

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

Институт химии и энергетики
(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»
(наименование)

13.04.02 Электроэнергетика и электротехника
(код и наименование направления подготовки)

Техническое и информационное обеспечение интеллектуальных систем электроснабжения
(направленность (профиль))

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)

на тему Техническое и информационное обеспечение перевооружения ПС 220 кВ в части
замены ЗРУ-10 кВ

Обучающийся

К.Б. Николаев

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Научный
руководитель

к.т.н., доцент, Ю.В. Черненко

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2024

Содержание

Введение.....	5
1 Анализ текущего состояния ЗРУ 10 кВ ПС Белогорская	11
1.1 Существующее состояние объекта ПС 220 кВ Белогорская	11
1.2 Общее описание оборудования ПС 220 кВ Белогорская.....	13
1.3 Описание ЗРУ-10 кВ ПС 220 кВ Белогорская.....	16
1.3.1 Описание силового оборудования ЗРУ-10 кВ ПС 220 кВ Белогорская.....	16
1.3.2 Конструктивно-компоновочные решения сооружений ПС 220 кВ Белогорская.....	18
1.3.3 Собственные нужды. Система переменного тока. Система постоянного тока.....	20
1.3.4 Кабельное хозяйство.....	21
1.3.5 Освещение	21
1.3.6 Изоляция, защита от перенапряжений, заземление	21
1.3.7 Описание оборудования РЗА.....	22
1.3.8 Описание оборудования ПА	22
1.3.9 Описание оборудования АСУ ТП	22
1.3.10 Описание оборудования АИИС КУЭ	23
1.3.11 Описание оборудования системы мониторинга и управления качеством электроэнергии (СМиУКЭ).....	27
1.3.12 Оборудование систем связи.....	28
2 Техническое обеспечение перевооружения ПС 220 кВ в части замены ЗРУ- 10 кВ	33
2.1 Система электроснабжения.....	33
2.1.1 Исходные данные.....	33
2.1.2 Система электроснабжения ПС 220 кВ Белогорская	34
2.2 Характеристика источников электроснабжения и расчет электрических нагрузок.....	37

2.3 Выбор решений по обеспечению электроэнергией электроприемников в рабочем и аварийном режимах	39
2.4 Выбор и проверка основного оборудования	42
2.4.1 Выбор ошиновки 10 кВ	43
2.4.2 Выбор оборудования 10 кВ.....	43
2.4.3 Условия окружающей среды	45
2.4.4 Организация питания собственных нужд 0,4 кВ.....	46
2.4.5 Кабельное хозяйство.....	50
2.5 Определение параметров системы рабочего, охранного и аварийного освещения	52
2.6 Система оперативного постоянного тока ПС 220 кВ Белогорская.....	53
2.7 Релейная защита и автоматика подстанции	56
2.7.1 Основные технические решения по РЗА и функции релейной защиты и автоматики элементов ПС 220 кВ Белогорская ЗРУ-10 кВ...	58
2.7.2 Расчеты устройств РЗА элементов ЗРУ-10 кВ.....	60
2.7.3 Управление выключателями 10 кВ	62
2.7.4 Центральная сигнализация.....	62
2.7.5 Общие положения об организации цепей напряжения.....	63
2.7.6 Выбор измерительных трансформаторов напряжения	63
2.7.7 Общие требования к измерительным трансформаторам напряжения и вторичным цепям	63
2.7.8 Расчет нагрузки вторичных обмоток измерительного трансформатора напряжения 10 кВ.....	64
2.7.9 Выбор мощности обмоток трансформатора напряжения 10 кВ ...	65
2.7.10 Выбор сечения жил кабелей во вторичных цепях трансформатора напряжения 10 кВ.....	65
2.7.11 Выбор измерительных трансформаторов тока	69
2.7.12 Определение мощности обмоток трансформаторов тока 10 кВ и сечения жил кабелей для цепей измерения.....	69

