} .$$

Проведение выбора выключателей 10 кВ по максимальному току для внутренних сетей 10 кВ НПС-28 по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению для ячеек питания здания 8:

$$I_{max} \leq I_{ном};$$

$$616 \text{ А} \leq 1000 \text{ А}.$$

Проведение выбора выключателей 10 кВ по отключающей способности для внутренних сетей 10 кВ НПС-28 по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению для ячеек питания здания 8:

$$I_{п.о} \leq I_{откл.ном} ,$$

$$9,52 \text{ кА} \leq 20 \text{ кА}.$$

Проведение проверки выключателей 10 кВ по термической стойкости для внутренних сетей 10 кВ НПС-28 по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению для ячеек питания здания 8:

$$B_k = I_{н.о.к1}^2 \cdot (t_{отк} + T_a),$$

$$B_k = 9,52^2 \cdot (0,055 + 1,0) = 95,6 \text{ кА}^2\text{с},$$

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

$$B_{кном} = 20^2 \cdot 4 = 1600 \text{ кА}^2\text{с};$$

$$B_k \leq B_{кном};$$

$$95,6 \text{ кА}^2\text{с} \leq 1600 \text{ кА}^2\text{с};$$

где $t_{отк}$ – собственное время отключения выключателя ВВУ-СЭЦ-Э(П)3-10-20/1000, 0.055с.

$I_{терм}$ - ток термической стойкости выключателя ВВУ-СЭЦ-Э(П)3-10-20/1000, 20 кА;

$t_{терм}$ - время термической стойкости выключателя ВВУ-СЭЦ-Э(П)3-10-20/1000, 4 с.

T_a – постоянная затухания тока КЗ с учётом ступени селективности, 1 с.

Проведение проверки выключателей 10 кВ по отключению апериодического тока КЗ для внутренних сетей 10 кВ НПС-28 по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению для ячеек питания здания 8:

$$i_{a.ном} = \sqrt{2} \cdot \beta_H \cdot I_{ном откл}, \quad (35)$$

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

$$i_{at} \leq i_{a.ном}; \quad (36)$$

$$5.1 \text{ кА} \leq 11.31 \text{ кА};$$

где β_H – номинальная доля апериодического тока КЗ выключателя ВВУ-СЭЩ-Э(П)3-10-20/1000, 40%;

$I_{ном откл}$ – номинальный ток отключения выключателя ВВУ-СЭЩ-Э(П)3-10-20/1000, 20 кА.

Проведение проверки выключателей 10 кВ по отключению полного тока КЗ для внутренних сетей 10 кВ НПС-28 по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению для ячеек питания здания 8:

$$\sqrt{2} \cdot I_{no}^{(3)} + i_{at} \leq \sqrt{2} \cdot I_{номотк} \cdot \left(1 + \frac{\beta_H}{100}\right); \quad (37)$$

$$\sqrt{2} \cdot 9,52 + 9,52 \cdot 0,54 \leq \sqrt{2} \cdot 20 \cdot \left(1 + \frac{0.40}{100}\right);$$

$$18,6 \leq 39.59 \text{ кА}.$$

Проведение проверки выключателей 10 кВ по электродинамической стойкости для внутренних сетей 10 кВ НПС-28 по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению для ячеек питания здания 8:

$$i_{y\delta} \leq i_{скв},$$

$$25,6 \text{ кА} \leq 32 \text{ кА}.$$

Таблица 11, куда можно свести все полученные в промежуточных вычислениях данные о результатах выбора и проверки выключателей 10 кВ внутреннего электроснабжения НПС-28 даётся для ознакомления ниже.

Таблица 11 – Выбор и проверка выключателей 10 кВ

Справочные данные	Расчётные данные	Условия выбора
$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$ $I_{ном} = 1000 \text{ А}$ $i_{скв} = 32 \text{ кА}$ $B_{к.ном} = 1600 \text{ кА}^2\text{с}$ $I_{вкл} = 20 \text{ кА}$ $I_{откл} = 20 \text{ кА}$ $i_{а.ном} = 11,31 \text{ кА}$	$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$ $I_{рmax8} = 616 \text{ А}$ $I_{рmax9} = 138 \text{ А}$ $I_{рmax25} = 46 \text{ А}$ $I_{рmax18} = 54 \text{ А}$ $i_{y\delta} = 25,6 \text{ кА}$ $B_{к.} = 95,6 \text{ кА}^2\text{с}$ $I_{по} = 9,52 \text{ кА}$ $I_{пт} = 9,52 \text{ кА}$ $i_{ат} = 5,1 \text{ кА}$	$U_{ном} \geq U_{уст}$ $I_{ном} \geq I_{рmax}$ $i_{скв} \geq i_{y\delta}$ $B_{к.ном} \geq B_{к.}$ $I_{вкл} \geq I_{по}$ $I_{откл} \geq I_{пт}$ $i_{а.ном} \geq i_{ат}$

На всех отходящих присоединениях НПС-28 выключатели ВВУ-СЭЩ-Э(П)3-10-20/1000 отвечают всем условиям проверки и приняты к установке.

11.3 Выбор разъединителей 10 кВ

В системе внутреннего электроснабжения 10 кВ НПС-28 используются разъединители РВ-1-10\1000.

Проведение выбора разъединителей 10 кВ по напряжению установки для внутренних сетей 10 кВ НПС-28 по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению для ячеек питания здания 8:

$$U_{уст} \leq U_{ном};$$

$$10 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ}.$$

Проведение выбора разъединителей 10 кВ по максимальному току для внутренних сетей 10 кВ НПС-28 по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению для ячеек питания здания 8:

$$I_{max} \leq I_{ном};$$

$$616 \text{ A} \leq 1000 \text{ A}.$$

Проведение проверки разъединителей 10 кВ по термической стойкости для внутренних сетей 10 кВ НПС-28 по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению для ячеек питания здания 8:

$$B_K = I_{н.о.К1}^2 \cdot (t_{отк} + T_a);$$

$$B_K = 9,52^2 \cdot (0,055 + 1,0) = 95,6 \text{ кА}^2\text{с},$$

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

$$B_{Кном} = 31,5^2 \cdot 1 = 992 \text{ кА}^2\text{с};$$

$$B_K \leq B_{Кном};$$

$$95,6 \text{ кА}^2\text{с} \leq 1600 \text{ кА}^2\text{с};$$

где $t_{отк}$ – собственное время отключения выключателя ВВУ-СЭЩ-Э(П)З-10-20/1000, 0.055с.

$I_{терм}$ - ток термической стойкости разъединителя РВ-1-10\1000, 31,5 кА;

$t_{терм}$ - время термической стойкости разъединителя РВ-1-10\1000, 1 с.

T_a – постоянная затухания тока КЗ с учётом степени селективности, 1 с.

Проведение проверки разъединителей 10 кВ по электродинамической стойкости для внутренних сетей 10 кВ НПС-28 по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению для ячеек питания здания 8:

$$i_{уд} \leq i_{скв},$$

$$25,6 \text{ кА} \leq 40 \text{ кА}.$$

Таблица 12, куда можно свести все полученные в промежуточных вычислениях данные о результатах выбора и проверки выключателей 10 кВ внутреннего электроснабжения НПС-28 даётся для ознакомления ниже.

Таблица 12 – Выбор и проверка разъединителей 10 кВ

Справочные данные	Расчётные данные	Условия выбора
$U_H = 10 \text{ кВ}$	$U_P = 10 \text{ кВ}$	$U_H \geq U_P$
$I_H = 1000 \text{ А}$	$I_{pmax} = 616 \text{ А}$	$I_H \geq I_{pmax}$
$i_{скв} = 40 \text{ кА}$	$i_{уд} = 25,6 \text{ кА}$	$i_{скв} \geq i_{уд}$
$W_{к.ном} = 992 \text{ кА}^2\text{с}$	$W_{к.} = 95,6 \text{ кА}^2\text{с}$	$W_{к.ном} \geq W_{к.}$

На всех отходящих присоединениях НПС-28 разъединители РВ-1-10\1000 отвечают всем условиям проверки и приняты к установке.

11.4 Выбор трансформаторов тока 10 кВ

В системе внутреннего электроснабжения 10 кВ НПС-28 используются трансформаторы тока ТОЛ-СЭЦ-1-10.

Проведение выбора трансформаторов тока 10 кВ по напряжению установки для внутренних сетей 10 кВ НПС-28 по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению для ячеек питания здания 8:

$$U_{уст} \leq U_{ном};$$

$$10 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ} .$$

Проведение выбора трансформаторов тока 10 кВ по максимальному току для внутренних сетей 10 кВ НПС-28 по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению для ячеек питания здания 8:

$$I_{\max} \leq I_{\text{ном}};$$

$$616 \text{ А} \leq 800 \text{ А}.$$

Проведение проверки трансформаторов тока 10 кВ по термической стойкости для внутренних сетей 10 кВ НПС-28 по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению для ячеек питания здания 8:

$$B_K = I_{\text{н.о.к1}}^2 \cdot (t_{\text{отк}} + T_a);$$

$$B_K = 9,52^2 \cdot (0,055 + 1,0) = 95,6 \text{ кА}^2\text{с},$$

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

$$B_{\text{Кном}} = 40^2 \cdot 1 = 1600 \text{ кА}^2\text{с};$$

$$B_K \leq B_{\text{Кном}};$$

$$95,6 \text{ кА}^2\text{с} \leq 1600 \text{ кА}^2\text{с};$$

где $t_{\text{отк}}$ – собственное время отключения выключателя ВВУ-СЭЦ-Э(П)З-10-20/1000, 0.055с.

$I_{терм}$ - ток термической стойкости трансформатора тока ТОЛ-СЭЩ-1-10, 40 кА;

$t_{терм}$ - время термической стойкости трансформатора тока ТОЛ-СЭЩ-1-10, 1 с.

T_a – постоянная затухания тока КЗ с учётом ступени селективности, 1 с.

Проведение проверки трансформаторов тока по электродинамической стойкости для внутренних сетей 10 кВ НПС-28 по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению для ячеек питания здания 8:

$$i_{уд} \leq i_{скв},$$

$$25,6 \text{ кА} \leq 80 \text{ кА}.$$

Таблица 13, куда можно свести все полученные в промежуточных вычислениях данные о результатах выбора приборов вторичной цепи трансформаторов тока 10 кВ внутреннего электроснабжения НПС-28 даётся для ознакомления ниже.

Таблица 13 – Вторичная нагрузка трансформаторов тока 10 кВ

Прибор	Тип	Нагрузка, ВА, фазы		
		А	В	С
Амперметр	СА3021-1		5	
Счетчик электроэнергии	ЦЭ6803В-Р32	0,3	0,3	0,3
Ватметр	СВ3021-1	5		5
Варметр	СВ3021-1	5		5
Итого		10,3	5,3	10,3

Проведение расчёта сопротивления приборов в цепи трансформаторов тока для внутренних сетей 10 кВ НПС-28 по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению для ячеек питания здания 8:

$$r_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{I_2^2}, \quad (38)$$

$$r_{\text{приб}} = \frac{10,3}{5^2} = 0,41 \text{ Ом.}$$

где $S_{\text{ПРИБ}}$ – мощность приборов, ВА;

I_2 – вторичный номинальный ток, 5 А.

