



Общество с ограниченной ответственностью
«Томскэлектросетьпроект»

Заказчик: АО «ИЭСК»

«Реконструкция ПС 110 кВ Луговая с заменой трансформаторов Т-1, Т-2
мощностью 25 МВА на трансформаторы мощностью 63 МВА (прирост
мощности 76 МВА)»

ПРОЕКТНАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

**Раздел 5. Сведения об инженерном оборудовании, о сетях и
системах инженерно-технического обеспечения**

Подраздел 1. Система электроснабжения

Часть 5. Система собственных нужд

Ю5-373-ИОС1.5

Том 5.1.5

Директор

О.Г. Агеенко

Главный инженер проекта

Д.В. Ершов

| Изм. | № док. | Подп. | Дата |
|------|--------|-------|------|
| | | | |
| | | | |
| | | | |

СОДЕРЖАНИЕ

| Обозначение | Наименование | Страница |
|-------------------------------------|--|----------|
| Ю5-373-ИОС1.5-С | Содержание | 2 |
| Ю5-373-ИОС1.5.ТЧ | Текстовая часть | |
| | 1. Сведения об инженерном оборудовании, о сетях инженерно-технического обеспечения, перечень инженерно-технических мероприятий, содержание технологических решений. Система электроснабжения. Собственные нужды подстанции | 3 |
| | 1.1 Общие сведения об объекте проектирования | 4 |
| | 1.2 Собственные нужды | 4 |
| | 1.3 Выбор трансформаторов собственных нужд, токи короткого замыкания | 6 |
| Ю5-373-ИОС1.5.ГЧ | Графическая часть | |
| л. 1 | Схема электрическая принципиальная щита СН 400/230 В | 7 |
| л. 2 | Схема шкафа питания и обогрева приводов выключателя и разъединителей ШПО Т-1 | 8 |
| л. 3 | Схема шкафа питания и обогрева приводов выключателя и разъединителей ШПО Т-2 | 9 |
| л. 4 | План расстановки проектируемого оборудования в существующем здании ОПУ. 2 пусковой комплекс | 10 |
| Ю5-373-ИОС1.5.Р1 (Приложение Р1) | | 11-21 |

| | | | |
|----------------|--|--|--|
| Взам. инв. № | | | |
| Подпись и дата | | | |
| Инв. № подл. | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

1. Сведения об инженерном оборудовании, о сетях инженерно-технического обеспечения, перечень инженерно-технических мероприятий, содержание технологических решений
Система электроснабжения. Собственные нужды подстанции

Настоящий раздел разработан на основании следующих нормативных документов:

1. Схемы принципиальные электрические распределительных устройств подстанций 35-750 кВ. Типовые решения, СТО 56947007-29.240.30.010-2008, введены 20.12.07 ОАО «ФСК ЕЭС»;
2. Правила устройства электроустановок (ПУЭ), 7-ое издание;
3. РД 34.20.175 «Указания по ограничению токов короткого замыкания в сетях напряжением 35 кВ и выше». СПО ОРГРЭС, 1975;
4. СО 153-34.21.122-2003 (РД 34.21.122) «Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций», Минэнерго России, 2003;
5. Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ, утверждены Приказом ОАО «ФСК ЕЭС» от 13.04.2009 №136;
6. ГОСТ 9920-89 (МЭК 815-86, МЭК 694-80) «Электроустановки переменного тока на напряжении от 3 до 750 кВ. Длина пути утечки внешней изоляции», Госстандарт СССР, 1989;
7. СП52.13330.2011 «Естественное и искусственное освещение», Министерство регионального развития Российской Федерации;
8. СП 131.13330.2012 Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99*;
9. ГОСТ 12.1.030-81* «Электробезопасность. Защитное заземление, зануление», Госстандарт СССР, 1982, изм. 1, 1988;
10. РД 153-34.0-03.301-00 «Правила пожарной безопасности для энергетических предприятий»;
11. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации, утверждены Приказом МинЭнерго РФ от 19 июня 2003 №229;
12. Общие требования к системам противоаварийной и режимной автоматики, релейной защиты и автоматики, телеметрической информации, технологической связи в ЕЭС России, утверждены приказом ОАО РАО «ЕЭС России» от 11.02.2008 №57;
13. РД 34.09.101-94 «Типовая инструкция по учету электроэнергии и ее производстве, передаче и распределении», СПО ОРГРЭС, 1995 г.;
14. РД 45.158-2000 «Станции телефонные автоматические цифровые междугородные для применения на Взаимоуязвленной сети связи Российской Федерации». Общие технические требования;
15. СО 153-34.48.508. (РД 34.48.508) «Правила защиты установок проводной связи энергосистем от опасных напряжений и токов»;
16. РД 34.48.152 «Руководящие указания по проектированию электропитания средств диспетчерского и технологического управления в энергосистемах»;
17. Руководящие указания по выбору объемов информации, проектированию систем сбора и передачи информации в энергосистемах;
18. Федеральный закон от 22.07.2008г. №123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».
19. РТМ 36.18.32.4-92 – «Указания по расчету электрических нагрузок»
20. СО 34.04.181-2003 «Правила организации технического обслуживания и ремонта оборудования, зданий и сооружений электростанций и сетей», РАО «ЕЭС России», 2003;
21. Нормативы численности промышленно – производственного персонала электрических сетей, РАО «ЕЭС России», 2002;
22. «Правила по охране труда при работе на высоте», утв. приказом Минтруда России от 28.03.2014 г. № 155н, рег.№ 33990;

| | | | | | | | | | | |
|--------------|----------------|-------------|----------|------|------|---------|--------|------------------|--------|--|
| Взам. инв. № | Подпись и дата | | | | | | | Ю5-373-ИОС1.5.ТЧ | | |
| | | | | | | | | | | |
| Инв. № подл. | | Изм. | Кол.уч | Лист | №док | Подпись | Дата | Текстовая часть | | |
| | | Разработал | Сажин | | | | 04.26 | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | Н. контроль | Крендяев | | | | 04.26 | | | |
| | | ГИП | Ершов | | | | 04.26 | | | |
| | | | | | | | Стадия | Лист | Листов | |
| | | | | | | | П | 1 | 4 | |
| | | | | | | | | | | |

23. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации, утверждены Приказом МинЭнерго РФ от 19 июня 2003 №229;
24. «Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок» (ПОТЭЭ);
25. СанПиН 2.2.4.3359-16 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах», Минздрав России, 2016;
26. ГОСТ 12.1.002-84 «Электрические поля промышленной частоты», Госстандарт СССР. Переиздан в 2002 году;
27. СП 5.13130.2009 «Системы противопожарной защиты. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические»;
28. СП 118.13330.2012 «Общественные здания и сооружения»;
29. СО 153-34.20.187-2003 «Рекомендации по технологическому проектированию подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ», Минэнерго России, 2003;
30. РД 153-34.0-49.101-2003 «Инструкция по проектированию противопожарной защиты энергетических предприятий»;
31. Постановление Правительства РФ от 16 февраля 2008 г. № 87 «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию» с изменениями от 12.11.2016 г.
32. Федеральный закон от 30.12.2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений».
33. Общие технические требования к микропроцессорным устройствам защиты и автоматики энергосистем. РД 34.35.310-97;
34. СТО 56947007-29.240.044-2010 «Методические указания по обеспечению электромагнитной совместимости на объектах электросетевого хозяйства»
35. Методические указания по проектированию развития энергосистем, утвержденным Приказом Министерства энергетики Российской Федерации от 30.06.2003г. №281;
36. «Общие требования к системам противоаварийной и режимной автоматики, релейной защиты и автоматики, телеметрической информации, технологической связи в ЕЭС России», утвержденным Приказом ОАО РАО «ЕЭС России» №57 от 11.02.20.