3 Информационное обеспечение перевооружения ПС 220 кВ в части замены ЗРУ-10 кВ.....	74
3.1 Назначение и цели ССПИ	74
3.2 Характеристика технологического объекта управления	75
3.2.1 Состав контролируемого и управляемого оборудования	76
3.2.2 Режимы функционирования технологического объекта автоматизации	77
3.3 Общие решения по структуре ССПИ.....	77
3.4 Основные технические решения	78
3.4.1 Технические решения по размещению аппаратуры ССПИ и условия эксплуатации.....	78
3.4.2 Технические решения по электропитанию оборудования ССПИ	81
3.4.3 Решения по реализации ОБР.....	81
3.5 Решения по составу информации, объему и способам ее организации	81
3.5.1 Состав информационных данных ПТК. Характеристика входных и выходных сигналов.....	81
3.5.2 Оценка количества входных/выходных сигналов ССПИ.....	84
3.5.3 Требования по передаче информации	86
Заключение	89
Список используемой литературы	97

Введение

Мероприятия по реконструкции ЗРУ 10 кВ подстанции Белогорская запланированы в инвестиционной программе ПАО «ФСК ЕЭС» на 2020-2024г.г., утвержденной Приказом Минэнерго России от 27.12.2019г.

На подстанции располагается капитальное здание ОПУ и ЗРУ для которого, в ходе технического перевооружения, предусматривается реконструкция (в объеме демонтажа помещений ЗРУ и мастерской с возведением капитальной наружной стены здания ОПУ и ЗРУ со стороны помещения мастерской), строительство нового кирпичного здания закрытого распределительного устройства (ЗРУ-10 кВ) на месте, освободившемся в результате реконструкции здания ОПУ и ЗРУ (демонтажа помещений мастерской и ЗРУ). Далее по тексту «Здание ОПУ и ЗРУ» будет именоваться «Здание ЗРУ-10 кВ».

Для ВЛ, КЛ, высоковольтного оборудования и других присоединений различного класса напряжения приняты наименования по «Нормальной схеме электрических соединений ПС 220 кВ Белогорская на 2020 год» утверждённой 08.05.2020г.

В магистерской диссертации рассматриваются вопросы реконструкции ПС 220 кВ Белогорская – замена здания ЗРУ-10 кВ – 17 ячеек.

Намечаемый срок окончания реконструкции ПС 220 кВ Белогорская – 2024 г.

ПС 220 кВ Белогорская расположена в г. Белогорск, Амурской области и предназначена для электроснабжения промышленных и городских потребителей Белогорского района по ВЛ 110, 35 и КЛ 10 кВ.

План расположения ПС Белогорская на карте местности изображен на рисунке 1.