Проведение расчёта сопротивления проводов в цепи трансформаторов тока для внутренних сетей 10 кВ НПС-28 по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению для ячеек питания здания 8:

$$r_{\text{пр}} = \frac{\rho \cdot l}{q}, \quad (39)$$

$$r_{\text{пр}} = \frac{0,0283 \cdot 10}{4} = 0,07 \text{ Ом,}$$

где q - сечение проводов, 4 мм²;

ρ - удельное сопротивление на 1 мм² сечения проводов с алюминиевыми жилами, 0,0283 Ом·м/мм²;

l - длина проводов, 10 м.

Проведение расчёта сопротивления вторичной цепи трансформаторов тока для внутренних сетей 10 кВ НПС-28 по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению для ячеек питания здания 8:

$$r_2 = r_{\text{конт}} + r_{\text{пров}} + r_{\text{приб}},$$

$$r_2 = 0,1 + 0,07 + 0,41 = 0,58 \text{ Ом,}$$

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

Проведение расчёта номинального сопротивления вторичной цепи трансформаторов тока для внутренних сетей 10 кВ НПС-28 допустимо сделать по выражению для ячеек питания здания 8:

$$r_{2Н} = \frac{S_{2Н}}{I_2^2},$$

$$r_{2Н} = \frac{20}{5^2} = 0.8 \text{ Ом},$$

где $S_{2Н}$ – номинальная мощность вторичной обмотки, 20 ВА.

Проведение проверки трансформаторов тока по вторичной нагрузке для внутренних сетей 10 кВ НПС-28 по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению для ячеек питания здания 8:

$$r_2 \leq r_{2\text{НОМ}}, \quad (40)$$

$$0.58 \text{ Ом} \leq 0.8 \text{ Ом}.$$

Таблица 14, куда можно свести все полученные в промежуточных вычислениях данные о результатах выбора и проверки трансформаторов тока 10 кВ внутреннего электроснабжения НПС-28 даётся для ознакомления ниже.

Таблица 14 – Выбор и проверка трансформатора тока 10 кВ

Каталожные данные	Расчетные данные	Условия выбора
$U_H = 10 \text{ кВ}$	$U_H = 10 \text{ кВ}$	$U_H \geq U_p$
$I_H = 800 \text{ А}$ $I_H = 100 \text{ А}$ $I_H = 50 \text{ А}$ $I_H = 50 \text{ А}$	$I_p = 616 \text{ А}$ $I_p = 69 \text{ А}$ $I_p = 23 \text{ А}$ $I_p = 27 \text{ А}$	$I_H \geq I_{p\text{max}}$
$Z_{2Н} = 0.8 \text{ Ом}$ (для класса точности 0.5)	$Z_{Нр} = 0.23 \text{ Ом}$	$Z_{2Н} \geq Z_{Нр}$
$B_{Кн} = 1600 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_{Кр} = 95,6 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_{Кн} \geq B_{Кр}$
$I_{\text{дин}} = 80 \text{ кА}$	$I_{\text{уд}} = 25,6 \text{ кА}$	$I_{\text{дин}} \geq I_{\text{уд}}$

На всех отходящих присоединениях НПС-28 трансформаторы тока ТОЛ-СЭЩ-1-10 отвечают всем условиям проверки и приняты к установке.

11.5 Выбор трансформатора напряжения 10 кВ

В системе внутреннего электроснабжения 10 кВ НПС-28 используются трансформаторы напряжения НАЛИ-СЭЩ-1-10.

Проведение выбора трансформаторов напряжения 10 кВ по напряжению установки для внутренних сетей 10 кВ НПС-28 по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению:

$$U_{уст} \leq U_{ном} ;$$

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

Проведение расчёта мощности приборов в цепи трансформаторов напряжения для внутренних сетей 10 кВ НПС-28 по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению:

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{P_{\text{приб}}^2 + Q_{\text{приб}}^2} , \quad (41)$$

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{82,6^2 + 43,2^2} = 93,2 \text{ ВА}.$$

Таблица 15, куда можно свести все полученные в промежуточных вычислениях данные о результатах выбора приборов вторичной цепи трансформаторов напряжения 10 кВ внутреннего электроснабжения НПС-28 даётся для ознакомления ниже.

Таблица 15 – Вторичная нагрузка трансформаторов напряжения 10 кВ

Прибор	Тип	Потребляемая мощность одной катушки, ВА	Число приборов	Cos φ	Sin φ	Общая потребляемая мощность	
						P, Вт	Q, ВА
Вольтметр	СУ3021-1	5	1	1	0	5	
Вольтметр с переключателем	ЕС 72	15	1	1	0	15	
Ватметр	СВ3021-1	5	1	1	0	5	
Счетчик электроэнергии	ЦЭ6803В-Р32	9	8	0,8	0,6	57,6	43,2
Итого	-					82,6	43,2

Проведение проверки трансформаторов напряжения по вторичной нагрузке для внутренних сетей 10 кВ НПС-28 по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению:

$$S_{2\Sigma} \leq S_{\text{НОМ}}, \quad (42)$$

$$93,2 \text{ ВА} \leq 100 \text{ ВА},$$

где $S_{\text{НОМ}}$ – номинальная мощность НАЛИ-СЭЩ-1-10 в классе точности 0,5, 150 ВА;

$S_{2\Sigma}$ - нагрузка трансформатора напряжения.

Таблица 16, куда можно свести все полученные в промежуточных вычислениях данные о результатах выбора и проверки трансформаторов напряжения 10 кВ внутреннего электроснабжения НПС-28 даётся для ознакомления ниже.

Таблица 16 – Выбор и проверка трансформатора напряжения 10 кВ

Расчетные данные	Каталожные данные	Условия выбора
$U_{\text{Н}} = 10 \text{ кВ}$ $S_{\text{Р}} = 93,2 \text{ ВА}$ (для класса точности 0,5)	$U_{\text{НТ}} = 12 \text{ кВ}$ $S_{\text{Н}} = 150 \text{ ВА}$	$U_{\text{НТ}} \geq U_{\text{Н}}$ $S_{\text{Н}} \geq S_{\text{Р}}$

На каждой секции шин 10 кВ НПС-28 трансформаторы напряжения НАЛИ-СЭЦ-1-10 отвечают всем условиям проверки и приняты к установке.

11.6 Выбор ограничителей перенапряжений

В системе внутреннего электроснабжения 10 кВ НПС-28 используются ограничители перенапряжения ОПН–П1–3/10,5/10/2УХЛ1.

Проведение выбора ограничителей перенапряжения 10 кВ по напряжению установки для внутренних сетей 10 кВ НПС-28 по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению:

$$U_{уст} \leq U_{ном} ;$$

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

Проведение расчёта скорости распространения волны перенапряжения по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению:

$$T = \frac{l}{v}, \tag{43}$$

$$T = \frac{2500}{3,15 \cdot 10^8} \cdot 10^6 = 7,94 \text{ мкс};$$

где l - длина защищенного подхода, 2500 м;

v - скорость распространения волны.

Проведение расчёта энергии поглощения ОПН для внутренних сетей 10 кВ НПС-28 по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению:

$$\mathcal{E} = \frac{U - U_{осм}}{z} \cdot U_{осм} \cdot 2 \cdot T \cdot n, \tag{44}$$

$$\mathcal{E} = \frac{60-43}{0,485} \cdot 100 \cdot 2 \cdot 7,94 \cdot 10^{-9} \cdot 20 = 11 \text{ кВт},$$

где U - величина неограниченного перенапряжения для ОПН–П1–3/10,5/10/2УХЛ1, 60 кВ;

$U_{ост}$ - величина остаточного перенапряжения для ОПН–П1–3/10,5/10/2УХЛ1, 43 кВ;

z - волновое сопротивление кабеля на вводе НПС-28, 0,485 Ом;

n - количество последовательных токовых импульсов;

T - время распространения волны.

Проведение расчёта удельной энергии поглощения ОПН для внутренних сетей 10 кВ НПС-28 по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению:

$$\mathcal{E}^* = \frac{\mathcal{E}}{U_{номОПН}}, \quad (45)$$

$$\mathcal{E}^* = \frac{11}{10} = 1,1 \text{ кВт/кВ}.$$

Таблица 17, куда можно свести все полученные в промежуточных вычислениях данные о результатах выбора и проверки ограничителей перенапряжения 10 кВ внутреннего электроснабжения НПС-28 даётся для ознакомления ниже.

Таблица 17 – Выбор и проверка ограничителей перенапряжения 10 кВ

Расчетные данные	Каталожные данные	Условия выбора
$U_{ном} = 12 \text{ кВ}$ $\mathcal{E}^* = 1,1 \text{ кВт/кВ}$	$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$ $\mathcal{E} = 2,5 \text{ кВт/кВ}$	$U_{ном} \geq U_{уст}$ $\mathcal{E}^* \geq \mathcal{E}$

На каждой секции шин 10 кВ НПС-28 ограничители перенапряжения ОПН–П1–3/10,5/10/2УХЛ1 отвечают всем условиям проверки и приняты к установке [16].

11.7 Выбор предохранителей для защиты ТН

В системе внутреннего электроснабжения 10 кВ НПС-28 используются предохранители 10 кВ ПКТ101-10-10-20У1.

Проведение расчёта максимального тока в цепи 10 кВ трансформатора напряжения для внутренних сетей 10 кВ НПС-28 по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению:

$$I_{\text{раб.мак}} = \frac{S_{\text{тн}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} , \quad (46)$$

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

Проведение выбора предохранителей 10 кВ по напряжению установки для внутренних сетей 10 кВ НПС-28 по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению:

$$U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном}}; \quad (47)$$

$$10 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ.}$$

Проведение выбора предохранителей 10 кВ по максимальному току для внутренних сетей 10 кВ НПС-28 по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению:

$$I_{\text{мак}} \leq I_{\text{ном вст}}; \quad (48)$$

$$8,7 \text{ А} \leq 10 \text{ А.}$$

Проведение выбора предохранителей 10 кВ по отключающей способности для внутренних сетей 10 кВ НПС-28 по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению:

$$I_{п.о} \leq I_{откл. ном} , \quad (49)$$

$$9,52 \text{ кА} \leq 20 \text{ кА}.$$

Таблица 18, куда можно свести все полученные в промежуточных вычислениях данные о результатах выбора и проверки предохранителей 10 кВ внутреннего электроснабжения НПС-28 даётся для ознакомления ниже.

Таблица 18 – Выбор и проверка предохранителей ТН

Справочные данные	Расчётные данные	Условия выбора
$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$ $I_{ном} = 10 \text{ А}$ $I_{откл} = 20 \text{ кА}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$ $I_{рmax} = 8,7 \text{ А}$ $I_{по} = 9,52 \text{ кА}$	$U_{ном} \geq U_{уст}$ $I_{ном} \geq I_{рmax}$ $I_{откл} \geq I_{по}$

На каждой секции шин 10 кВ НПС-28 предохранители 10 кВ ПКТ101-10-10-20У1 отвечают всем условиям проверки и приняты к установке.

11.8 Выбор жестких шин на стороне 10 кВ

В системе внутреннего электроснабжения 10 кВ НПС-28 используются жесткие шины прямоугольного сечения 10 кВ АДО 60×8.