1.1 Общие сведения об объекте проектирования

В административном отношении реконструируемый объект (ПС 110 кВ Луговая) находится в Российской Федерации, Иркутская область, г. Шелехов, ул. Култукский тракт, д. 30.

Целью данного проекта является повышение пропускной способности оборудования и ошиновки сети 110 кВ подстанции Луговая с увеличением номинальной мощности силовых трансформаторов с 2х25 МВА до 2х63 МВА и возможностью (после реконструкции) подключение новых потребителей в объеме 76 МВА.

Подключение реконструируемой ПС 110 кВ Луговая к сети 110 кВ, осуществляется через следующие ЛЭП:

- ВЛ 110 кВ Шелехово «А» – Луговая;
- ВЛ 110 кВ Шелехово «Б» – Луговая.

Источником электроснабжения в нормальном режиме работы является ПС 220 кВ Шелехово.

1.2 Собственные нужды

Согласно п.1.2.19 ПУЭ питание потребителей проектируемых шкафов собственных нужд (далее-СН) предусматривается от двух трансформаторов.

В соответствии с техническим заданием для питания собственных нужд на ПС существующие понижающие трансформаторы собственных нужд ТСН 10,5/0,4 кВ мощностью 63 кВА каждый (типа ТМ-63/10/0,4) подлежат замене на два трансформатора мощностью 250 кВА каждый. Замене подлежит также двухсекционный щит собственных нужд 0,4 кВ с установкой новых панелей.

Согласно заданию, на разработку проектной и рабочей документации (см. приложение А) для питания собственных нужд 0,4 кВ существующего и проектируемого оборудования ПС проектом предусматривается установка нового щита СН 0,4/0,23 кВ в существующем здании ОПУ.

Проектируемый ЩСН подключается к новым трансформаторам собственных нужд 10,5/0,4 кВ. Мощность новых ТСН составляет 2х250 кВА (ТСН-1, ТСН-2).

| | | | | | | |
|----------------|--------|------|------|---------|------|-----------|
| Взам. инв. № | | | | | | |
| | | | | | | |
| Подпись и дата | | | | | | |
| | | | | | | |
| Инв. № подл. | | | | | | |
| | | | | | | |
| Изм. | Кол.уч | Лист | №док | Подпись | Дата | Лист 2 |
| | | | | | | |

Ю5-373-ИОС1.5.ТЧ

План существующего здания ОПУ

Сплит-системы
кондиционирования

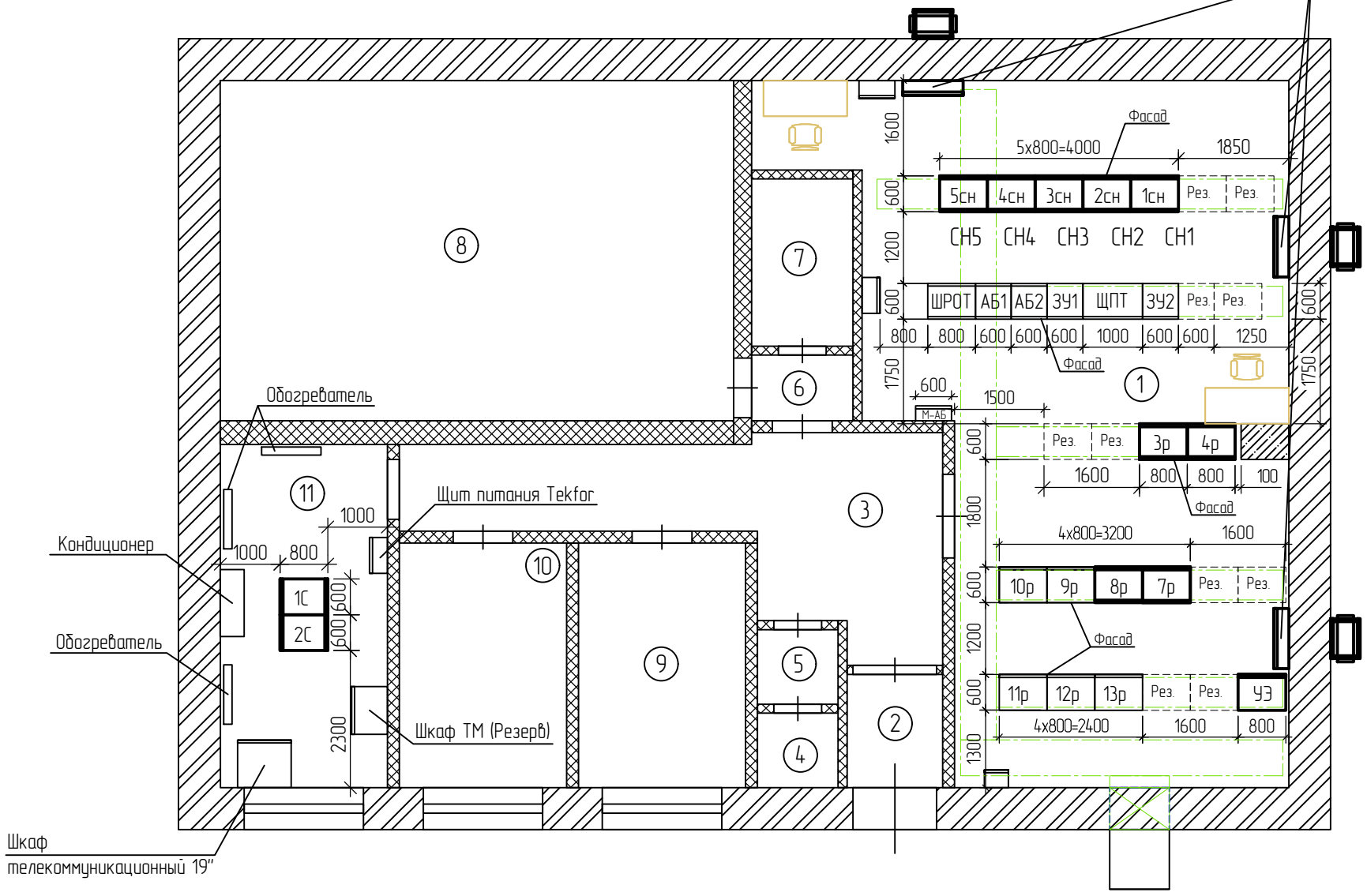


Таблица условных обозначений

| Обозначение | Наименование |
|-------------|---|
| | Проем в стене для выхода силовых и контрольных кабелей из здания ОПУ на открытую часть ПС |
| | Кабельные каналы для прокладки силовых и контрольных кабелей в существующем полу |

Экспликация помещений

| Номер по плану | Наименование | Площадь, м² | Кат. помещения | Температура, °С |
|----------------|--------------------|-------------|----------------|-----------------|
| 1 | Помещение ОПУ | 78,7 | B2 | +18...+25 |
| 2 | Тамбур | 3,0 | - | +5...+30 |
| 3 | Коридор | 18,9 | - | +5...+30 |
| 4 | Бытовое помещение | 1,2 | - | +18...+25 |
| 5 | Бытовое помещение | 1,4 | - | +18...+25 |
| 6 | Службное помещение | 2,4 | - | +18...+25 |
| 7 | Службное помещение | 4,7 | - | +18...+25 |
| 8 | Слесарная | 49,0 | - | +5...+30 |
| 9 | Бытовое помещение | 11,2 | - | +18...+25 |
| 10 | Бытовое помещение | 11,2 | - | +18...+25 |
| 11 | Комната связи | 16,0 | B4 | +18...+25 |