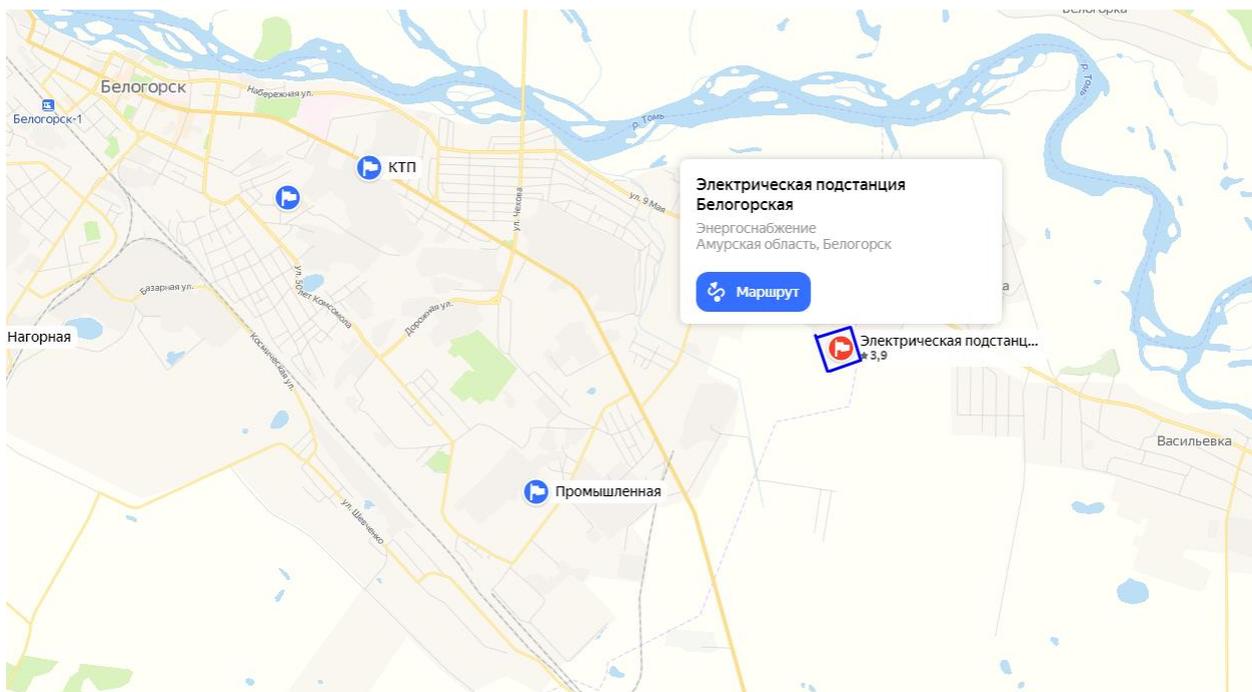


Рисунок 1 - План расположения ПС Белогорская на карте местности

Технические решения по реконструкции приняты в соответствии с требованиями норм, правил, инструкций и государственных стандартов, действующих на территории Российской Федерации.

В работе предусмотрено:

- реконструкция здания ЗРУ-10 кВ ПС 220 кВ Белогорская с установкой нового здания ЗРУ-10 кВ на месте существующей мастерской, количество ячеек – 28 шт., ЗРУ 10 кВ принято по схеме 10-1 «Одна, секционированная выключателем, система шин» с дополнительным временным питанием от автотрансформатора АТ-2 на время реконструкции [11];
- установка литых изолированных токопроводов 10 кВ для связей между зданием ЗРУ-10 кВ и трансформаторами ТЗ, Т4;
- установка двух сухих трансформаторов собственных нужд 10/0,4 кВ мощностью 630 кВА взамен существующих ТСН-3, ТСН-4;
- организация заземления, молниезащиты и собственных нужд здания ЗРУ-10 кВ.

«Расстояния (между оборудованием, ошиновкой, воздушные изоляционные расстояния между фазами, до заземленных конструкций, до нижней кромки изоляторов оборудования, от токоведущих частей до земли) приняты в соответствии с действующими расстояниями по ПУЭ 7 издание» [12].

«При выборе высоковольтного оборудования и ошиновки учтены нормальные эксплуатационные, послеаварийные и ремонтные режимы, а также перегрузочная способность оборудования.

По территории подстанции обеспечивается проезд и подъезд к оборудованию машин и механизмов, необходимых для проведения ремонтных и эксплуатационных работ, проезд пожарных машин.

Размещение оборудования подстанции выполнено с учетом требований электромагнитной совместимости согласно СТО 56947007-29.240.044-2010» [18] и обеспечения биологической защиты персонала от опасного действия электрического и магнитного полей.

Потребность в электрической мощности при эксплуатации проектируемого здания ЗРУ-10 кВ (обеспечение собственных нужд) составляет 44,49 кВА в летний сезон.

Выбор параметров основного электротехнического оборудования здания ЗРУ-10 кВ выполнен исходя из следующих условий окружающей среды, приведенных в таблице 1.

Таблица 1 - Условия окружающей среды в районе расположения подстанции Белогорская

Показатель	Значение
а) «Температура воздуха:	-
1) абсолютная минимальная	минус 48,0 °С
2) абсолютная максимальная	40,0 °С
3) среднегодовая	0,3 °С
4) средняя наиболее холодной пятидневки	минус 41,0 °С
5) средняя наиболее холодных суток» [13]	минус 43,0 °С
б) зимняя вентиляционная	минус 29,5 °С

Продолжение таблицы 1

Показатель	Значение
б) Скорость ветра:	III район
1) возможная 1 раз в 25 лет с 10 минутным интервалом осреднения на высоте 10 метров (согласно ПУЭ изд.7)	32 м/с
2) возможная 1 раз в 5 лет с 10 минутным интервалом осреднения на высоте 10 метров (согласно СНиП 2.01.07-85)	22 м/с
в) Толщина стенки гололеда:	III район
1) повторяемостью 1 раз в 25 лет плотностью 0,9 г/см ³ на высоте 10 метров (согласно ПУЭ изд.7)	20 мм
2) повторяемостью 1 раз в 5 лет плотностью 0,9 г/см ³ на высоте 10 метров (согласно ПУЭ изд.7)	10 мм
г) Степень загрязнённости атмосферы	II

Выбор параметров основного электротехнического оборудования выполнен исходя из следующих условий:

- максимального длительного тока в нормальных, послеаварийных и ремонтных режимах, с учетом перегрузочной способности оборудования;
- напряжения присоединений;
- отключающей способности оборудования;
- термической и электродинамической стойкости к токам короткого замыкания.