Проведение выбора жестких шин 10 кВ по максимальному току для внутренних сетей 10 кВ НПС-28 по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению:

$$I_{max} \leq I_{ном};$$

$$616 \text{ А} \leq 1100 \text{ А}.$$

Проведение проверки жестких шин 10 кВ по минимальному сечению исходя из термической стойкости для внутренних сетей 10 кВ НПС-28 по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению:

$$q_{\min} = \frac{\sqrt{B_k}}{C}, \quad (50)$$

$$q_{\min} = \frac{\sqrt{95,6 \cdot 10^6}}{91} = 107 \text{ мм}^2,$$

$$q \geq q_{\min};$$

$$480 \text{ мм}^2 \geq 107 \text{ мм}^2.$$

Проведение проверки жестких шин 10 кВ по минимальному пролету точек крепления для внутренних сетей 10 кВ НПС-28 по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению:

$$l^2 \leq \frac{173.2}{200} \cdot \sqrt{\frac{J}{q}}, \quad (51)$$

$$l \leq 1.34 \text{ м.}$$

где l - длина пролёта между осями опорных изоляторов, принимаем 1,2 м;

J - момент инерции шины АДО 60×8;

q - поперечное сечение шины АДО 60×8, равное 4.8 см².

Проведение расчёта момента инерции и момента сопротивления жестких шин 10 кВ по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению:

$$J = \frac{b \cdot h^3}{12},$$

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

$$W = \frac{b^2 \cdot h}{6},$$

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

Проведение расчёта механического напряжения жестких шин 10 кВ по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению:

$$\sigma_{РАСЧ} = \sqrt{3} \cdot 10^{-8} \cdot \frac{i_{уд}^2 \cdot l^2}{W \cdot a}, \quad (52)$$

$$\sigma_{РАСЧ} = \sqrt{3} \cdot 10^{-8} \cdot \frac{25,6^2 \cdot 1.2^2}{0.64 \cdot 0.8} = 11 \text{ МПа},$$

где W - момент сопротивления шин АДО 60×8, см³;

a - расстояние между фазами АДО 60×8, 0,8 м;

l - длина пролета между опорными изоляторами АДО 60×8, м.

Проведение проверки жестких шин 10 кВ на механическую прочность по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению:

$$\sigma_{расч} < \sigma_{доп},$$

$$11 < 75 \text{ МПа},$$

$$\sigma_{доп} \leq 0.7 \sigma_{разр},$$

$$75 \leq 0.7 \cdot 130 = 91 \text{ МПа}.$$

Таблица 19, куда можно свести все полученные в промежуточных вычислениях данные о результатах выбора и проверки жестких шин 10 кВ внутреннего электроснабжения НПС-28 даётся для ознакомления ниже.

Таблица 19 – Выбор и проверка жестких шин 10 кВ

Расчётные данные	Справочные данные	Условия выбора
$I_{max} = 616 \text{ А}$ $\sigma_{расч} = 11 \text{ МПа}$ $q_{min} = 107 \text{ мм}^2$	$I_{доп} = 1025 \text{ А}$ $\sigma_{доп} = 75 \text{ МПа}$ $q = 480 \text{ мм}^2$	$I_{доп} \geq I_{max}$ $\sigma_{доп} \geq \sigma_{расч}$ $q \geq q_{min}$

На стороне 10 кВ НПС-28 жесткие шины АДО 60×8 отвечают всем условиям проверки и приняты к установке.

11.9 Выбор изоляторов

В системе внутреннего электроснабжения 10 кВ НПС-28 используются опорные изоляторы ИОРП-10-1.

Проведение проверки опорных изоляторов 10 кВ на механическую прочность по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражениям:

$$F_{расч} = \sqrt{3} \frac{i_{yd}^2 \cdot l}{a} \cdot 10^{-7}, \quad (53)$$

$$F_{расч} = \sqrt{3} \cdot \frac{25,6^2 \cdot 1,2}{0,8} \cdot 10^{-7} = 179 \text{ Н},$$

$$F_{дон} = 0,6 \cdot F_{разр},$$

$$F_{дон} = 0,6 \cdot 3000 = 1800 \text{ Н},$$

$$F_{доп} \geq F_{расч},$$

$$1800 \text{ Н} \geq 179 \text{ Н}.$$

Таблица 20, куда можно свести все полученные в промежуточных вычислениях данные о результатах выбора и проверки опорных изоляторов 10 кВ внутреннего электроснабжения НПС-28 даётся для ознакомления ниже.

Таблица 20 – Выбор и проверка опорных изоляторов

Расчётные данные	Справочные данные	Условия выбора
$U_p = 10 \text{ кВ}$	$U_H = 10 \text{ кВ}$	$U_H \geq U_p$
$F_{расч} = 179 \text{ Н}$	$F_{доп} = 2400 \text{ Н}$	$F_{доп} \geq F_{расч}$

В системе внутреннего электроснабжения 10 кВ НПС-28 используются проходные изоляторы ИПП-10-1000.

Проведение проверки проходных изоляторов 10 кВ на механическую прочность по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражениям:

$$F_{дон} = 0,6 \cdot F_{разр},$$

$$F_{дон} = 0,6 \cdot 7500 = 4500 \text{ Н}$$

$$F_{доп} \geq F_{расч},$$

$$4500 \text{ Н} \geq 179 \text{ Н.}$$

Проведение выбора проходных изоляторов 10 кВ по максимальному току для внутренних сетей 10 кВ НПС-28 по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению:

$$I_{\max} \leq I_{\text{ном}}; \tag{54}$$

$$616 \text{ А} \leq 1000 \text{ А.}$$

Таблица 21, куда можно свести все полученные в промежуточных вычислениях данные о результатах выбора и проверки проходных изоляторов 10 кВ внутреннего электроснабжения НПС-28 даётся для ознакомления ниже.

Таблица 21 – Выбор и проверка проходных изоляторов

Расчётные данные	Справочные данные	Условия выбора
$U_p = 10 \text{ кВ}$	$U_n = 10 \text{ кВ}$	$U_n \geq U_p$
$F_{\text{РАСЧ}} = 185 \text{ Н}$	$F_{\text{ДОП}} = 4500 \text{ Н}$	$F_{\text{ДОП}} \geq F_{\text{РАСЧ}}$
$I_p = 616 \text{ А}$	$I_n = 1000 \text{ А}$	$I_n \geq I_p$

На стороне 10 кВ НПС-28 проходные ИПП-10-1000 и опорные ИОРП-10-1 изоляторы 10 кВ отвечают всем условиям проверки и приняты к установке.

11.10 Выбор аккумуляторных батарей

Проведение расчёта количества элементов, присоединяемых к шинам в режиме постоянного подзаряда по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению:

$$n_0 = \frac{U_{\text{ш}}}{U_{\text{ПА}}}, \tag{55}$$

$$n_0 = \frac{230}{2,15} = 108 \text{ шт,}$$

где n_0 - число основных элементов в батарее;

U_{III} - напряжение на шинах, принимаем $U_{III} = 230\text{В}$;

U_{IIA} - напряжение на элементе в режиме подзаряда, 2,15 В.

Проведение расчёта минимального числа элементов при напряжении на элементе 2,6 и 1,75 В соответственно по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению:

$$n_{\min} = \frac{U_{III}}{U_{\min}}, \quad (56)$$

$$n_{\min 1} = \frac{230}{2,6} = 88 \text{ шт.},$$

$$n_{\min 2} = \frac{230}{1,75} = 130 \text{ шт.}$$

Проведение расчёта типового номера батареи N по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению:

$$N \geq 1,05 \cdot \left(\frac{I_{AB}}{J} \right), \quad (57)$$

$$N = 1,05 \cdot \left(\frac{250}{24} \right) = 11.$$

где I_{AB} - нагрузка установившегося получасового (часового) аварийного разряда, А;

1,05 – коэффициент запаса;

J - допустимая нагрузка аварийного разряда, 24.

Проведение расчёта нагрузки установившегося получасового аварийного разряда по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению:

$$I_{AB} = I_{\text{выкл}(110)} + I_{\text{выкл}(10)} + I_{\text{привод}} + I_{\text{преобр}} , \quad (58)$$

$$I_{AB} = 15 + 5 + 200 + 30 = 250 \text{ A.}$$

Проведение проверки по наибольшему толчковому току по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению:

$$I_{T.\text{max}} = I_{AB} + I_{np} ,$$

$$I_{T.\text{max}} = 250 + 20 = 270 \text{ A.}$$

$$46 \cdot N \geq I_{T.\text{max}} , \quad (59)$$

$$503,102 \text{ A} \geq 270 \text{ A} .$$

где 46 – коэффициент, учитывающий допустимую перегрузку.

I_{np} - ток, потребляемый электромагнитными приводами выключателей, включающихся в конце аварийного режима, 20 А.

Проведение расчёта напряжения подзарядного устройства по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению:

$$U \geq 2,15 \cdot n_0 , \quad (60)$$

$$U \geq 2,15 \cdot 108 = 232,2 \text{ В.}$$

Проведение расчёта тока разряда зарядного устройства по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению:

$$I_A \geq 5 \cdot N + I_{II} , \quad (61)$$

$$I_A \geq 5 \cdot 11 + 20 = 75 \text{ A.}$$

где I_{II} - ток постоянно включенной нагрузки.

Проведение расчёта напряжения в конце заряда по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению:

$$U_3 = 2,75 \cdot n , \quad (62)$$

$$U_3 = 2,75 \cdot 130 = 357,5 \text{ В.}$$

Выбираем аккумуляторные батареи марки СК-1-12,5х1.

12 ОБОРУДОВАНИЕ КОМПЛЕКТНЫХ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПОДСТАНЦИЙ

12.1 Выбор числа и мощности трансформаторов КТП с учетом компенсации реактивной мощности

Для КТП-1 и КТП-2 системы внутреннего электроснабжения напряжением 10 кВ НПС-28 по радиальной схеме (вариант 2) проводится выбор мощности и количества трансформаторов.

Проведение расчёта мощности трансформатора КТП для корпусов 9 и 18 по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению, кВА:

$$S_{\text{КТП}} = \frac{P_{\Sigma}}{N \cdot K_3}, \quad (63)$$

$$S_{\text{КТП}9} = \frac{1270,8}{2 \cdot 0,7} = 908,$$

$$S_{\text{КТП}18} = \frac{486,7}{2 \cdot 0,7} = 348,$$

где N – количество устанавливаемых в КТП трансформаторов, принимаемое 2,

K_3 – коэффициент загрузки трансформаторов, равный 0,7.

Принимаем двухтрансформаторную КТП 1000/10 кВА и КТП 400/10 кВА с силовыми трансформаторами типа ТМ-1000/10 и ТМ-400/10.

Проведение расчёта наибольшей реактивной мощности, которую целесообразно передать в сеть 0,4 кВ через трансформаторы по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению, квар:

$$Q_m = \sqrt{(N_m \cdot k_3 \cdot S_m)^2 - P_{\Sigma p}^2}, \quad (64)$$

$$Q_{m9} = \sqrt{(2 \cdot 0,7 \cdot 1000)^2 - 1270,8^2} = 587,42,$$

$$Q_{m18} = \sqrt{(2 \cdot 0,7 \cdot 400)^2 - 486,7^2} = 277.$$

Проведение расчёта мощности низковольтных батарей конденсаторов 0,4 кВ по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению, квар:

$$Q_{нк1} = Q_{\Sigma} - Q_m, \quad (65)$$

$$Q_{нк1} = 550 - 587,42 = -37,42,$$

$$Q_{нк1} = 250 - 277 = -27,$$

Проведение расчёта дополнительной мощности низковольтных батарей конденсаторов 0,4 кВ по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению, квар:

$$Q_{нк2} = Q_{\Sigma} - Q_{нк1} - \gamma \cdot N_m \cdot S_m;$$

$$Q_{нк2} = 550 + 37,42 - 0,4 \cdot 2 \cdot 1000 = -172,6 \text{ квар}, \quad (66)$$

$$Q_{нк2} = 250 + 27 - 0,4 \cdot 2 \cdot 400 = -27 \text{ квар},$$

где γ - коэффициент, найденный по рис 4.8., 4.9. и табл. 4.6., 4.7. [9].