Перечень проектируемых панелей (2ПК)

| Номер по плану | Наименование | Примечание |
|----------------|---|-------------------------------|
| 3р | Шкаф организации цепей напряжения 110 кВ | Монтаж 2 ПК |
| 4р | Шкаф оперативной блокировки разъединителей | Монтаж 2 ПК |
| 7р | Шкаф основной защиты 2й комплект и АРН трансформатора Т-1 | Монтаж 2 ПК |
| 8р | Шкаф резервной защиты и АУВ 110 кВ, основной защиты первый комплект силового трансформатора Т-1 | Монтаж 2 ПК |
| 9р | Шкаф основной защиты 2й комплект и АРН трансформатора Т-2 | Смонтирован 1 ПК |
| 10р | Шкаф резервной защиты и АУВ 110 кВ, основной защиты 1й комплект трансформатора Т-2 | Смонтирован 1 ПК |
| 11р | Центральная сигнализация | Смонтирован 1 ПК |
| 12р | Панель управления трансформатором Т-2 | Смонтирован 1 ПК |
| 13р | Панель управления трансформатором Т-1 | Смонтирован 1 ПК |
| УЗ | Шкаф УСПД АИИСКУЗ | Монтаж 2 ПК |
| СН1 | Шкаф отходящих линий СН 0,4 кВ (1с 0,4 кВ) | Монтаж 2 ПК |
| СН2 | Шкаф отходящих линий СН 0,4 кВ (1с 0,4 кВ) | Монтаж 2 ПК |
| СН3 | Шкаф ввода и секционирования 0,4 кВ (ТСН-1, ТСН-2, СВ-0,4 кВ ЩСН (АВР)) | Монтаж 2 ПК |
| СН4 | Шкаф отходящих линий СН 0,4 кВ (2с 0,4 кВ) | Монтаж 2 ПК |
| СН5 | Шкаф отходящих линий СН 0,4 кВ (2с 0,4 кВ) | Монтаж 2 ПК |
| АБ1 | Шкаф аккумуляторных батарей №1 | Смонтирован 1 ПК |
| АБ2 | Шкаф аккумуляторных батарей №2 | Смонтирован 1 ПК |
| ЩПТ | Щит постоянного тока | Смонтирован 1 ПК |
| ЗУ1 | Шкаф выпрямительно-зарядного устройства №1 | Смонтирован 1 ПК |
| ЗУ2 | Шкаф выпрямительно-зарядного устройства №2 | Смонтирован 1 ПК.Перенос 2 ПК |
| ШРОТ | Шкаф распределения оперативного тока | Смонтирован 1 ПК |
| М-АБ | Шкаф мониторинга аккумуляторов | Смонтирован 1 ПК |
| 1С | Шкаф гарантированного питания | Монтаж 2 ПК |
| 2С | Шкаф ССПИ | Монтаж 2 ПК |

Примечания:

- Проектируемое оборудование реконструируемой части на данном пусковом комплексе выполнено сплошными утолщенными линиями, существующее – сплошными тонкими.
- Высота внутри помещения ОПУ в свету не менее 4000 мм.
- В помещении ОПУ предусмотрен существующий фальшпол.
- Размещение проектируемых шкафов и панелей предусматривается на свободные резервные места и взамен существующих демонтируемых панелей.
- В помещении ОПУ, для поддержания заданного температурного режима в летнее время, предусматривается установка сплит-системы кондиционирования. Оборудование системы кондиционирования на плане показано условно и их размещение уточняется при дальнейшем проектировании.

| | |
|----------------|--|
| Взам. инв. N | |
| Подпись и дата | |
| Инв. N подл. | |

| | | | | | | | | | |
|----------|--------|-----------|--------|---|-------|--|---|------|--------|
| | | | | | | Ю5-373-ИОС15.ГЧ | | | |
| | | | | | | "Реконструкция ПС 110 кВ Луговая с заменой трансформаторов Т-1, Т-2 мощностью 25 МВА на трансформаторы мощностью 63 МВА (прирост мощности 76 МВА)" | | | |
| Изм. | Колуч. | Лист | № док. | Подп. | Дата | Раздел 5. Подраздел 1. Система электроснабжения. Часть 1. Электротехнические решения | Стадия | Лист | Листов |
| Разраб. | | Жданова | |  | 04.26 | | П | 4 | |
| Проверил | | Сажин | |  | 04.26 | | | | |
| | | | | | | План расстановки проектируемого оборудования в существующем здании ОПУ. 2 пусковой комплекс |  ООО "Томскэлектросетьпроект" | | |
| Н.контр. | | Крендясев | |  | 04.26 | | | | |
| ГИП | | Ершов | |  | 04.26 | | | | |

Ю5-373-ИОС1.5.Р1

Техническая записка

**Расчет токов КЗ и выбор автоматических выключателей 0,4 кВ
в проектируемой сети собственных нужд.
Проверка проектируемых кабелей 0,4 кВ**

| Изм. | № док. | Подп. | Дата |
|------|--------|-------|------|
| | | | |
| | | | |

1. Общие данные

Расчет токов короткого замыкания (далее – КЗ) выполняется в соответствии с нормативной документацией:

- ГОСТ 28249-93 «Межгосударственный стандарт короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ»;
- СО 34.20.808 «Методические указания по расчету токов короткого замыкания в сети напряжением до 1 кВ электростанций и подстанций с учетом влияния электрической дуги»;
- РД 153-34.0-20.527-98 – «Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования».

Наиболее вероятным и частым видом КЗ в сети до 1 кВ является дуговое КЗ. Наиболее благоприятными условиями для возникновения дуговых КЗ являются условия замкнутых пространств распределительных коробок электродвигателей, щитков, закрытых сборок. Дуговые КЗ сопровождаются значительным выделением энергии. Ток дугового КЗ всегда меньше тока металлического КЗ в этой же точке сети. Исходя из этого, расчет токов металлического КЗ производится в целях проверки электродинамической и термической стойкости установленного в сети электрооборудования, а также для определения достаточности отключающей способности защитных аппаратов. Определение уставок срабатывания защит и защитных аппаратов следует производить по значению тока дугового КЗ в конце защищаемого участка сети.

2. Расчет параметров схемы замещения при КЗ на шинах щита СН 0,4 кВ

На рисунке 1 приведена расчетная схема замещения прямой последовательности для расчетов токов КЗ проектируемой сети.

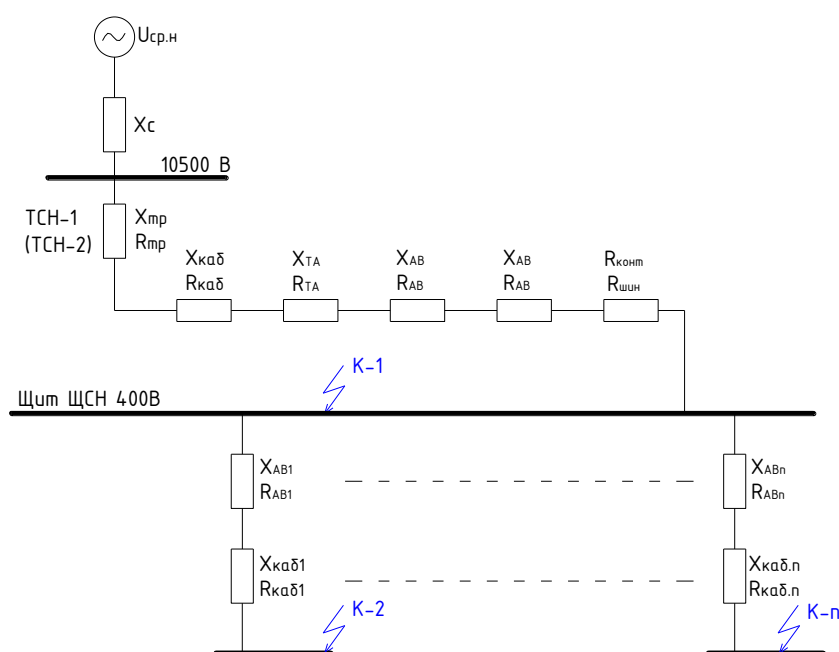


Рисунок 1 - Схема замещения прямой последовательности при КЗ

Определим параметры схемы замещения.