Реконструируемая подстанция ПС 220 кВ Белогорская является объектом электросетевого хозяйства и согласно приложению 1 Федерального закона № 116-ФЗ от 21 июля 1997 года [22] к опасным производственным объектам не относится.

В данной работе приняты решения по обеспечению:

- а) электрической безопасности:
 - 1) системой организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от поражения электрическим током и воздействия электрической дуги;

- 2) исключена возможность приближения человека на расстояние, при котором возможен пробой изоляционного промежутка между токоведущей частью и человеком;
 - 3) для предотвращения поражения электрическим током проводящие части электроустановок и оборудования заземлены и исключена возможность появления на них напряжения, представляющего опасность для человека, во всех режимах работы электроустановки;
 - 4) напряжения прикосновения при нормальном (не являющимся аварийным) режиме работы составляет не более 2 В при переменном и не более 8 В при постоянном токе. Токи, протекающие через тело человека, при нормальном режиме, в этом случае составляют не более 0,3 мА при переменном и не более 1 мА при постоянном токе;
 - 5) для предупреждения ошибочных действий персонала при техническом обслуживании электроустановок и при ликвидации технологических нарушений, помещения, оборудование, проводники и шины в электроустановках имеют обозначения, указательные надписи и маркировку, обеспечивающие возможность однозначного распознавания их назначения, номинального напряжения и места в общей схеме электроустановки;
 - 6) предусмотрены меры, исключаящие возможность выноса опасного напряжения по оболочкам кабелей и открытым проводящим частям сооружений за пределы электроустановки;
 - 7) электроустановки оборудованы надписями и информационными знаками, предупреждающими людей о возможности поражения электрическим током при попытке проникнуть в электроустановку или влезть на ее конструкцию.
- б) термической безопасности:

- 1) токоведущие части электроустановки, а также проводники любого назначения удовлетворяют требованиям в отношении их предельно допустимого нагрева при всех возможных режимах работы электроустановки. Выполнение этого требования обеспечено путём надлежащего выбора номинального тока каждой единицы электрооборудования и сечения любого проводника, исходя из расчётных токов всех режимов.
- в) механической безопасности:
 - 1) провода, изоляторы, конструкции и оборудование электроустановок рассчитаны на выдерживание без повреждений расчетных воздействий собственного веса и тяжения проводов, динамических сил, возникающих при коротком замыкании, и иные механические воздействия технологического характера.
- г) пожарной и взрывобезопасности:
 - 1) электроустановки удовлетворяют требованиям законодательства о пожарной безопасности, обеспечены средствами для тушения пожара, в том числе при наличии электрического напряжения.
 - 2) электроустановки удовлетворяют требованиям электромагнитной совместимости.

Целью магистерской диссертации является повышение эффективности функционирования подстанции 220 кВ Белогорская.

Для достижения поставленной цели в диссертации будут решены следующие задачи:

- анализ текущего состояния ЗРУ 10 кВ ПС Белогорская;
- техническое обеспечение перевооружения ПС 220 кВ в части замены ЗРУ-10 кВ;
- информационное обеспечение перевооружения ПС 220 кВ в части замены ЗРУ-10 кВ.

1 Анализ текущего состояния ЗРУ 10 кВ ПС Белогорская

Целью данного раздела является анализ исходных данных для выполнения последующих разделов работы, определение состава оборудования ПС, определение возможности использования имеющихся систем и помещений, кабельных каналов ПС Белогорская.

1.1 Существующее состояние объекта ПС 220 кВ Белогорская

ПС 220 кВ Белогорская является действующей подстанцией, ее план представлен на рисунке 2.