Проведение расчёта суммарной мощности низковольтных батарей конденсаторов 0,4 кВ по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению, квар:

$$Q_{нк} = Q_{нк1} + Q_{нк2}, \quad (67)$$

$$Q_{нк} = -37,42 - 172,6 = -210 \text{ квар},$$

$$Q_{нк} = -27 - 27 = -54 \text{ квар},$$

НБК 0,4 кВ на ТП 10/0,4 кВ не устанавливаются, так как полученные величины мощности батарей отрицательные.

12.2 Выбор предохранителей 10 кВ

Для защиты трансформаторов КТП 10/0,4 кВ НПС-28 от внутренних повреждений и внешних коротких замыканий используются кварцевые предохранители 10 кВ ПКЗ – 10УЗ.

Проведение расчёта тока на стороне ВН трансформаторов 10/0,4 кВ по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению для КТП 1:

$$I_{РАСЧ} = \frac{2 \cdot S_{ТП}}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ}}, \quad (68)$$

$$I_{РАСЧ} = \frac{2 \cdot 400}{\sqrt{3} \cdot 10} = 46 \text{ А},$$

где $S_{ТП}$ - номинальная мощность трансформатора, кВА;

$U_{НОМ}$ - номинальное напряжение стороны ВН ТП, 10 кВ.

Проведение выбора предохранителей 10 кВ по напряжению установки для внутренних сетей 10 кВ НПС-28 по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению для КТП 1:

$$U_{уст} \leq U_{ном}; \quad (69)$$

$$10 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ.}$$

Проведение выбора предохранителей 10 кВ по максимальному току для внутренних сетей 10 кВ НПС-28 по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению для КТП 1:

$$I_{расч} \leq I_{ном вст}; \quad (70)$$

$$46 \text{ А} \leq 50 \text{ А.}$$

Проведение выбора предохранителей 10 кВ по отключающей способности для внутренних сетей 10 кВ НПС-28 по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению:

$$I_{п.о} \leq I_{откл. ном}, \quad (71)$$

$$9,51 \text{ кА} \leq 20 \text{ кА.}$$

Таблица 22, куда можно свести все полученные в промежуточных вычислениях данные о результатах выбора и проверки предохранителей ТП 10 кВ внутреннего электроснабжения НПС-28 даётся для ознакомления ниже.

Таблица 22 – Выбор и проверка предохранителей ТП

Справочные данные	Расчётные данные	Условия выбора
КТП-1		
$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$ $I_{ном} = 50 \text{ А}$ $I_{откл} = 20 \text{ кА}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$ $I_{рmax} = 46 \text{ А}$ $I_{по} = 9,51 \text{ кА}$	$U_{ном} \geq U_{уст}$ $I_{ном} \geq I_{рmax}$ $I_{откл} \geq I_{по}$
КТП-2		
$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$ $I_{ном} = 150 \text{ А}$ $I_{откл} = 20 \text{ кА}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$ $I_{рmax} = 116 \text{ А}$ $I_{по} = 9,18 \text{ кА}$	$U_{ном} \geq U_{уст}$ $I_{ном} \geq I_{рmax}$ $I_{откл} \geq I_{по}$

На каждой ТП 10/0,4 кВ НПС-28 предохранители 10 кВ ПКЗ – 10УЗ отвечают всем условиям проверки и приняты к установке.

12.3 Выбор выключателей нагрузки

На КТП 10/0,4 кВ НПС-28 используются выключатели нагрузки автогазовые ВНА - 10/400.

Проведение выбора выключателей нагрузки 10 кВ по напряжению установки для внутренних сетей 10 кВ НПС-28 по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению для КТП-1:

$$U_{уст} \leq U_{ном} ;$$

$$10 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ} .$$

Проведение выбора выключателей нагрузки 10 кВ по максимальному току для внутренних сетей 10 кВ НПС-28 по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению для КТП-1:

$$I_{max} \leq I_{ном};$$

$$46 \text{ А} \leq 400 \text{ А}.$$

Проведение проверки выключателей нагрузки 10 кВ по термической стойкости для внутренних сетей 10 кВ НПС-28 по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению для КТП-1:

$$B_K = I_{н.о.К1}^2 \cdot (t_{отк} + T_a),$$

$$B_K = 9,51^2 \cdot (0,055 + 0,5) = 50 \text{ кА}^2\text{с},$$

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

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

$$B_K \leq B_{Кном};$$

$$50 \text{ кА}^2\text{с} \leq 300 \text{ кА}^2\text{с};$$

где $t_{отк}$ – собственное время отключения выключателя нагрузки ВНА - 10/400, 0.055с.

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

$t_{терм}$ - время термической стойкости выключателя нагрузки ВНА - 10/400, 3 с.

T_a – постоянная затухания тока КЗ для КТП-1 с учётом ступени селективности, 0,5 с.

Проведение проверки выключателей нагрузки 10 кВ по электродинамической стойкости для внутренних сетей 10 кВ НПС-28 по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению для КТП-1:

$$i_{уд} \leq i_{скв},$$

$$24,9 \text{ кА} \leq 32 \text{ кА}.$$

Таблица 23, куда можно свести все полученные в промежуточных вычислениях данные о результатах выбора и проверки выключателей нагрузки 10 кВ внутреннего электроснабжения НПС-28 дается для ознакомления ниже.

Таблица 23 – Выбор и проверка выключателей нагрузки 10 кВ

Справочные данные	Расчётные данные	Условия выбора
КТП-1		
$U_H = 10 \text{ кВ}$ $I_H = 400 \text{ А}$ $i_{скв} = 32 \text{ кА}$ $B_{к.ном} = 300 \text{ кА}^2\text{с}$	$U_P = 10 \text{ кВ}$ $I_{рmax} = 46 \text{ А}$ $i_{уд} = 24,9 \text{ кА}$ $B_{к.} = 50 \text{ кА}^2\text{с}$	$U_H \geq U_P$ $I_H \geq I_{рmax}$ $i_{скв} \geq i_{уд}$ $B_{к.ном} \geq B_{к.}$
КТП-2		
$U_H = 10 \text{ кВ}$ $I_H = 400 \text{ А}$ $i_{скв} = 32 \text{ кА}$ $B_{к.ном} = 300 \text{ кА}^2\text{с}$	$U_P = 10 \text{ кВ}$ $I_{рmax} = 116 \text{ А}$ $i_{уд} = 18,4 \text{ кА}$ $B_{к.} = 46,4 \text{ кА}^2\text{с}$	$U_H \geq U_P$ $I_H \geq I_{рmax}$ $i_{скв} \geq i_{уд}$ $B_{к.ном} \geq B_{к.}$

На всех отходящих присоединениях НПС-28 выключатели нагрузки ВНА - 10/400 отвечают всем условиям проверки и приняты к установке.

13 РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА

Защита кабелей системы электроснабжения 10 кВ НПС-28 выполняется блоками микропроцессорной защиты «Сириус-2-Л»

13.1 Токовая отсечка без выдержки времени КЛ-10 кВ

Проведение расчёта коэффициента трансформации трансформатора тока по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению для линии ЦП-8:

$$n_T = \frac{I_{ТВ}}{I_{ТН}},$$

$$n_T = \frac{800}{5}.$$

Проведение расчёта тока срабатывания ТО по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению для линии ЦП-8, кА:

$$I_{с.з.} = k_n \cdot I_{к.мах}^{(3)}, \quad (72)$$

$$I_{с.з.} = 1,1 \cdot 9,52 = 10,47$$

где k_n – коэффициент надёжности, для блоков защиты «Сириус-2-Л» 1,1 [17];

$I_{к.мах}^{(3)}$ – ток КЗ на шинах противоположной ТП.

Проведение расчёта коэффициента чувствительности ТО по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению для линии ЦП-8:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{КЗ}}^{(2)}}{I_{\text{С.З.}}}, \quad (73)$$

$$K_{\text{ч}} = \frac{8,28}{9,52} = 0,79,$$

где $I_{\text{КЗ}}^{(2)}$ – ток двухфазного КЗ в конце основной зоны защиты.

Проведение расчёта эффективности ТО по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению для линии ЦП-8:

$$K_{\text{ч}} \geq 2,$$

$0,79 \geq 2$, требуется установка отсечки с выдержкой времени.

Проведение расчёта вторичного тока срабатывания ТО по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению для линии ЦП-8:

$$I_{\text{С.Р.}} = k_{\text{СХ}} \frac{I_{\text{С.З.}}}{n_{\text{T}}}, \quad (74)$$

$$I_{\text{С.Р.}} = 1 \cdot \frac{10470}{160} = 65 \text{ А.}$$

Проведение расчёта выдержки времени ТО по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению для линии ЦП-8:

$$t_{\text{с.з.}} = t_{\text{ТО}} + \Delta t,$$

$$t_{c.з.} = 0 + 0,5 = 0,5 \text{ с},$$

где Δt - ступени селективности, 0,5 с;

$t_{ТО}$ - время срабатывания ТО, 0 с.

13.2 Максимальная токовая защита КЛ-10 кВ

Проведение расчёта тока срабатывания МТЗ по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению для линии ЦП-8, кА:

$$I_{c.з.} = I_{раб.} \cdot k_H \cdot k_{c.з.} / k_{в} \quad (75)$$

$$I_{c.з.} = 0,616 \cdot 1,1 \cdot 1 / 0,95 = 0,716.$$

где k_H – коэффициент надёжности, для блоков защиты «Сириус-2-Л», 1,1;

$k_{c.з.}$ – коэффициент запуска двигателей, 1;

$k_{в}$ – коэффициент возврата, для блоков защиты «Сириус-2-Л» 0,95;

$I_{раб.}$ – максимальный рабочий ток линии ЦП-8, А.

Проведение расчёта вторичного тока срабатывания МТЗ по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению для линии ЦП-8:

$$I_{c.p.} = I_{c.з.} \cdot k_{cx} / n_T, \quad (76)$$

$$I_{c.p.} = 716 \cdot 1 / (160/5) = 4 \text{ с.}$$

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

Проведение расчёта коэффициента чувствительности МТЗ по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению для линии ЦП-8:

$$K_q = \frac{I_{КЗ}^{(2)}}{I_{с.з.}}, \quad (77)$$

$$K_q = \frac{8,28}{0,716} = 12,$$

Проведение расчёта эффективности МТЗ по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению для линии ЦП-8:

$$K_q \geq 1,5$$

$12 \geq 1,5$, чувствительность МТЗ достаточная.