$$X_c = \frac{U_{ср.нн}^2}{\sqrt{3} \cdot I_{кзВН} U_{ср.вн}} = 0,819 \text{ МОм},$$

где X_c - эквивалентное индуктивное сопротивление системы, приведенное к ступени низшего напряжения сети;

$U_{ср.нн}^2$ – среднее номинальное напряжение сети, подключенной к обмотке НН трансформатора;
 $U_{ср.вн}$ – среднее номинальное напряжение сети, подключенной к обмотке ВН трансформатора;

$I_{кзВН}$ – ориентировочный ток КЗ на стороне ВН или ток номинальный ток отключения выключателя ВН.

$$R_{mp} = \frac{P_{кз} U_{нн.ном}^2}{S_{т.ном}^2} \cdot 10^6 = 9,48 \text{ мОм},$$

где R_{mp} - активное сопротивление прямой последовательности понижающего трансформатора;

$P_{кз} = 3,7 \text{ кВт}$ - ориентировочные потери короткого замыкания в трансформаторе (250 кВА);

$U_{нн.ном} = 0,4 \text{ кВ}$ - номинальное линейное напряжение обмотки низшего напряжения трансформатора;

$S_{т.ном} = 250 \text{ кВА}$, - номинальная мощность трансформатора.

$$X_{mp1} = \sqrt{U_{кз}^2 - \left(\frac{100 P_{кз}^2}{S_{т.ном}} \cdot \frac{U_{нн.ном}}{S_{т.ном}} \right)} = 27,2 \text{ мОм},$$

где X_{mp} - индуктивное сопротивление прямой последовательности понижающего трансформатора;

$U_{кз} = 4,5\%$ - напряжение короткого замыкания трансформатора;

$U_{нн.ном} = 0,4 \text{ кВ}$ - номинальное линейное напряжение обмотки низшего напряжения трансформатора;

Активное и индуктивное сопротивление прямой последовательности кабельной линии от ТСН до проектируемого щита 0,4 кВ

Кабель ВВГнг(A)-LS-XЛ-4х240 длиной 75м:

$$R_{каб} = r_{1уд} \cdot l = 7,13 \text{ мОм},$$

где $r_{1уд}$ - удельное активное сопротивление прямой последовательности кабеля.

$$X_{каб} = x_{1уд} \cdot l = 4,35 \text{ мОм},$$

где $x_{1уд}$ - удельное индуктивное сопротивление прямой последовательности кабеля.

Активное и индуктивное сопротивление нулевой последовательности кабельной линии:

$$R_{0каб} = r_{0уд} \cdot l = 101,25 \text{ мОм},$$

где $r_{0уд}$ - удельное активное сопротивление нулевой последовательности кабеля.

$$X_{0каб} = x_{0уд} \cdot l = 28,5 \text{ мОм},$$

где $x_{0уд}$ - удельное индуктивное сопротивление нулевой последовательности кабеля.

Суммарные сопротивления в точке замыкания на секциях 0,4 кВ проектируемого щита ЩСН (точка К-1)

Сопротивления прямой последовательности:

$$r_{1\Sigma} = R_{mp} + R_{каб.} + R_{ТА} + R_{кат.АВ} + R_{конт.} + R_{шин} = 24,99 \text{ мОм},$$

где $R_{ТА} = 0,05 \text{ мОм}$ - активное сопротивление прямой последовательности первичных обмоток трансформаторов тока ($\kappa_{ТТ} = 400/5$);

$R_{кат.АВ} = 0,4 \text{ мОм}$ - активное сопротивление прямой последовательности автоматического выключателя 400 А;

$R_{конт.} = 0,012 \text{ мОм}$ - суммарное активное сопротивление прямой последовательности различных контактных соединений;

$R_{ии} = 0,375 \text{ мОм}$ - активное сопротивление прямой последовательности шин щита.

$$x_{1\Sigma} = X_c + X_{mp} + X_{каб} + X_{ТА} + X_{кат.АВ} + X_{ии} = 37,44 \text{ мОм},$$

где $X_{ТА} = 0,04 \text{ мОм}$ - индуктивное сопротивление прямой последовательности первичных обмоток трансформаторов тока ($\kappa_{ТТ} = 400/5$);

$X_{кат.АВ} = 0,12 \text{ мОм}$ - индуктивное сопротивление прямой последовательности автоматического выключателя 400 А;

$X_{ш} = 0,435 \text{ мОм}$ - индуктивное сопротивление прямой последовательности шин.

Сопротивления нулевой последовательности:

$$r_{0\Sigma} = R_{0mp} + R_{0каб} + R_{0ТА} + R_{0кат.АВ} + R_{0конт.} + R_{0ш} = 214 \text{ мОм},$$

где $R_{0mp} = 9,48 \text{ мОм}$ - активное сопротивление нулевой последовательности трансформатора;

$R_{0ТА} = 0,05 \text{ мОм}$ - активное сопротивление нулевой последовательности первичных обмоток трансформаторов тока ($\kappa_{ТТ} = 400/5$);

$R_{0кат.АВ} = 0,4 \text{ мОм}$ - активное сопротивление нулевой последовательности автоматического выключателя 400 А;

$R_{0конт} = 0,012 \text{ мОм}$ - суммарное активное сопротивление нулевой последовательности различных контактных соединений;

$R_{0ш} = 0,9375 \text{ мОм}$ - активное сопротивление нулевой последовательности шин.

$$x_{0\Sigma} = X_{0mp} + X_{0каб} + X_{0ТА} + X_{0кат.АВ} + X_{0ш} = 85 \text{ мОм},$$

где $X_{0mp} = 27,2 \text{ мОм}$ - индуктивное сопротивление нулевой последовательности трансформатора;

$X_{0ТА} = 0,04 \text{ мОм}$ - индуктивное сопротивление первичных обмоток трансформаторов тока ($\kappa_{ТТ} = 400/5$);

$X_{0кат.АВ} = 0,012 \text{ мОм}$ - индуктивное сопротивление нулевой последовательности автоматического выключателя 400 А;

$X_{0ш} = 0,327 \text{ мОм}$ - индуктивное сопротивление нулевой последовательности шин.

3. Расчет токов КЗ на шинах ЩСН 0,4 кВ

Расчет начального действующего значения периодической составляющей трехфазного тока КЗ (при $t = 0$):

$$I_{n0}^{(3)} = \frac{U_{ср.ном}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{r_{1\Sigma}^2 + x_{1\Sigma}^2}} = 6,19 \text{ кА};$$

где $U_{ср.ном} = 400 \text{ В}$ - среднее номинальное напряжение сети.

Расчет начального действующего значения периодической составляющей однофазного тока КЗ (при $t = 0$):

$$I_{n0}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{ср.ном}}{\sqrt{(2 \cdot r_{1\Sigma} + r_{0\Sigma})^2 + (2 \cdot x_{1\Sigma} + x_{0\Sigma})^2}} = 3,62 \text{ кА};$$

Наиболее вероятная величина действующего значения периодической составляющей тока трехфазного дугового замыкания определяется по формуле:

$$I_{дуг}^{(3)} = I_{n0}^{(3)} \cdot K_C,$$

где $I_{n0}^{(3)}$ - начальное действующее значение периодической составляющей тока КЗ (при $t = 0$);

K_C - снижающий коэффициент.