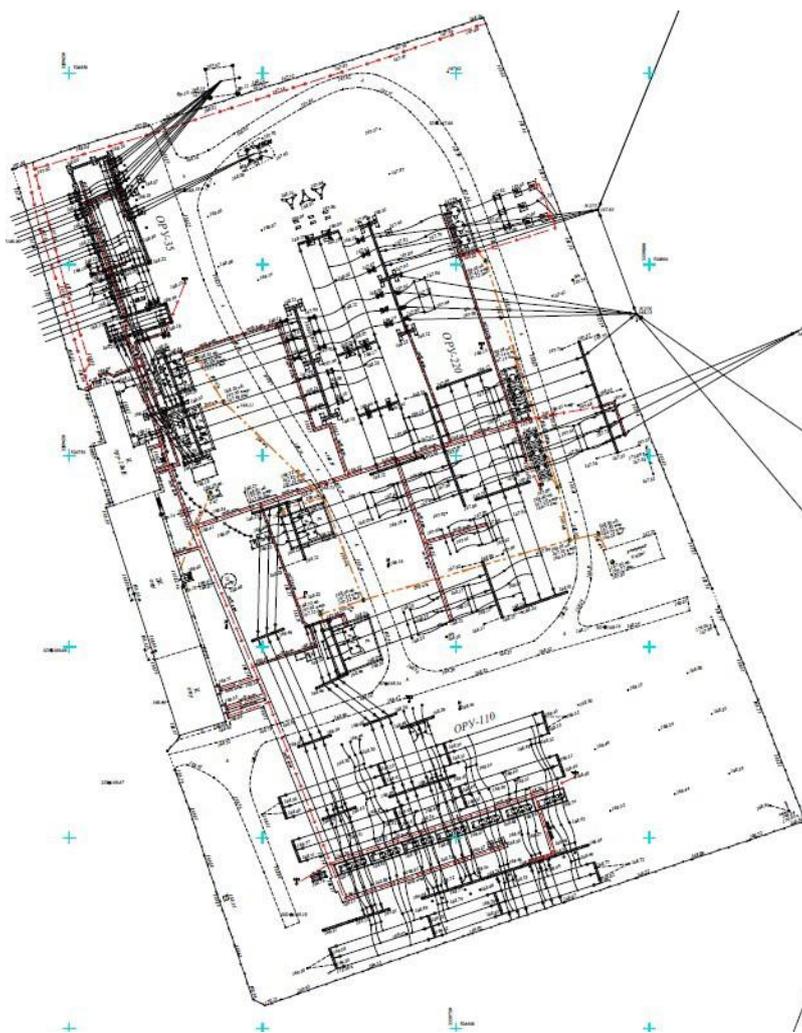


Рисунок 2 - План ПС 220 кВ Белогорская

Территория ПС 220 кВ Белогорская состоит из трёх открытых распределительных устройств 220 кВ, 110 кВ и 35 кВ, здания распределительного устройства 10 кВ, устройства организации собственных нужд подстанции, устройства организации цепей оперативного тока.

На подстанции расположено здание общеподстанционного пункта управления (ОПУ), ремонтная мастерская.

Нормальная схема электрических соединений подстанции приведена на рисунке 3.