Проведение расчёта выдержки времени МТЗ по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению для линии ЦП-8:

$$t_{с.з.} = t_{МТЗ} + \Delta t, \quad (78)$$

$$t_{с.з.} = 0,05 + 0,5 = 0,55 \text{ с},$$

где Δt - ступени селективности, 0,5 с;

$t_{МТЗ}$ - время срабатывания МТЗ, 0,05 с.

13.3 Защита от однофазных замыканий на землю КЛ-10 кВ

Проведение расчёта тока замыкания на землю ЗНЗ по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению для линии ЦП-8:

$$I_{повр.л} = \frac{U_H \cdot L_K}{10}, \quad (79)$$

$$I_{\text{повр.л}} = \frac{10 \cdot 0,4}{10} = 0,4 \text{ А},$$

где U_H – номинальное напряжение сети, кВ;

L_K – длина линии ЦП-8 системы внутреннего электроснабжения НПС-28, км.

Проведение расчёта тока стекания через трансформатор тока нулевой последовательности ЗНЗ по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению для линии ЦП-8:

$$I_{\text{ТНП.повр.л}} = I_{\text{ЗНЗ}} - I_{\text{повр.л}}, \quad (80)$$

$$I_{\text{ТНП.повр.л}} = 2,3 - 0,4 = 1,9 \text{ А},$$

где $I_{\text{ЗНЗ}}$ – суммарный емкостной ток внутренних сетей 10 кВ НПС-28, 2,3 А.

Проведение расчёта тока срабатывания ЗНЗ по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению для линии ЦП-8:

$$I_{\text{с.з.}} = I_{\text{ТНП.повр.л}} / K_{\text{ч}}, \quad (81)$$

$$I_{\text{с.з.}} = 1,9 / 1,5 = 1,3,$$

где $K_{\text{ч}}$ – коэффициент чувствительности, для блоков защиты «Сириус-2-Л» 1,5.

Таблица 24, куда можно свести все полученные в промежуточных вычислениях данные о результатах выбора защит линий 10 кВ внутреннего электроснабжения НПС-28 даётся для ознакомления ниже.

Таблица 24 – Уставки срабатывания РЗ линий 10 кВ внутреннего электроснабжения НПС-28

Линия	I _{(3)по} , кА	I _{(2)по} , кА	I _p , А	I _{н.т.т.} , А	Токовая отсечка				МТЗ			ЗНЗ		
					I _{с.з.} кА	пТ	I _{с.р.} А	K _ч	I _{с.з.} кА	I _{с.р.} А	K _ч	I _{повр.л.} А	I _{тнп.повр.л.} А	I _{с.з.} А
Здание магистральной насосной 8	9.52	8.28	617	800	10.47	160	65	0.79	0.716	4	12	0,40	1,90	1,3
Операторная ЗРУ, КТП 9	9.51	8.28	69	100	10.46	20	523	0.79	0.183	9	45	0,20	2,10	1,4
Насосная станция пожаротушения 25	9.42	8.19	23	50	10.36	10	1036	0.79	0.183	18	45	0,60	1,70	1,1
Закрытая стоянка техники с ремонтным блоком. Склад оборудования, запасных частей.18	9.18	7.99	27	50	10.1	10	1010	0.79	0.183	18	44	1,10	1,20	0,8

13.4 Токовая отсечка электродвигателей 10 кВ

Проведение расчёта номинального тока электродвигателей НПС-28 по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению:

$$I_{ном} = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \cos\varphi}, \quad (82)$$

$$I_{ном} = \frac{8000}{1,73 \cdot 10 \cdot 0,9} = 514 \text{ A}$$

Проведение расчёта пускового тока электродвигателей НПС-28 по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению [18]:

$$I_{\text{пус}} = K_i \cdot I_{\text{ном}}, \quad (83)$$

$$I_{\text{пус}} = 4 \cdot 514 = 2055 \text{ A},$$

где K_i - кратность пускового тока, $K_i = 6$.

Проведение расчёта тока срабатывания ТО по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению для электродвигателей НПС-28:

$$I_{\text{с.о}} = K_n \cdot 1,8 \cdot I_{\text{пус}}, \quad (84)$$

$$I_{\text{с.о.}} = 1,1 \cdot 1,8 \cdot 2055 = 4069 \text{ A},$$

где K_n – коэффициент надёжности, 1,1;

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

Проведение расчёта коэффициента трансформации трансформатора тока по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению для электродвигателей НПС-28:

$$n_T = \frac{I_{\text{ТВ}}}{I_{\text{ТН}}},$$

$$n_T = 600/5 = 120.$$

Проведение расчёта вторичного тока срабатывания ТО по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению для электродвигателей НПС-28:

$$I_{c.p.} = \frac{K_{cx}}{n_{га}} \cdot I_{c.o.}$$

$$I_{c.p.} = \frac{1}{120} \cdot 4069 = 34A$$

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

Проведение расчёта коэффициента чувствительности ТО по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению для электродвигателей НПС-28:

$$K_{ч} = \frac{I_{КЗ}^{(2)}}{I_{с.з.}}, \quad (82)$$

$$K_{ч} = \frac{8250}{4069} = 2,03.$$

Проведение расчёта эффективности ТО по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению для электродвигателей НПС-28:

$$K_{ч} \geq 2,$$

2,03 ≥ 2, чувствительность ТО достаточная.

13.5 Максимальная токовая защита электродвигателей 10 кВ

Проведение расчёта тока срабатывания МТЗ по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению для электродвигателей НПС-28:

$$I_{c.з.} = \frac{K_n}{K_v} \cdot I_{ном},$$

$$I_{c.з.} = \frac{1,1}{0,98} \cdot 514 = 576 \text{ A}$$

где K_n – коэффициент надёжности, 1,1;

K_v – коэффициент возврата, для микропроцессорных реле, 0,98.

Проведение расчёта вторичного тока срабатывания МТЗ по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению для электродвигателей НПС-28:

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

$$I_{c.p.} = \frac{\sqrt{3}}{120} \cdot 576 = 8,3 \text{ A},$$

где K_{cx} – коэффициент схемы, для нашей схемы соединения обмоток трансформаторов тока, $\sqrt{3}$;

$n_{та}$ – коэффициент трансформации трансформаторов тока, 120.

Проведение расчёта коэффициента чувствительности МТЗ по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению для электродвигателей НПС-28:

$$K = \frac{I_{c.p.(ТО)}}{I_{c.p.(МТЗ)}}, \tag{86}$$

$$K = \frac{34}{8,3} = 4.$$

Проведение расчёта эффективности МТЗ по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению для электродвигателей НПС-28:

$$K \geq 1,5,$$

$4 \geq 1,5$, чувствительность МТЗ достаточная.

13.6 Устройства автоматического включения резерва

Проведение расчёта напряжения срабатывания устройства автоматического включения резерва по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению для шин 10 кВ НПС-28 [18]:

$$U_{с.з.} = (0,7 \div 0,8) \cdot U_{ном};$$

$$U_{с.з.} = 0,8 \cdot 10000 = 8000 \text{ В.}$$

Проведение расчёта времени срабатывания устройства автоматического включения резерва по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению для шин 10 кВ НПС-28:

$$t_{с.з.} = t_{р.з.} + \Delta t + t_{МТЗ};$$

$$t_{с.з.} = 0,01 + 0,5 + 0,55 = 1,06 \text{ с,}$$

где $t_{МТЗ}$ – время срабатывания максимальной токовой защиты, 0,55 с;

Δt – ступень селективности, 0,5 с.

$t_{р.з.}$ – время срабатывания максимальной токовой защиты, 0,01 с.

13.7 Защита трансформаторов 10/0,4 кВ

Для защиты масляных трансформаторов КТП-1 2х1000 кВА используются блоки микропроцессорной защиты БМРЗ-158-ТР-01.

Проведение расчёта тока срабатывания токовой отсечки по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению для КТП-1:

$$I_{c.o} \leq k_n \cdot I_{к.макс}^{(3)},$$

$$I_{c.o} \leq 1,3 \cdot 9,52 = 12,4 \text{ кА},$$

где $I_{к.макс}^{(3)}$ - ток трехфазного КЗ с высокой стороны на напряжении 10 кВ;

k_n - коэффициент надежности, 1,3.

Проведение расчёта тока срабатывания реле токовой отсечки по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению для КТП-1:

$$I_{ср.р} = I_{с.з} \cdot \frac{k_{сх}}{n_m},$$

$$I_{ср.р} = 12400 \cdot \frac{1}{30} = 412 \text{ А},$$

где $k_{сх}$ - коэффициент схемы, 1;

n_m - коэффициент трансформации трансформаторов тока, $150/5=30$.

Проведение расчёта чувствительности токовой отсечки по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению для КТП-1:

$$k_u \geq k_u' \cdot \frac{I_{к.мин}^{(2)}}{I_{с.з}}$$

$$k_{\text{ч}} \geq 1 \cdot \frac{9520 \cdot 0,87}{412} = 20,$$

где $I_{\text{к.мин}}^{(2)}$ - ток двухфазного КЗ в минимальном режиме;

$k_{\text{ч}}$ - коэффициент, учитывающий расчетный вид и место КЗ, 1.

Требуемая чувствительность не менее 2 обеспечена.

Проведение выбора времени срабатывания токовой отсечки по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению для КТП-1:

$$t_{\text{с.з.ТО}} = 0 \text{ с.}$$

Проведение расчёта тока срабатывания максимальной токовой защиты по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению для КТП-1:

$$I_{\text{с.з.}} = \frac{K_{\text{н}} \cdot K_{\text{сам}}}{K_{\text{в}}} \cdot I_{\text{раб.макс}},$$

$$I_{\text{с.з.}} = \frac{1,25 \cdot 2}{0,8} \cdot 116 = 362 \text{ А},$$

где $I_{\text{раб.макс}}$ - номинальный ток стороны ВН КТП-1, рассчитан ранее при выборе выключателей нагрузки и предохранителей 10 кВ;

$K_{\text{н}}$ - коэффициент надежности, для блоков БМРЗ-158-ТР-01 выбран 1,25;

$K_{\text{сам}}$ - коэффициент самозапуска, для блоков БМРЗ-158-ТР-01 выбран 2;

$K_{\text{в}}$ - коэффициент возврата, для блоков БМРЗ-158-ТР-01 выбран 0,8.

Проведение расчёта чувствительности максимальной токовой защиты по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению для КТП-1:

$$K_{\psi} = \frac{I_{K3}^{(3)} \cdot 0.87}{I_{c.з.} \cdot K_T} \geq 1.5,$$

$$K_{\psi} = \frac{9520 \cdot 0.87}{362 \cdot 25} = 0.9 \geq 1.5, 0.9$$

Требуемая чувствительность не менее 1,5 не обеспечена, компенсируется выдержкой времени 0,5 с.

Проведение расчёта времени срабатывания реле максимальной токовой защиты по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению для КТП-1:

$$t_{c.з.МТЗ} = t_{np \max} + \Delta t,$$

$$t_{c.з.МТЗ} = 0.5 + 0.5 = 1.0 \text{ с.}$$

Проведение расчёта тока срабатывания реле максимальной токовой защиты по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению для КТП-1:

$$I_{c.p.} = K_{cx} \cdot \frac{I_{c.з.}}{n_{TA}},$$

$$I_{c.p.} = \frac{\sqrt{3} \cdot 362}{30} = 21 \text{ A.}$$

14 КОМПЕНСАЦИЯ ЕМКОСТНЫХ ТОКОВ ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ

Проведение расчёта тока замыкания на землю по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению для системы внутреннего электроснабжения НПС-28:

$$I_c = \frac{U_H \cdot L_K}{10}; \quad (87)$$

$$I_c = \frac{10 \cdot 2,3}{10} = 2,3 \text{ А},$$

где U_H – номинальное напряжение сети, кВ;

L_K – длина кабелей 10 кВ системы внутреннего электроснабжения НПС-28, 2,3 км.