Расчет минимального значения тока однофазного и трехфазного КЗ:

Полное сопротивление в точке трехфазного КЗ составит:

$$Z_{\kappa 3}^{(3)} = \sqrt{r_{1\Sigma}^2 + x_{1\Sigma}^2} = 37,31 \text{ мОм}.$$

Определим значение снижающего коэффициента K_C для начального момента дугового КЗ (при $t_{\kappa 3} < 0,05 \text{ с}$):

$$K_{\text{сн}} = 0,77$$

Определим значение $K_{\text{сy}}$ для установившегося тока дугового КЗ (при $t_{\kappa 3} > 0,05 \text{ с}$):

$$K_{\text{сy}} = 0,55 - 0,002 \cdot Z_{\kappa 3}^{(3)} + 0,1 \cdot \sqrt{Z_{\kappa 3}^{(3)}} - 0,12 \cdot \sqrt[3]{Z_{\kappa 3}^{(3)}} = 0,69$$

Определим наиболее вероятное значение тока трехфазного дугового замыкания. Для начального момента дугового КЗ:

$$I_{n0\min}^{(3)} = I_{n0}^{(3)} \cdot K_{\text{сн}} = 4,77 \text{ кА}.$$

Полное сопротивление в точке однофазного КЗ составит:

$$Z_{\kappa 3}^{(1)} = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{(2 \cdot r_{1\Sigma}^2 + r_{0\Sigma}^2) + (2 \cdot x_{1\Sigma}^2 + x_{0\Sigma}^2)}$$

$$Z_{\kappa 3}^{(1)} = 45,36 \text{ мОм}.$$

Значение снижающего коэффициента $K_{\text{сн}}$ для начального момента дугового КЗ (при $t_{\kappa 3} < 0,05 \text{ с}$):

$$K_{\text{сн}} = 0,79.$$

Значение $K_{\text{сy}}$ для установившегося тока дугового КЗ (при $t_{\kappa 3} > 0,05 \text{ с}$):

$$K_{\text{сy}} = 0,7.$$

Определим наиболее вероятное значение тока однофазного дугового замыкания. Для начального момента дугового КЗ:

$$I_{n0\min}^{(1)} = I_{n0}^{(1)} \cdot K_{\text{сн}} = 2,86 \text{ кА}.$$

Расчет ударного тока трехфазного КЗ:

Синхронная угловая частота вращения вектора напряжения сети составляет:

$$\omega_c = 2 \cdot \pi \cdot f = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 314,159 \text{ рад/с},$$

где $f = 50$ - частота напряжения сети, Гц.

Выполним расчет постоянной времени затухания аperiodической составляющей тока КЗ:

$$T_a = \frac{x_{1\Sigma}}{\omega_c \cdot r_{1\Sigma}} = 0,00601375 \text{ с};$$

Угол сдвига между напряжением или ЭДС источника и периодической составляющей тока КЗ:

$$\varphi_\kappa = \arctg \frac{x_{1\Sigma}}{r_{1\Sigma}} = 1,0838 \text{ рад};$$

Время от начала КЗ до появления ударного тока:

$$t_{\text{yд.}} = 0,01 \cdot \frac{\frac{\pi}{2} + \varphi_\kappa}{\pi} = 0,0085 \text{ с}.$$

Ударный ток КЗ:

$$i_{\text{yд}} = \sqrt{2} \cdot K_{\text{yд}} \cdot I_{n0} = 10,64 \text{ кА},$$

где ударный коэффициент составляет:

$$K_{\text{yд}} = 1 + e^{-\frac{t_{\text{yд.}}}{T_a}} = 1,215.$$

4. Расчет токов КЗ в конце отходящих линий ЩСН 0,4 кВ.

Для расчета токов КЗ в конце отходящих линий (точки К-2....К-п) к суммарным сопротивлениям $r_{1\Sigma}$, $x_{1\Sigma}$, $r_{0\Sigma}$, $x_{0\Sigma}$ прибавляется соответственно сопротивление прямой и нулевой последовательностей автоматических выключателей R_{AB2} , R_{0AB2} , и т.д., а также сопротивление прямой и нулевой последовательностей кабелей $R_{1каб2}$, $X_{1каб2}$, $R_{0каб2}$, $X_{0каб2}$ участков в конце которых рассчитывается ток КЗ.

Расчет токов КЗ в конце линии 103Н-01:

Сопротивления прямой последовательности в конце линии:

$$r_{1\Sigma2} = r_{1\Sigma} + R_{AB2} + R_{1каб.2} = 199,48 \text{ мОм};$$

$$x_{1\Sigma2} = x_{1\Sigma} + X_{AB2} + X_{1каб.2} = 42,37 \text{ мОм};$$

Сопротивления нулевой последовательности в конце линии:

$$r_{0\Sigma2} = r_{0\Sigma} + R_{0AB2} + R_{0каб.2} = 393 \text{ мОм};$$

$$x_{0\Sigma2} = x_{0\Sigma} + X_{0AB2} + X_{0каб.2} = 135 \text{ мОм};$$

Расчет начального действующего значения периодической составляющей трехфазного тока КЗ (при $t = 0$):

$$I_{n0}^{(3)} = \frac{U_{\text{ср.ном}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{r_{1\Sigma2}^2 + x_{1\Sigma2}^2}} = 1,132 \text{ кА};$$

Расчет начального действующего значения периодической составляющей однофазного тока КЗ (при $t = 0$):

$$I_{n0}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ср.ном}}}{\sqrt{(2 \cdot r_{1\Sigma2} + r_{0\Sigma2})^2 + (2 \cdot x_{1\Sigma2} + x_{0\Sigma2})^2}} = 0,843 \text{ кА};$$

Расчет минимального значения тока однофазного КЗ:

Полное сопротивление в точке однофазного КЗ составит:

$$Z_{\text{кз}}^{(1)} = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{(2 \cdot r_{1\Sigma2}^2 + r_{0\Sigma2}^2) + (2 \cdot x_{1\Sigma2}^2 + x_{0\Sigma2}^2)}$$

$$Z_{\text{кз}}^{(1)} = 274 \text{ мОм}.$$

Значение снижающего коэффициента $K_{\text{сн}}$ для начального момента дугового КЗ (при $t_{\text{кз}} < 0,05 \text{ с}$):
 $K_{\text{сн}} = 0,88$.

Определим наиболее вероятное значение тока однофазного дугового замыкания. Для начального момента дугового КЗ:

$$I_{n0\text{min}}^{(1)} = I_{n0}^{(1)} \cdot K_{\text{сн}} = 0,801 \text{ кА}.$$

Расчет ударного тока трехфазного КЗ:

Выполним расчет постоянной времени затухания аperiodической составляющей тока КЗ:

$$T_a = \frac{x_{1\Sigma2}}{\omega_c \cdot r_{1\Sigma2}} = 0,00068 \text{ с};$$

Угол сдвига между напряжением или ЭДС источника и периодической составляющей тока КЗ:

$$\varphi_{\text{к}} = \arctg \frac{x_{1\Sigma2}}{r_{1\Sigma2}} = 0,209 \text{ рад};$$

Время от начала КЗ до появления ударного тока:

$$t_{\text{уд.}} = 0,01 \cdot \frac{\frac{\pi}{2} + \varphi_{\text{к}}}{\pi} = 0,0057 \text{ с}.$$

Ударный ток КЗ:

$$i_{y0} = \sqrt{2} \cdot K_{y0} \cdot I_{n0} = 1,6 \text{ кА},$$

где ударный коэффициент составляет: $K_{y0} = 1 + e^{\frac{t_{y0}}{T_a}} = 1$.