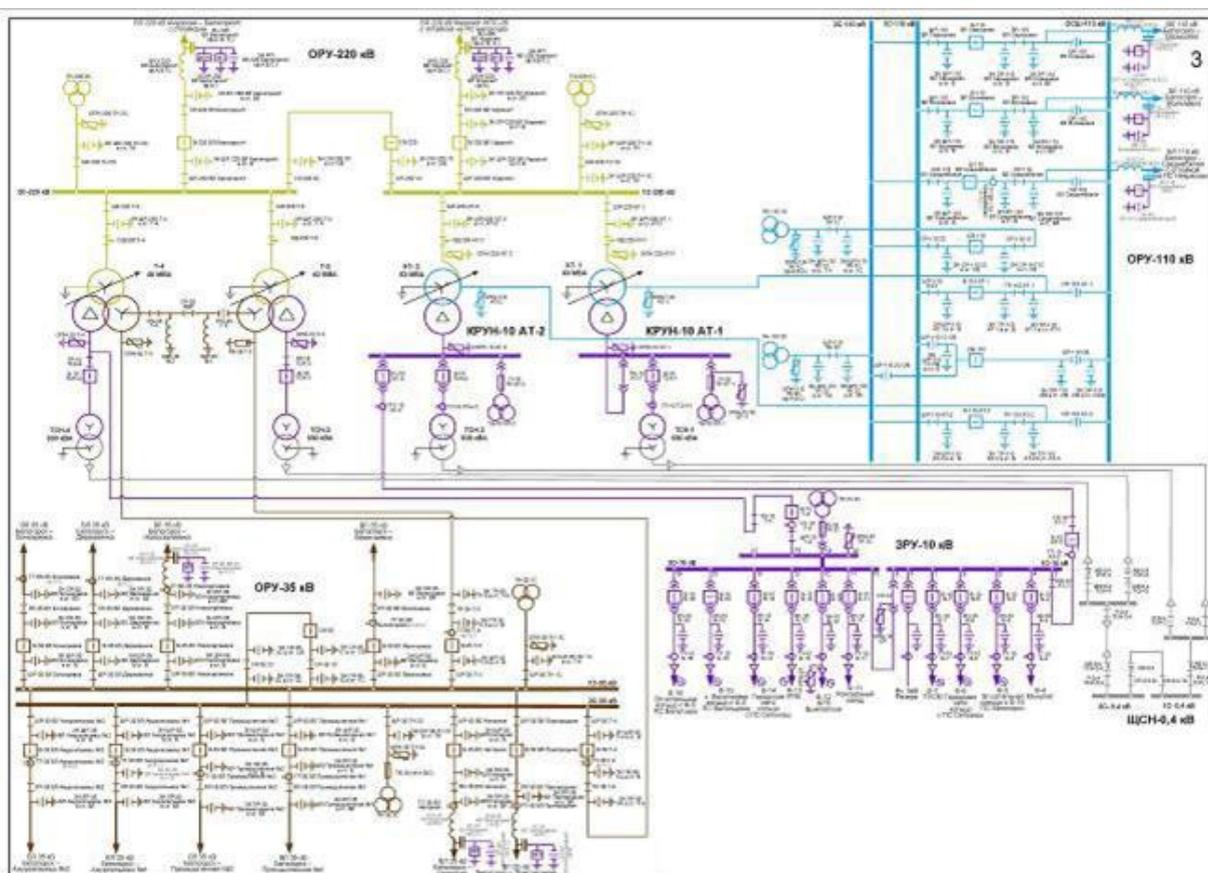


Рисунок 3 - Существующая электрическая схема ПС 220 кВ Белогорская

В настоящее время на подстанции проводятся работы по реконструкции ОРУ 220 кВ с изменением схемы на 220-13 «Две рабочие системы шин», замена коммутационного оборудования на ОРУ 110 кВ и 220 кВ, изменение

схемы подключения четырёх установленных на подстанции силовых трансформаторов.

1.2 Общее описание оборудования ПС 220 кВ Белогорская

«Существующее открытое распределительное устройство 220 кВ (ОРУ-220 кВ) выполнено по схеме №220-9 «Одна рабочая, секционированная выключателем, система шин». Присоединение ПС к энергосистеме выполнено ответвлениями от ВЛ 220 кВ Амурская - Белогорская и от ВЛ 220 кВ Амурская - Короли.

В настоящее время на ПС 220 кВ Белогорская находится в эксплуатации следующее оборудование:

- два автотрансформатора АТ-1 и АТ-2 напряжением 220/110/10 кВ мощностью 63 МВА каждый с устройством РПН типа АТДЦТН-63000/220/110/10;
- два трехфазных трансформатора Т-3 и Т-4 напряжением 220/35/10 кВ мощностью 40 МВА каждый с устройством РПН типа ТДТН-40000/220/35/10;
- четыре двухобмоточных трансформатора типа ТМ-630/10/0,4, используемые в качестве трансформаторов собственных нужд (ТСН-1, ТСН-2, ТСН-3, ТСН-4).

К ОРУ-220 кВ подключены:

- два трёхобмоточных трансформатора Т-3, Т-4; два автотрансформатора АТ-1, АТ-2» [20];
- две воздушных линии ВЛ 220 кВ;
- два трансформатора напряжения 220 кВ; секционный выключатель СВ-220.

На ОРУ-220 кВ установлено следующее высоковольтное оборудование:

- выключатели У220М- 1000-2000-25У1;

- разъединители колонковые с заземляющими ножами РНДЗ-16-220/1000; отделители ОД-220;
- трансформаторы напряжения НКФ-220-58У;
- ограничители перенапряжения нелинейные ОПН-220/164/10 УХЛ1 и ОПН- 220/160/10 ЗУХЛ1;
- высокочастотные заградители ВЗ-1000-0,6; конденсаторы связи СМП-110/кор3-6,4 ХЛ1 - 12 шт.

Системы шин 1С выполнены из провода сечением АС- 300, АС-240, АС-330, 2С - из провода сечением АС-300.