Проведение расчёта необходимости компенсации тока замыкания на землю по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению для системы внутреннего электроснабжения НПС-28:

$$I_c \leq I_{c \text{ доп}},$$

$$2,3 \text{ А} \leq 20 \text{ А}.$$

Значение емкостного тока замыкания на землю в системе внутреннего электроснабжения НПС-28 не превышает допустимой величины из ПУЭ.

Установка дугогасящего реактора в системе внутреннего электроснабжения НПС-28 не требуется.

15 МОЛНИЕЗАЩИТА, ЗАЗЕМЛЕНИЕ ЗДАНИЯ НАСОСНОЙ

15.1 Молниезащита здания насосной

Проведение расчёта плотности разрядов молнии на землю для Амурской области по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению:

$$p_0 = 0,05 \times N_{г.ч.};$$

$$p_0 = 0,05 \times 50 = 2,5 \text{ 1/км}^2,$$

где $N_{г.ч.}$ – число грозочасов в год ко карте грозовой активности для Амурской области, 50.

Проведение расчёта эквивалентной высоты здания насосной НПС-28 по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению:

$$R_{ЭКВ} = 5 \times h_C - \frac{2 \times h_C^2}{30}; \quad (88)$$

$$R_{ЭКВ} = 5 \times 9,6 - \frac{2 \times 9,6^2}{30} = 41,9 \text{ м};$$

h_C - высота здания насосной, 9,6 м.

Проведение расчёта числа грозовых разрядов в здание насосной НПС-28 по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению:

$$N = p_0 \times (a_C + 2 \times R_{ЭКВ}) \times (b_C + 2 \times R_{ЭКВ}) \times 10^{-6}, \quad (89)$$

$$N = 2,5 \times (63 + 2 \times 41,9) \times (18 + 2 \times 41,9) \times 10^{-6} = 0,037 ,$$

где a_C, b_C - длина и ширина здания насосной, м;

$R_{ЭКВ}$ - эквивалентная высота здания насосной, м.

Проведение расчёта грозопоражаемости здания насосной НПС-28 по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению:

$$T = \frac{1}{N} , \tag{90}$$

$$T = \frac{1}{0,037} = 27 .$$

Допустимая величина грозопоражаемости для здания насосной НПС-28 на территории Амурской области составляет 1 раз в 20 лет, расчёт закончен.

Кровля здания насосной НПС-28 на территории Амурской области выполнена металлическим профилированным покрытием и заземлена.

15.2 Заземление здания насосной

Проведение расчёта стационарного сопротивления одного вертикального электрода заземлителя здания насосной НПС-28 по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению:

$$R_{ЭВ} = \frac{\rho_{грунт}}{\pi \cdot 2 \cdot l_B} \cdot \ln \left[\frac{4 \cdot l_B \cdot (2 \cdot h_3 + l_B)}{d \cdot (4 \cdot h_3 + l_B)} \right] , \tag{91}$$

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

где l_B - длина вертикального электрода, м;

h_3 - глубина заложения заземлителя, м;

$\rho_{\text{грунт}}$ - удельное сопротивление грунта, по [19] для почвы берём из диапазона 50-150 Ом·м;

d - диаметр электродов, м.

Проведение расчёта стационарного сопротивления одного горизонтального электрода заземлителя здания насосной НПС-28 по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению:

$$R_{\text{ЭГ}} = \frac{\rho_{\text{грунт}}}{\pi \cdot l} \cdot \ln \left[\frac{1.5 \cdot l}{\sqrt{2 \cdot d \cdot h_3}} \right],$$

$$R_{\text{ЭГ}} = \frac{150}{\pi \cdot 4} \cdot \ln \left[\frac{1.5 \cdot 4}{\sqrt{2 \cdot 0,02 \cdot 0,2}} \right] = 25 \text{ Ом},$$

где l – длина горизонтальной полосы, м.

Проведение расчёта общего стационарного сопротивления заземлителя здания насосной НПС-28 по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению:

$$R = \frac{R_{\text{ЭВ}} \cdot R_{\text{ЭГ}}}{\eta \cdot (n_B \cdot R_{\text{ЭГ}} + n_G \cdot R_{\text{ЭВ}})}, \quad (92)$$

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

где $\eta = 0,75$ - коэффициент использования сложного заземлителя;

n_B - число вертикальных электродов;

n_G - число горизонтальных электродов;

Проведение расчёта импульсного сопротивления вертикального электрода заземлителя здания насосной НПС-28 по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению:

$$R_{uB} = \frac{\alpha_{uB} \cdot R_{\text{ЭВ}}}{\eta \cdot n_B}, \quad (93)$$

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

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

Проведение расчёта удельной индуктивности на единицу длины горизонтального заземлителя здания насосной НПС-28 по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению, мкГн/м:

$$L_O = 0,2 \cdot \left(\ln \frac{l}{r} - 0,31 \right), \quad (94)$$

$$L_O = 0,2 \cdot \left(\ln \frac{4}{0,01} - 0,31 \right) = 1,14.$$

Проведение расчёта импульсного коэффициента протяженного заземлителя здания насосной НПС-28 по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению:

$$\alpha_{u\Gamma} = 1 + \frac{L_O \cdot l}{3 \cdot \tau_\phi \cdot R_{\text{ЭГ}}} \alpha_{u\Gamma}, \quad (95)$$

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

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

Проведение расчёта импульсного сопротивления протяжного электрода заземлителя здания насосной НПС-28 по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению, Ом:

$$R_{u\Gamma} = \alpha_u \cdot R_{\text{э}\Gamma}, \quad (96)$$

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

Проведение расчёта общего импульсного сопротивления заземлителя здания насосной НПС-28 по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению, Ом:

$$R_u = \frac{R_{u\Gamma} \cdot R_{uB}}{\eta_u \cdot (n_B \cdot R_{u\Gamma} + n_\Gamma \cdot R_{uB})}, \quad (97)$$

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

Вертикальные электроды количеством 8 шт, длиной 1 м, диаметром 20 мм закладываем на глубину 0,2 м, соединяем между собой электродами того же диаметра, рисунок 9.

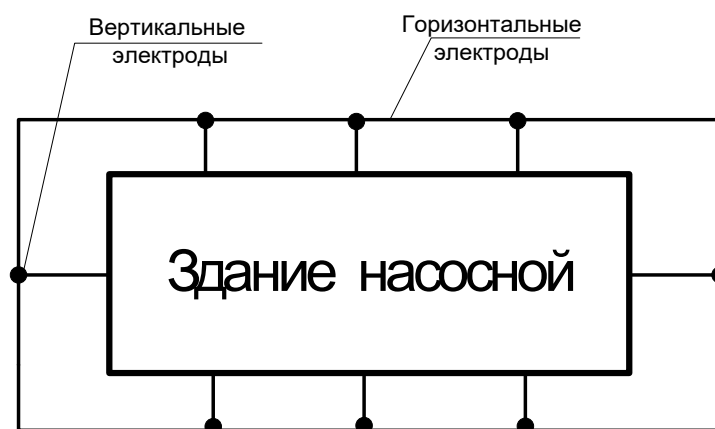


Рисунок 9 –Заземление ТП

Проведение проверки электробезопасности по общему стационарному сопротивлению заземлителя здания насосной НПС-28 по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению:

$$R \leq R_{ст доп}; \quad (98)$$

$$3,5 \text{ Ом} \leq 4 \text{ Ом};$$

где $R_{ст доп}$ – допустимое стационарное сопротивление из ПУЭ, 4 Ом.

Проведение проверки стекания тока молнии по общему импульсному сопротивлению заземлителя здания насосной НПС-28 по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению:

$$R \leq R_{имп доп}; \quad (99)$$

$$1,9 \text{ Ом} \leq 9 \text{ Ом};$$

где $R_{имп доп}$ – допустимое импульсное сопротивление из ПУЭ, 9 Ом.

16 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ

16.1 Безопасность

При реконструкции внутреннего электроснабжения напряжением 10 кВ ПС НПС- 28 применяется оперативная блокировка, затрудняющая включение выключателей и разъединителей на заземляющие ножи, а также затрудняющая включение заземляющих ножей на ошиновку без снятия с неё напряжения и затрудняющая отключение и включение тока нагрузки разъединителями силовых трансформаторов мощностью более 400 кВА КТП-1 [30].

На заземляющих ножах линейных разъединителей со стороны кабельных линий системы внутреннего электроснабжения напряжением 10 кВ ПС НПС- 28 использована механическая система блокировки приводом разъединителя и устройство замковой блокировки заземляющих ножей в отключенном положении [31].

Шкафы релейной защиты системы внутреннего электроснабжения напряжением 10 кВ ПС НПС- 28 оборудованы электромагнитной блокировкой.

На разъединителях системы внутреннего электроснабжения напряжением 10 кВ ПС НПС- 28, доступных для посторонних лиц, использована замковая система блокировки в отключенном и включенном положениях.

При реконструкции внутреннего электроснабжения напряжением 10 кВ ПС НПС- 28 применяется блокировка безопасности, которая исключает вход лиц эксплуатационного или ремонтного персонала в камеры РУ-10 кВ ПС НПС- 28, где имеется риск опасного приближения к токоведущим частям или к частям оборудования, находящегося под напряжением.

Блокировка безопасности в системе внутреннего электроснабжения напряжением 10 кВ ПС НПС- 28 осуществляется электрическими замками, в результате чего проникновение в опасную зону возможно только при снятии напряжения с оборудования.

В системе внутреннего электроснабжения напряжением 10 кВ ПС НПС- 28 установлено достаточное количество стационарных заземляющих ножей, что

способствует достаточной безопасности персонала при заземлении аппаратов и ошиновки без применения переносных заземлений.

В системе внутреннего электроснабжения напряжением 10 кВ ПС НПС- 28 стационарные заземляющие ножи окрашены в красный цвет, а рукоятки других приводов в цвета оборудования.

При реконструкции внутреннего электроснабжения напряжением 10 кВ ПС НПС- 28 в случае невозможного использования стационарных заземляющих ножей проводится подготовка контактных поверхностей заземляемого оборудования для присоединения переносных заземляющих проводников.

В РУ напряжением 10 кВ ПС НПС- 28 на каждой секции шин имеется ячейка трансформатора напряжения, в которой выполняется заземление сборных шин заземляющими ножами разъединителей трансформаторов напряжения.

При реконструкции внутреннего электроснабжения напряжением 10 кВ ПС НПС- 28 для безопасности персонала при входе в камеры КРУ-10 кВ для осмотра под напряжением на высоте 1,2 м используются съёмные барьеры.

При реконструкции внутреннего электроснабжения напряжением 10 кВ ПС НПС- 28 проводятся работы без снятия напряжения по проверке уровня и температуры масла маслонеполненных трансформаторов КТП, проведение которых обеспечено удобными и безопасными условиями для доступа к ним с точки зрения безопасности персонала.