Результаты расчёта по всем линиям ЩСН сведём в таблицы 1-2.

Таблица 1. Расчет суммарных сопротивлений в точках КЗ

| Маркировка линии (Место КЗ) | l, м | F, мм ² | I _{н.ав} , А | R _{каб.2} , МОм | X _{каб.2} , МОм | R _{0каб.2} , МОм | X _{0каб.2} , МОм | R _{Σ1} , МОм | X _{Σ1} , МОм | R _{0Σ} , МОм | X _{0Σ} , МОм |
|-----------------------------------|------|-----------------------|--------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 2,3 секция | | | | | | | | | | | |
| 101Н-01 | 60 | 5х16 | 50 | 84,72 | 5,4 | 158,88 | 49,86 | 103,48 | 40,25 | 272 | 108 |
| 102Н-01 | 60 | 5х16 | 63 | 84,72 | 5,4 | 158,88 | 49,86 | 103,18 | 39,76 | 272 | 107 |
| 103Н-01 | 80 | 5х10 | 50 | 180,72 | 7,52 | 279,60 | 77,28 | 199,48 | 42,37 | 393 | 135 |
| 105Н-01 | 20 | 5х10 | 40 | 45,18 | 1,88 | 69,90 | 19,32 | 64,44 | 37,35 | 184 | 78 |
| 106Н-01 | 70 | 5х4 | 25 | 395,71 | 7,28 | 481,81 | 79,1 | 415,37 | 45,37 | 596 | 140 |
| 107Н-01 | 70 | 5х4 | 25 | 395,71 | 7,28 | 481,81 | 79,1 | 415,37 | 45,37 | 596 | 140 |
| 110Н-01 | 30 | 5х2,5 | 16 | 279,45 | 3,63 | 227,67 | 34,5 | 299,91 | 46,37 | 343 | 100 |
| 112Н-01 | 30 | 5х70 | 160 | 9,69 | 2,13 | 46,77 | 11,79 | 27,80 | 35,46 | 160 | 68 |
| 114Н-01 | 20 | 3х4 | 16 | 113,06 | 1,84 | 137,66 | 46,2 | 133,52 | 44,58 | 253 | 112 |
| 115Н-01 | 70 | 3х2,5 | 16 | 652,05 | 7,63 | 531,23 | 163,1 | 672,51 | 50,37 | 646 | 229 |
| 3,4 секция | | | | | | | | | | | |
| 201Н-01 | 60 | 5х6 | 40 | 226,26 | 6,06 | 300,36 | 63 | 245,52 | 41,53 | 414 | 122 |
| 202Н-01 | 60 | 5х16 | 63 | 84,72 | 5,4 | 158,88 | 49,86 | 103,18 | 39,76 | 272 | 107 |
| 203Н-01 | 80 | 5х10 | 50 | 180,72 | 7,52 | 279,60 | 77,28 | 199,48 | 42,37 | 393 | 135 |
| 205Н-01 | 20 | 5х6 | 40 | 75,42 | 2,02 | 100,12 | 21 | 94,68 | 37,49 | 214 | 80 |
| 206Н-01 | 70 | 5х4 | 25 | 395,71 | 7,28 | 481,81 | 79,1 | 415,37 | 45,37 | 596 | 140 |
| 207Н-01 | 70 | 5х4 | 25 | 395,71 | 7,28 | 481,81 | 79,1 | 415,37 | 45,37 | 596 | 140 |
| 208Н-01 | 37 | 5х16 | 63 | 52,24 | 3,33 | 97,98 | 30,747 | 70,70 | 37,69 | 211 | 88 |
| 209Н-01 | 12 | 5х16 | 63 | 16,94 | 1,08 | 31,78 | 9,972 | 35,40 | 35,44 | 145 | 68 |
| 210Н-01 | 30 | 5х2,5 | 25 | 279,45 | 3,63 | 227,67 | 34,5 | 299,11 | 41,72 | 342 | 96 |
| 211Н-01 | 30 | 5х2,5 | 25 | 279,45 | 3,63 | 227,67 | 34,5 | 299,11 | 41,72 | 342 | 96 |
| 212Н-01 | 50 | 3х2,5 | 25 | 465,75 | 5,45 | 379,45 | 116,5 | 485,41 | 43,54 | 494 | 178 |
| 214Н-01 | 70 | 3х2,5 | 16 | 652,05 | 7,63 | 531,23 | 163,1 | 1070,42 | 62,77 | 1130 | 313 |
| 215Н-01 | 70 | 5х2,5 | 16 | 652,05 | 8,47 | 531,23 | 80,5 | 1070,42 | 63,61 | 1130 | 231 |

Таблица 2. Расчет токов КЗ в конце отходящих линий

| Маркировка линии (Место КЗ) | I _{по⁽¹⁾} , кА | I _{дуг.нач⁽¹⁾} , кА | K _с нач | I _{по⁽³⁾} , кА | T _a | φ _к , рад. | t _{уд} , с. | K _{уд} | i _{уд} , кА |
|--------------------------------|------------------------------------|--|--------------------|------------------------------------|----------------|-----------------------|----------------------|-----------------|----------------------|
| 2,3 секция | | | | | | | | | |
| 101Н-01 | 1,345 | 1,264 | 0,85 | 2,08 | 0,00124 | 0,371 | 0,0062 | 1,002 | 2,95 |
| 102Н-01 | 1,349 | 1,268 | 0,85 | 2,089 | 0,00123 | 0,368 | 0,0062 | 1,002 | 2,96 |
| 103Н-01 | 0,843 | 0,801 | 0,88 | 1,132 | 0,00068 | 0,209 | 0,0057 | 1 | 1,6 |
| 105Н-01 | 1,991 | 1,792 | 0,81 | 3,101 | 0,00185 | 0,525 | 0,0067 | 1,013 | 4,44 |
| 106Н-01 | 0,479 | 0,417 | 0,84 | 0,553 | 0,00035 | 0,109 | 0,0053 | 1 | 0,78 |
| 107Н-01 | 0,479 | 0,417 | 0,84 | 0,553 | 0,00035 | 0,109 | 0,0053 | 1 | 0,78 |
| 110Н-01 | 0,72 | 0,677 | 0,88 | 0,761 | 0,00049 | 0,153 | 0,0055 | 1 | 1,08 |
| 112Н-01 | 2,703 | 2,352 | 0,77 | 5,125 | 0,00406 | 0,906 | 0,0079 | 1,112 | 8,06 |
| 114Н-01 | 1,243 | 1,168 | 0,86 | - | 0,00106 | 0,322 | 0,006 | 1,001 | 1,76 |