«Существующее открытое распределительное устройство 110 кВ (ОРУ-110 кВ) выполнено по схеме №110-12 «Одна рабочая, секционированная выключателем и обходная системы шин». Электроснабжение ОРУ-110 кВ осуществляется обмоток напряжением 110 кВ автотрансформаторов АТ-1 и АТ-2. Присоединение данного ОРУ к энергосистеме выполнено по ВЛ 110 кВ Белогорская - Серышево, ВЛ 110 кВ Белогорская - Возжаевка, и от ВЛ 110 кВ Белогорская - Среднебелая с отпайкой на ПС Некрасовка» [4].

К ОРУ-110 кВ подключены:

- пять воздушных линий ВЛ 110 кВ; два автотрансформатора АТ-1, АТ-2;
- два трансформатора напряжения 110 кВ; секционный выключатель СВ-110; обходной выключатель ОВ-110.

На ОРУ-110 кВ установлено следующее высоковольтное оборудование:

- трансформаторы тока ІМВ-145;
- ограничители перенапряжения нелинейные ОПН-110/77/10 ЗУХЛ;
- высокочастотные заградители ВЗ-630-0,6;
- конденсаторы связи СМП-110/кор3-6,4 ХЛ1.

Системы шин 1С - выполнены из провода сечением АС-240, 2С - из провода сечением АС- 240, ОСШ - АС-240.

«Существующее открытое распределительное устройство 35 кВ выполнено по схеме 35-9 «Одна рабочая, секционированная выключателем

система шин». Электроснабжение ОРУ-35 кВ осуществляется от трехобмоточных трансформаторов Т-3, Т-4. Присоединение данного ОРУ к энергосистеме Амурской области выполнено десятью воздушными линиями электропередачи» [19]:

- ВЛ 35 кВ Белогорская - Бочкаревка;
- ВЛ 35 кВ Белогорская - Державинка;
- ВЛ 35 кВ Белогорская - Новосергеевка;
- ВЛ 35 кВ Белогорская - Васильевка;
- ВЛ 35 кВ Белогорская - Амурсельмаш №1;
- ВЛ 35 кВ Белогорская - Амурсельмаш №2;
- ВЛ 35 кВ Белогорская - Промышленная №1;
- ВЛ 35 кВ Белогорская - Промышленная №2;
- ВЛ 35 кВ Белогорская - Нагорная;
- ВЛ 35 кВ Белогорская - Пригородная.

К ОРУ-35 кВ подключены:

- десять воздушных линий ВЛ 35 кВ;
- два трёхобмоточных трансформатора Т-3 и Т-4;
- секционный выключатель СВ-35;
- два трансформатора напряжения 35 кВ.

На ОРУ-35 кВ установлено следующее высоковольтное оборудование:

- масляные выключатели С-35М-630-10, ВМД-35 и МКП-35-1000-25АУ1;
- разъединители РНД(З)-1-35б/1000У1 и РНД(З)-2-35б/1000У1;
- трансформаторы напряжения НАМИ-35 и ЗНОМ-35-65У;
- трансформаторы тока - ТФЗМ-35 600/5;
- ограничители перенапряжения нелинейные ОПН-35/40,5-2 УХЛ1 и ОПН-35 Bowthorpe;
- вентильный разрядник РВ-35;
- предохранитель ПКН-0,1-35 ХЛ1;

- высокочастотный заградитель ВЗ-630-0,6;
- конденсатор связи СМП-66/кор3-4,4 ХЛ1.

Системы шин 1С выполнены из провода сечением АС-300, АС-240; 2С - из провода сечением АС-300, АС-240.

Возле существующего здания ОПУ установлены четыре трансформатора собственных нужд типа ТМ-630-10/0,4 (ТСН-1, ТСН-2, ТСН-3, ТСН-4).

Загруженность ТСН в зимний период составляет не более 40 % от номинальной мощности. Исходя из режима максимума нагрузки, нагрузка на щит собственных нужд составляет около 250 кВА. Щит собственных нужд расположен в помещении щита управления ОПУ, состоит из 9 панелей (2 шкафа ввода, 6 линейных шкафов, 1 шкаф СВ-0,4 кВ).

Щит постоянного тока также расположен в помещении щита управления ОПУ, состоит из 5 шкафов (1 шкафа ввода, 2 шкафов отходящих линий, 2 шкафов ЗВУ).

1.3 Описание ЗРУ-10 кВ ПС 220 кВ Белогорская

1.3.1 Описание силового оборудования ЗРУ-10 кВ ПС 220 кВ Белогорская

Существующее закрытое распределительное устройство 10 кВ выполнено по нетиповой схеме 10-1 «Одна рабочая, секционированная разъединителем, система шин с дополнительной секцией для подключения шинных аппаратов». Электроснабжение ЗРУ-10 кВ осуществляется от трёхобмоточного трансформатора Т-4 и автотрансформатора АТ-2.