При реконструкции внутреннего электроснабжения напряжением 10 кВ ПС НПС- 28 выполнение отбора проб масла трансформаторов КТП проводится в соответствующих регламентах технического обслуживания трансформаторов местах отбора проб.

В РУ напряжением 10 кВ ПС НПС- 28 допустимо проведение работ с помощью механизмов и грузоподъемных машин, которые испытываются и эксплуатируются с требованиями стандартов безопасности труда, инструкциями завод-изготовителей [20].

Рабочие и инженерно-технические работники осуществляющие работы реконструкции внутреннего электроснабжения напряжением 10 кВ ПС НПС- 28 допускаются к проведению работ после прохождения медицинского осмотра в порядке и в сроки, установленные Минздравом РФ [31].

При реконструкции подстанций напряжением 10/0,4 кВ в системе внутреннего электроснабжения напряжением 10 кВ ПС НПС- 28 выполнено одно общее заземляющее устройство, к которому подключены нейтраль трансформатора на стороне 0,4 кВ, корпус трансформатора отдельным контуром и открытые проводящие части электроустановок напряжением 0,4-10 кВ.

По периметру территории подстанций напряжением 10/0,4 кВ в системе внутреннего электроснабжения напряжением 10 кВ ПС НПС- 28 выполнен замкнутый горизонтальный заземлитель, глубина установки заземлителя составляет не менее 0,5 м и на расстоянии не более 1 м от края фундамента здания подстанции. Горизонтальный заземлитель присоединен к заземляющему устройству подстанций напряжением 10/0,4 кВ в системе внутреннего электроснабжения напряжением 10 кВ ПС НПС- 28.

При реконструкции подстанций напряжением 10/0,4 кВ в системе внутреннего электроснабжения напряжением 10 кВ ПС НПС- 28 соблюдаются меры защиты при косвенном прикосновении к корпусам электрических машин, трансформаторов, аппаратов, приводам электрических аппаратов, каркасам распределительных щитов, щитов управления, щитков и шкафов, а также съемным или открывающимся частям.

При реконструкции подстанций напряжением 10/0,4 кВ в системе внутреннего электроснабжения напряжением 10 кВ ПС НПС- 28 защита при косвенном прикосновении осуществляется путём автоматического отключения питания указанных открытых проводящих частей. Схема подключения к питанию реализуется присоединением к глухозаземленной нейтрали трансформаторов 10/0,4 кВ.

При реконструкции подстанций напряжением 10/0,4 кВ в системе внутреннего электроснабжения напряжением 10 кВ ПС НПС- 28 защита при косвенном

прикосновении к дверцам или шторам распределительных щитов, щитов управления, щитков и шкафов с электрооборудованием напряжением выше 50 В переменного или 120 В постоянного тока либо с электрооборудованием напряжением выше 25 В переменного или 60 В постоянного тока осуществляется использованием автоматического отключения питания.

При реконструкции подстанций напряжением 10/0,4 кВ в системе внутреннего электроснабжения напряжением 10 кВ ПС НПС- 28 защита при косвенном прикосновении к металлическим конструкциям распределительных устройств, оболочке и броне контрольных и силовых кабелей осуществляется использованием автоматического отключения питания.

При реконструкции подстанций напряжением 10/0,4 кВ в системе внутреннего электроснабжения напряжением 10 кВ ПС НПС- 28 защита при косвенном прикосновении к металлическим оболочкам контрольных и силовых кабелей и проводов на напряжении, не превышающим допустимые уровни, проложенным на общих металлических конструкциях, в том числе в общих трубах, коробах, лотках, с кабелями и проводами на более высокие напряжения осуществляется использованием автоматического отключения питания.

При реконструкции подстанций напряжением 10/0,4 кВ в системе внутреннего электроснабжения напряжением 10 кВ ПС НПС- 28 защита при косвенном прикосновении к металлическим корпусам передвижных и переносных электроприемников осуществляется использованием автоматического отключения питания.

При реконструкции подстанций напряжением 10/0,4 кВ в системе внутреннего электроснабжения напряжением 10 кВ ПС НПС- 28 защита при косвенном прикосновении к электрооборудованию, установленному на движущихся частях механизмов осуществляется использованием автоматического отключения питания.

Выполнение полного перечня мер безопасности при реконструкции подстанций напряжением 10/0,4 кВ в системе внутреннего электроснабжения напряжением 10 кВ ПС НПС- 28 позволяет обезопасить условия труда персонала.

16.2 Экологичность

На КТП-2 в системе внутреннего электроснабжения напряжением 10 кВ ПС НПС- 28 установлены масляные трансформаторы ТМ-1000/10. Требуется соблюсти требования экологичности для предотвращения вреда окружающей среды от загрязнения трансформаторным маслом.

Локализация загрязнения трансформаторным маслом на КТП-2 в системе внутреннего электроснабжения напряжением 10 кВ ПС НПС- 28 будет осуществляться по [22] путём установки заглубленного маслоприемника без отвода масла в маслоборник.

Маслоприемник на КТП-2 располагается под силовым отсеком КТП-2.

Для КТП-2 масса масла в одном баке трансформатора ТМ-1000/10 более 600 кг, поэтому сооружается маслоприемник, рассчитанный на полный объем масла [33].

Площадь маслоприемника на КТП-2 более площади основания трансформатора с учётом того, что габариты маслоприемника на 0,6 м выступают за габариты трансформатора ТМ-1000/10 [22].

Проведение расчёта площади маслоприёмника КТП-2 по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению, m^2 :

$$S_{МП} = (A + 2 \cdot \delta) \cdot (B + 2 \cdot \delta) , \quad (100)$$

$$S_{МП} = (2,25 + 2 \cdot 0,6) \cdot (1,3 + 2 \cdot 0,6) = 8,63 \text{ м}^2$$

где A - длина трансформатора, 2,25 м [32];

B - ширина трансформатора, 1,3 м [32];

δ - ширина выступа, принимается 0,6 м.

Проведение расчёта объём трансформаторного масла КТП-2 по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению, m^3 :

$$V_{TM} = \frac{M}{\rho_{TM}}, \quad (101)$$

$$V_{TM} = \frac{1180}{880} = 1,34 \text{ м}^2$$

где M - масса масла, 1180 кг [32];

ρ_{TM} - плотность масла, 880 кг/м³ [34];

Проведение расчёта высоты маслоприёмника для приёма 100 % масла КТП-2 по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению, м:

$$h_{TM} = \frac{V_{TM}}{S_{МП}}. \quad (102)$$

$$h_{TM} = \frac{1,34}{8,63} = 0,16 \text{ м.}$$

Проведение расчёта окончательной высоты маслоприёмника с учётом насыпи гравия и зазора от сетки до поверхности масла КТП-2 по ходу выполнения выпускной квалификационной работы допустимо сделать по выражению, м:

$$h_{МП} = h_{TM} + h_2 + h_{en} \quad (103)$$

$$h_{МП} = 0,16 + 0,25 + 0,05 + 0,075 = 0,535.$$

где h_2 - толщина слоя гравия на решетке, 0,25 м [33];

h_p - расстояние до решетки, 0,05 м [33];

h_{en} - толщина воздушной прослойки на гравием, 0,075 м [33];

Эскиз маслоприёмника КТП-2 представлен на рисунке 10.

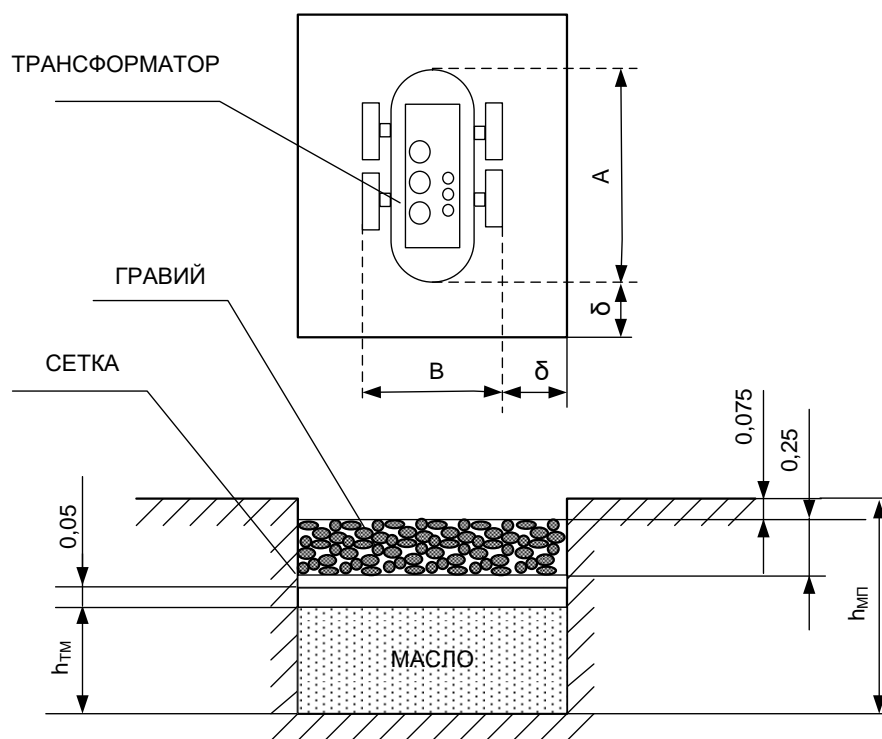


Рисунок 10 - Эскиз маслоприёмника КТП-2 2x1000 кВА

16.3 Чрезвычайные ситуации

Среди прочих чрезвычайных ситуаций при реконструкции электроустановок по опасности оборудованию и персоналу выделяется пожар.

В данном пункте описываются действия персонала, проводящего работы в системе внутреннего электроснабжения напряжением 10 кВ ПС НПС- 28 при возникновении пожара.

Персонал, проводящий работы в системе внутреннего электроснабжения напряжением 10 кВ ПС НПС- 28 при возникновении пожара должен без промедления сообщить начальнику смены ПС НПС- 28, в пожарную охрану. После оповещения о пожаре персонал, проводящий работы в системе внутреннего электроснабжения напряжением 10 кВ ПС НПС- 28, обязан приступить к тушению пожара имеющимися средствами пожаротушения [35].

Начальник смены ПС НПС- 28 обязан немедленно сообщить о пожаре в пожарную охрану, руководству ПС НПС- 28 и диспетчеру энергосистемы.

До прибытия подразделений ГПС МВД России руководителем тушения пожара в системе внутреннего электроснабжения напряжением 10 кВ ПС НПС-28 является начальник смены ПС НПС-28.

Начальник смены ПС НПС-28 обеспечивает удаление с места пожара в системе внутреннего электроснабжения напряжением 10 кВ ПС НПС-28 всех посторонних лиц.

Места возникновения пожара и возможные пути его распространения устанавливаются начальником смены ПС НПС-28, а также прогнозируются места образования новых очагов горения в системе внутреннего электроснабжения напряжением 10 кВ ПС НПС-28.

Начальник смены ПС НПС-28 проверяет факт включения системы автоматического пожаротушения в системе внутреннего электроснабжения напряжением 10 кВ ПС НПС-28, при её отказе проводит ее ручное включение.

Начальник смены ПС НПС-28 проводит подготовительные работы в системе внутреннего электроснабжения напряжением 10 кВ ПС НПС-28 с целью обеспечения эффективного тушения пожара.