| | | | | | | | | | |
|------------|--------------|--------------|------|--------------|---------|-------|--------|-------|-------------|
| 115Н-01 | 0,343 | 0,247 | 0,75 | - | 0,00024 | 0,075 | 0,0052 | 1 | 0,49 |
| 3,4 секция | | | | | | | | | |
| 201Н-01 | 0,746 | 0,709 | 0,88 | 0,927 | 0,00054 | 0,168 | 0,0055 | 1 | 1,31 |
| 202Н-01 | 1,349 | 1,268 | 0,85 | 2,089 | 0,00123 | 0,368 | 0,0062 | 1,002 | 2,96 |
| 203Н-01 | 0,843 | 0,801 | 0,88 | 1,132 | 0,00068 | 0,209 | 0,0057 | 1 | 1,6 |
| 205Н-01 | 1,604 | 1,476 | 0,83 | 2,268 | 0,00126 | 0,377 | 0,0062 | 1,003 | 3,22 |
| 206Н-01 | 0,479 | 0,417 | 0,84 | 0,553 | 0,00035 | 0,109 | 0,0053 | 1 | 0,78 |
| 207Н-01 | 0,479 | 0,417 | 0,84 | 0,553 | 0,00035 | 0,109 | 0,0053 | 1 | 0,78 |
| 208Н-01 | 1,782 | 1,622 | 0,82 | 2,882 | 0,0017 | 0,49 | 0,0066 | 1,01 | 4,12 |
| 209Н-01 | 2,703 | 2,352 | 0,77 | 4,61 | 0,00319 | 0,786 | 0,0075 | 1,067 | 6,96 |
| 210Н-01 | 0,724 | 0,681 | 0,88 | 0,765 | 0,00044 | 0,139 | 0,0054 | 1 | 1,08 |
| 211Н-01 | 0,724 | 0,681 | 0,88 | 0,765 | 0,00044 | 0,139 | 0,0054 | 1 | 1,08 |
| 212Н-01 | 0,465 | 0,4 | 0,84 | - | 0,00029 | 0,089 | 0,0053 | 1 | 0,66 |
| 214Н-01 | 0,21 | 0,16 | 0,53 | - | 0,00019 | 0,059 | 0,0052 | 1,001 | 0,3 |
| 215Н-01 | 0,211 | 0,161 | 0,53 | 0,216 | 0,00019 | 0,06 | 0,0052 | 1,001 | 0,31 |

5. Проверка проектируемых кабелей до 1кВ на невозгорание.

Расчёт кабелей по условию невозгорания производится в соответствии с Циркуляром № Ц-02-98(Э) и СРМ-2000 ч.2.

Расчёты

Предельная температура токопроводящих жил применяемых кабелей ВВГнг(А)-LS по условию невозгорания кабеля при коротком замыкании равна 250°C.

В расчёте принимается предельно допустимая температуре 160°C для условия дальнейшего использования кабелей после КЗ без испытаний.

Выполним проверку кабеля на невозгорание на отметке длины 5 м при дуговом установившемся ($t > 0.05c$) КЗ. При этом учитывается увеличение активного сопротивления кабеля вследствие его нагрева током КЗ.

Значение активного сопротивления кабеля при нагреве его током КЗ (R_θ) определяется по формуле

$$R_\theta = C_\theta \cdot R;$$

где C_θ - коэффициент, учитывающий увеличение активного сопротивления кабеля.

$$C_\theta = \frac{\tau_p + Q_k}{\tau_p + Q_{нач}};$$

где τ_p - условная температура, равная для меди 234°C, для алюминия 236°C

Расчет дуговых токов КЗ с учётом увеличения активного сопротивления кабелей для проверки на невозгорание произведен в расчетной модели, результаты приведены в таблице 3.

Определение начальной температуры жил кабеля (до короткого замыкания).

За начальную температуру принимают максимально возможную температуру предшествующего

режима: $Q_{нач} = Q_0 + \left(\frac{I_p}{I_{дл.д}} \right)^2 \cdot (Q_m - Q_{окр}),$

где Q_0 - фактическая температура окружающей среды во время короткого замыкания, °C (принимается +30°C);

Q_m - расчетная длительно допустимая температура жилы, °C (в зависимости от типа изоляции кабеля);

$Q_{окр}$ - расчетная температура окружающей среды, °C (для земли 15°C, для воздуха 25°C);

$I_{дл.д}^2$ - длительно допустимый ток для кабелей, А.

Температура жил в конце короткого замыкания определяется по формуле

$$Q_K = Q_{нач} \cdot e^K + a \cdot (e^K - 1)$$

где a – величина, обратная температурному коэффициенту электрического сопротивления при 0 °С, равная 228 °С.

Значение коэффициента K определяется по формуле

$$K = b \cdot I_{кз}^2 \cdot \frac{t_0}{F^2},$$

где b – постоянная, характеризующая теплофизические характеристики материала (для медных жил – 19,58 м⁴/кА²·с, для алюминиевых – 45,65 м⁴/кА²·с);

t_0 – время протекания тока короткого замыкания, с.

$$t_0 = t_{\epsilon} + t_a,$$

где t_{ϵ} – время отключения резервного автоматического выключателя по его характеристике;

t_a – эквивалентная постоянная времени затухания аperiodической составляющей тока короткого замыкания;

F – сечение кабеля, мм².

Таблица 3. Проверка проектируемых кабелей, на невозгорание.

| Линия | Сечение | I _{раб} , А | I _{дл.доп} , А | C _з | I _{кз.мах} , кА, при L=5м | I _{кз.дуг} , кА, при L=5м | Qн, °С | K | t ₀ , с | Qкон, °С |
|---------|---------|----------------------|-------------------------|----------------|------------------------------------|------------------------------------|--------|-------|--------------------|----------|
| 101Н-01 | 5х16 | 8,58 | 79 | 1,03 | 2,08 | 1,66 | 30,6 | 0,022 | 0,10124 | 36,4 |
| 102Н-01 | 5х16 | 20,36 | 79 | 1,03 | 2,089 | 1,67 | 33 | 0,022 | 0,10123 | 38,9 |
| 103Н-01 | 5х10 | 15,19 | 59 | 1,02 | 1,132 | 0,97 | 33 | 0,019 | 0,10068 | 38,1 |
| 105Н-01 | 5х10 | 6,08 | 59 | 1,12 | 3,101 | 2,36 | 30,5 | 0,111 | 0,10185 | 60,9 |
| 106Н-01 | 5х4 | 5,35 | 34 | 1,03 | 0,553 | 0,48 | 31,2 | 0,028 | 0,10035 | 38,6 |
| 107Н-01 | 5х4 | 1,52 | 34 | 1,03 | 0,553 | 0,48 | 30,1 | 0,028 | 0,10035 | 37,5 |
| 110Н-01 | 5х2,5 | 2,27 | 26 | 1,15 | 0,761 | 0,67 | 30,4 | 0,142 | 0,10049 | 69,9 |
| 112Н-01 | 5х70 | 125 | 197 | 1,01 | 5,125 | 3,59 | 48,2 | 0,006 | 0,10406 | 49,9 |
| 114Н-01 | 3х4 | 2,27 | 37 | 1,15 | 1,243 | 1,07 | 30,2 | 0,142 | 0,10106 | 69,6 |
| 115Н-01 | 3х2,5 | 6,82 | 28 | 1,03 | 0,343 | 0,26 | 32,7 | 0,021 | 0,10024 | 38,3 |
| 201Н-01 | 5х6 | 8,58 | 43 | 1,04 | 0,927 | 0,82 | 31,8 | 0,037 | 0,10054 | 41,6 |
| 202Н-01 | 5х16 | 20,36 | 79 | 1,03 | 2,089 | 1,67 | 33 | 0,022 | 0,10123 | 38,9 |
| 203Н-01 | 5х10 | 15,19 | 59 | 1,02 | 1,132 | 0,97 | 33 | 0,019 | 0,10068 | 38,1 |
| 205Н-01 | 5х6 | 6,08 | 43 | 1,2 | 2,268 | 1,81 | 30,9 | 0,182 | 0,10126 | 82,6 |
| 206Н-01 | 5х4 | 5,35 | 34 | 1,03 | 0,553 | 0,48 | 31,2 | 0,028 | 0,10035 | 38,6 |
| 207Н-01 | 5х4 | 1,52 | 34 | 1,03 | 0,553 | 0,48 | 30,1 | 0,028 | 0,10035 | 37,5 |
| 208Н-01 | 5х16 | 30,39 | 79 | 1,04 | 2,882 | 2,22 | 36,7 | 0,039 | 0,1017 | 47,3 |
| 209Н-01 | 5х16 | 30,39 | 79 | 1,09 | 4,61 | 3,32 | 36,7 | 0,087 | 0,10319 | 60,8 |
| 210Н-01 | 5х2,5 | 3,04 | 26 | 1,16 | 0,765 | 0,67 | 30,7 | 0,143 | 0,10044 | 70,5 |
| 211Н-01 | 5х2,5 | 3,04 | 26 | 1,16 | 0,765 | 0,67 | 30,7 | 0,143 | 0,10044 | 70,5 |
| 212Н-01 | 3х2,5 | 7,6 | 28 | 1,05 | 0,465 | 0,39 | 33,4 | 0,048 | 0,10029 | 46,3 |
| 214Н-01 | 3х2,5 | 9,09 | 28 | 1,01 | 0,21 | 0,10 | 34,8 | 0,003 | 0,10019 | 35,6 |
| 215Н-01 | 5х2,5 | 3,04 | 26 | 1,01 | 0,216 | 0,10 | 30,7 | 0,004 | 0,10019 | 31,8 |