Расположение водоисточников и места заземления пожарной техники устанавливаются начальником смены ПС НПС-28 или компетентным персоналом в этом вопросе.

Начальник смены ПС НПС-28 отдаёт распоряжения на отключение оборудования в зоне пожара системы внутреннего электроснабжения напряжением 10 кВ ПС НПС-28 дежурному персоналу ПС НПС-28.

Подразделения ГПС МВД после прибытия на место пожара в системе внутреннего электроснабжения напряжением 10 кВ ПС НПС-28 принимают руководство тушением пожара на себя посредством распоряжения старшего начальника этого подразделения. Начальник смены ПС НПС-28 осуществляет информирование старшего начальника подразделения ГПС МВД о принятых мерах противодействия пожару [35].

Руководитель тушения пожара в системе внутреннего электроснабжения напряжением 10 кВ ПС НПС- 28 отдаёт распоряжение на использование огнетушащих средств после проведения инструктажа и выполнения необходимых мер безопасности.

Руководитель тушения пожара в системе внутреннего электроснабжения напряжением 10 кВ ПС НПС- 28 получает письменное распоряжение на тушение электрооборудования ПС НПС- 28 под напряжением от начальника смены ПС НПС- 28 после инструктажа личного состава пожарных подразделений и проведения требуемых отключений электроустановок с визуальным контролем работ пожарных подразделений.

Реконструкция системы внутреннего электроснабжения напряжением 10 кВ ПС НПС- 28 проводится при использовании пожаробезопасных моющих средств для обмывки и обезжиривания деталей технологического оборудования в количествах, требуемых для разового использования, но не более 1 л в закрытой таре из небьющегося материала.

Ремонтные работы в системе внутреннего электроснабжения напряжением 10 кВ ПС НПС- 28 проводятся при наличии проходов и проездов, путей эвакуации, а также подходов к средствам пожаротушения.

Ремонтные работы со сварочным оборудованием в системе внутреннего электроснабжения напряжением 10 кВ ПС НПС- 28 проводятся при невозможности размещения оборудования на постоянном сварочном посту.

Ремонтные работы в системе внутреннего электроснабжения напряжением 10 кВ ПС НПС- 28 проводятся на чистых поверхностях без масляных загрязнений и проливов.

Не допускается при работах по реконструкции системы внутреннего электроснабжения напряжением 10 кВ ПС НПС- 28 складировать промасленные обтирочные материалы из соображений пожаробезопасности.

Не допускается при работах по реконструкции системы внутреннего электроснабжения напряжением 10 кВ ПС НПС- 28 создавать препятствия в основных проходах и проездах транспорта внутри зданий и подъездах к ним.

Для работ с деталями оборудования и материалами при реконструкции системы внутреннего электроснабжения напряжением 10 кВ ПС НПС- 28 используются специальные ремонтные площадки, на которых размещается требуемое оборудование.

Ремонтные работы по сливу масла из трансформаторов в системе внутреннего электроснабжения напряжением 10 кВ ПС НПС- 28 осуществляются с учётом подключения переносных шлангов к централизованной разводке маслопроводов маслохозяйства. В системе внутреннего электроснабжения напряжением 10 кВ ПС НПС- 28 используются специальные баки для сбора масла и маслостойкие шланги для циркуляции масла, при этом шлангов для предотвращения протечек масла надёжно соединяются.

Ремонтные работы по сушке трансформатора методом индукционного подогрева с дополнительным обогревом дна бака в системе внутреннего электроснабжения напряжением 10 кВ ПС НПС- 28 осуществляются нагревательными печами закрытого типа. Печи устанавливаются на несгораемое основание.

Для пожаробезопасных работ в системе внутреннего электроснабжения напряжением 10 кВ ПС НПС- 28 проводится организация дополнительного поста с исправными первичными средствами пожаротушения, а также предусматривается в радиусе 20 м постоянный пост пожаротушения.

Для пожаробезопасных работ в системе внутреннего электроснабжения напряжением 10 кВ ПС НПС- 28 организуется инструктаж дежурного персонала мерам безопасности при возникновении пожара.

Ремонтные работы по окраске в системе внутреннего электроснабжения напряжением 10 кВ ПС НПС- 28 проводятся на исправном оборудовании с требуемой герметичностью при нормальном давлении.

Ремонтные работы по окраске в системе внутреннего электроснабжения напряжением 10 кВ ПС НПС- 28 проводятся с помощью средств малой механизации с учётом поддержания чистоты в помещениях.

Ремонтные работы по окраске в системе внутреннего электроснабжения напряжением 10 кВ ПС НПС- 28 проводятся на минимальном удалении 20 м от

мест проведения огневых работ с применением открытого огня или искрообразования. В особых случаях ремонтные работы по окраске не проводятся.

Ремонтные работы по окраске в системе внутреннего электроснабжения напряжением 10 кВ ПС НПС- 28 проводятся с применением средств вентиляции зоны окраски или со снижением объема разовых окрасочных работ в смену для соблюдения санитарных норм воздушной среды.

Ремонтные работы по окраске в системе внутреннего электроснабжения напряжением 10 кВ ПС НПС- 28 запрещены при отсутствии средств пожаротушения или их неисправности.

В системе внутреннего электроснабжения напряжением 10 кВ ПС НПС- 28 запрещается окраска технологического оборудования при организации гидравлических или пневматических испытаний любых элементов оборудования, включая трубопроводы, крепёжные элементы [35].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения работы были проведены расчёты нагрузок, 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-28.

Приведены меры электробезопасности и пожаробезопасности при работе в РУ-10 кВ ПС НПС-28, Рассчитан маслоприёмник для КТП-2

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. URL: <http://www.gtp.transneft.ru/>- сайт разработчика проекта (доступ от 07.06.2022).
2. Электротехнический справочник: В 4 т. Т. 3. Производство, передача и распределение электрической энергии. Под общ. ред. профессоров МЭИ В.Г. Герасимова и др. (гл. ред. А.И. Попов). - 9-е изд., испр. и доп. — М.: Издательство МЭИ, 2008. — 961 с.
3. Веников В.А., Строев В.А. (ред.) Электрические системы. Электрические сети. Учебник для энергетических специальностей вузов. Изд.2-е. М.: Высшая школа, 2008, 256 с.
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. Отчёт по преддипломной (производственной) практике, выполнил Студент 4 курса группа 842-узб Кособуцкий В.А., ФГБОУ ВО «АмГУ», 2022.
6. Железко Ю.С., Артемьев А.В., Савченко О.В. Расчет, анализ и нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях: Руководство для практических расчетов. - М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2004.-280 с: ил.
7. Мазур И.И. Управление проектами: учеб. пособие / И.И. Мазур, \Д. Шапиров, Н.Г'. Ольдегорте; под общ. ред. И.И, Мазура. - 3-е изд. - М.: 1мега-Л, 2015.-644 с.
8. URL: <http://www.konstalin.ru/?StartID=266> (доступ от 07.06.2022).
9. Киреева Э. А., Орлов В. В., Старкова Л. Е. Электроснабжение цехов промышленных предприятий. — М.: НТФ «Энергопрогресс», 2008. — 120 с; ил. Библиотечка электротехника, приложение к журналу «Энергетик», Вып. 12(60).
10. URL:http://remcable.3dn.ru/publ/kabeli_silovye/sg_10/2-1-0-199 (доступ от 07.06.2022).

11. ГОСТ 32144-2013 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Межгосударственный стандарт. Electric energy. Electromagnetic compatibility of technical equipment. Power quality limits in the public power supply systems
12. URL: <http://www.kabelperm.ru/kabel/s/sbg10.php> (доступ от 07.06.2022).
13. Барановский А.И., Кожевников Н.Н., Пирадова Н.В. Экономика промышленности. Том. 2 Часть 1, 2008 г.
14. 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.
15. Приложение к постановлению комитета по ценам и тарифам Правительства Амурской области от 23.12.2021 №74/9-П.
16. Г.М. Иманов, Ф.Х. Халилов, А.И. Таджибаев. Методика выбора нелинейных ограничителей, необходимых для защиты изоляции сетей низкого, среднего, высокого и сверхвысокого напряжения трёхфазного переменного тока. ПЭИПК, г. Санкт-Петербург, 2004г.
17. Расчёты релейной защиты и автоматики распределительных сетей: Монография. М.А. Шабад. - СПб.: ПЭИПК, 2006. - 4-е изд., перераб. и доп. - 350 стр.. ил.
18. Беляков Ю.П. Козлов А.Н. Мясоедов Ю.В. Релейная защита и автоматика электрических систем: Учебное пособие. – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2004.– 132 с.
19. Руководство по защите электрических сетей 6-1150 кВ от грозовых и внутренних перенапряжений. С.-П.: Издательство ПЭИПК, 1999.
20. URL: <http://www.plctech.ru/> (доступ от 07.06.2022).
21. URL: <http://www.elstersolutions.com/ru/index/> (доступ от 07.06.2022).
22. Схема развития распределительных электрических сетей 35 кВ и выше Амурской области на период до 2025г. с учётом перспективы до 2030г. Проект – ОАО «Дальэнергосетьпроект», 2020 г.

23. СТО 56947007-29.240.10.028-2009. Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ. – 13.04.2009

24. Судаков Г.В., Галушко Т.А. Оценка экономической эффективности проектов по строительству, реконструкции и модернизации систем электроснабжения объектов. Учебное пособие. - Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2006.

25. Программа развития электроэнергетики Амурской области 2021-2025 гг. – утв. Приказом министра экономического развития, промышленности и транспорта Ам. обл. от 28.04.2021 г. № 71-пр.

26. Ананичева, С.С. Методы анализа и расчета замкнутых электрических сетей / С.С. Ананичева, А.Л.Мызин, [Электронный ресурс]. URL: https://fondsmena.ru/media/publicationfiles/Metody_analiza_i_rascheta_zamknutykh_elektricheskikh_setei_2012.pdf (дата обращения 27.06.2020)

27. Ананичева, С.С. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования / С.С. Ананичева, А.Л.Мызин, С.Н.Шелюг. – Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ – УПИ, 2005. – 52 с.

28. Официальный сайт Радиус-автоматика [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.rza.ru/catalog/zashita-i-avtomatika-silovih-transformatorov-i-atotransformatorov/sirius-t.php> – 27.05.2022 г.

29. СТО 56947007-29.240.30.010-2008 Схемы принципиальные электрические распределительных устройств подстанций 35-750 кВ. Типовые решения [Электронный ресурс]. URL: https://www.fsk-ees.ru/media/File/customers_tech/Schems.pdf (дата обращения 21.05.2022)

30. 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.

31. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок. Утверждены приказом Министерства труда и социальной защиты РФ от 24 июля 2013 г.

32. Трансформаторы 6 кВ, технические характеристики [Электронный ресурс]. – URL: <https://electro.mashinform.ru/komplektnye-transformatornye-podstancii-klass-napryazheniya-do-6-kv-vklyuchitelno.html>– 24.04.2022 г.

33. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). 7-е изд. – М.: «Издательство НЦ ЭНАС», 2002. – 488 с.

34. ГОСТ 982-80. Масла трансформаторные

35. Правила пожарной безопасности для энергетических предприятий : Руководящий документ РД-153.-34.0-03.301-00. – М. : ЗАО Энергетические технологии, 2000. – 116 с.