Все кабели прошли проверку на невозгорание при отключении тока КЗ резервной защитой.

6. Проверка кабелей на термическую стойкость к токам КЗ.

Проверка кабелей проводится по следующей формуле определения минимального сечения проводника по условию термической стойкости (по ГОСТ Р 52736-2007):

$$S_{\min} = I_{\kappa} \cdot \frac{\sqrt{t_{o.s} + T_a}}{C_{тер}},$$

где I_k - максимальный ток КЗ в начале линии, А;

$t_{o.в}$ - время отключения основной защиты выключателя, с;

T_a - постоянная времени затухания апериодической составляющей тока КЗ, с;

$C_{тер}$ - термический коэффициент, учитывающий характеристики проводника (для медных кабелей – 120 А·с^{1/2}/мм²).

Произведем расчет по току максимального трехфазного КЗ на шинах ЩСН 0,4 кВ:

$$S_{min.3} = 4,77 \cdot \frac{\sqrt{0,015 + 0,006}}{120} = 5,76 \text{ мм}^2;$$

По току максимального однофазного КЗ на шинах ЩСН 0,4 кВ:

$$S_{min.1} = 2,86 \cdot \frac{\sqrt{0,015 + 0,006}}{120} = 4,4 \text{ мм}^2;$$

Сечение всех проектируемых кабелей удовлетворяет требованиям по термическому действию токов КЗ.

7. Выбор уставок расцепителей автоматических выключателей по чувствительности к току КЗ.

В соответствии с требованиями по обоснованному выбору токов уставок расцепителей автоматических выключателей произведена проверка выбранных токов расцепителей.

Результаты проверки автоматических выключателей по номинальному току и коэффициенту чувствительности сведены в таблицу 4.

В соответствии с п. 3.2.21 ПУЭ:

При оценке чувствительности основных защит необходимо исходить из того, что должны обеспечиваться следующие наименьшие коэффициенты их чувствительности: ступенчатые защиты тока или тока и напряжения, направленные и ненаправленные, включенные на полные токи и напряжения или на составляющие нулевой последовательности:

– для органов тока и напряжения ступени защиты, предназначенной для действия при КЗ в конце защищаемого участка, без учета резервного действия - около 1,5, а при наличии надежно действующей селективной резервной ступени - около 1,3; при наличии на противоположном конце линии отдельной защиты шин соответствующие коэффициенты чувствительности (около 1,5 и около 1,3) для ступени защиты нулевой последовательности допускается обеспечивать в режиме каскадного отключения.

$K_{ч}$ принимается 1,3, т.к. все автоматические выключатели резервируются вышестоящим.

Проверка автоматических выключателей в шкафах ШПО не выполняется, т.к. номинальные токи автоматов выбраны по таблицам энергетической селективности. Устанавливаемые выключатели при возникновении больших токов КЗ ($>10 \dots 15 \times I_n$) имеют чрезвычайно высокое быстродействие (время срабатывания порядка нескольких миллисекунд) и размыкаются при наличии значительной апериодической составляющей. Поэтому для анализа данного вида селективности невозможно использовать времятоковые кривые срабатывания автоматических выключателей, полученные с учетом действующих значений периодических составляющих. Эти явления, в основном, динамические (из-за пропорциональности квадрату значения мгновенного тока) и существенно зависят от взаимодействия между двумя последовательными устройствами. Поэтому значения энергетической селективности не могут быть определены конечным пользователем, а задаются производителем аппаратов в специальных таблицах и программах.

Таблица 4. Проверка автоматических выключателей

| Линия | $I_{раб}$, А | I_n .АВ, А | Уставка по КЗ, А | $I_{кзmin}$, кА | $K_{ч}$ | I_n .АВ, А при 40°С | Результат |
|---------|---------------|--------------|------------------|------------------|---------|-----------------------|-----------|
| 101Н-01 | 8,58 | 50 | 300 | 1,264 | 4,2 | 50 | Да |
| 102Н-01 | 20,36 | 63 | 378 | 1,268 | 3,4 | 63 | Да |
| 103Н-01 | 15,19 | 50 | 300 | 0,801 | 2,7 | 50 | Да |
| 105Н-01 | 6,08 | 40 | 240 | 1,792 | 7,5 | 40 | Да |
| 106Н-01 | 5,35 | 25 | 150 | 0,417 | 2,8 | 25 | Да |
| 107Н-01 | 1,52 | 25 | 150 | 0,417 | 2,8 | 25 | Да |
| 110Н-01 | 2,27 | 16 | 96 | 0,677 | 7,1 | 16 | Да |
| 112Н-01 | 125 | 160 | 750 | 2,352 | 3,1 | 160 | Да |

| | | | | | | | |
|---------|-------|----|-----|-------|------|----|----|
| 114H-01 | 2,27 | 16 | 96 | 1,168 | 12,2 | 16 | Да |
| 115H-01 | 6,82 | 16 | 96 | 0,247 | 2,6 | 16 | Да |
| 201H-01 | 8,58 | 40 | 240 | 0,709 | 3,0 | 40 | Да |
| 202H-01 | 20,36 | 63 | 378 | 1,268 | 3,4 | 63 | Да |
| 203H-01 | 15,19 | 50 | 300 | 0,801 | 2,7 | 50 | Да |
| 205H-01 | 6,08 | 40 | 240 | 1,476 | 6,2 | 40 | Да |
| 206H-01 | 5,35 | 25 | 150 | 0,417 | 2,8 | 25 | Да |
| 207H-01 | 1,52 | 25 | 150 | 0,417 | 2,8 | 25 | Да |
| 208H-01 | 30,39 | 63 | 378 | 1,622 | 4,3 | 63 | Да |
| 209H-01 | 30,39 | 63 | 378 | 2,352 | 6,2 | 63 | Да |
| 210H-01 | 3,04 | 25 | 150 | 0,681 | 4,5 | 25 | Да |
| 211H-01 | 3,04 | 25 | 150 | 0,681 | 4,5 | 25 | Да |
| 212H-01 | 7,6 | 25 | 150 | 0,4 | 2,7 | 25 | Да |
| 214H-01 | 9,09 | 16 | 96 | 0,16 | 1,7 | 16 | Да |
| 215H-01 | 3,04 | 16 | 96 | 0,161 | 1,7 | 16 | Да |