Присоединение ЗРУ-10 кВ к энергосистеме выполнено десятью кабельными линиями электропередачи:

- КЛ 10 кВ «Ф-16 Эл.котельная кольцо с Ф-5 ПС Белогорская»;
- КЛ 10 кВ «Ф-15 с. Васильевка кольцо с Ф-5 ПС Васильевка»;
- КЛ 10 кВ «Ф-14 Городские сети кольцо с ПС Сельмаш»;

- КЛ 10 кВ «Ф-13 РПБ», КЛ 10 кВ «Ф-12 НРП Вымпелком»;
- КЛ 10 кВ «Ф-11 Консервный завод»; КЛ 10 кВ «Ф-7 ТУСМ»;
- КЛ 10 кВ «Ф-Городские сети кольцо с ПС Сельмаш»;
- КЛ 10 кВ «Ф-5 Эл.котельная кольцо с Ф-16 ПС Белогорская»;
- КЛ 10 кВ «Ф-4 Монолит»;
- резервная ячейка Ф-8.

В здании ЗРУ-10 кВ установлены ячейки 10 кВ.

В ячейках ЗРУ-10 кВ установлено следующее высоковольтное оборудование:

- выключатели типа ВМПЭ-10-630-20УЗ, ВМПЭ-10-1600-20УЗ, ВВВ-10-4/400У2, ВМП-10, МГГ-10-1000-45ТЗ, ВМГ-133 и ВМГ-10-630-20УЗ;
- разъединители РНД-10;
- трансформаторы напряжения НТМИ-10;
- ограничители перенапряжения нелинейные ОПНп-10/12,0/2 УХЛ;
- предохранители ПКТ-10.

Ошиновка 1С и 2С выполнена алюминиевыми шинами 10×12. Возле существующего здания ОПУ установлены четыре трансформатора собственных нужд типа ТМ-630-10/0,4 (ТСН-1, ТСН-2, ТСН-3, ТСН-4). КРУН с ТСН-3(4) установлены вблизи существующего здания ЗРУ-10 кВ. ТСН-3,(4) подключены непосредственно к Т-3(4), далее питание поступает к установленным вблизи шкафам ввода 0,4 кВ. К шкафам ввода подключены несколько потребителей ОРУ-220, а также ЩСН. КРУН с ТСН-3(4) имеют многочисленные следы коррозии на металлоконструкциях, в некоторых местах коррозия сквозная. ТСН-3(4) в КРУН установлены в нарушение п.4.2.68 ПУЭ (расстояние от маслonaполненного оборудования с количеством масла в единице более 1000 кг должно составлять не менее 24 (16) метров от производственных зданий, количество масла в трансформаторе типа ТМ-630/10 более 1000 кг). Также отсутствуют маслоприёмные ямы. В шкафах имеются многочисленные соединения алюминий-медь. ТСН подключены к

шкафам ввода тремя кабелями ВВГ 2×50+1×25 (без исполнения нг- (А)-LS). В рамках текущих работ по реконструкции ОРУ-220 кВ предполагается демонтаж шкафов ввода 0,4 кВ, установленных рядом с ТСН-3,4.

Шинные мосты от АТ-2 до ЗРУ выполнены проводом 2×АС500/64, от Т-3 алюминиевой шиной 10×12. В связях от Т-3, а также внутри здания алюминиевая ошиновка имеет множественные деформационные изгибы.

1.3.2 Конструктивно-компоновочные решения сооружений ПС 220 кВ Белогорская

На подстанции располагается капитальное здания ОПУ и ЗРУ для которого, в ходе технического перевооружения, предусматривается реконструкция (в объеме демонтажа помещений ЗРУ и мастерской с возведением капитальной наружной стены здания ОПУ и ЗРУ со стороны помещения мастерской), строительство нового кирпичного здания закрытого распределительного устройства (ЗРУ-10 кВ) на месте, освободившемся в результате реконструкции здания ОПУ и ЗРУ (демонтажа помещений мастерской и ЗРУ).

План ЗРУ-10 кВ приведён на рисунке 4, план освещения помещения ЗРУ-10 кВ приведён на рисунке 5.

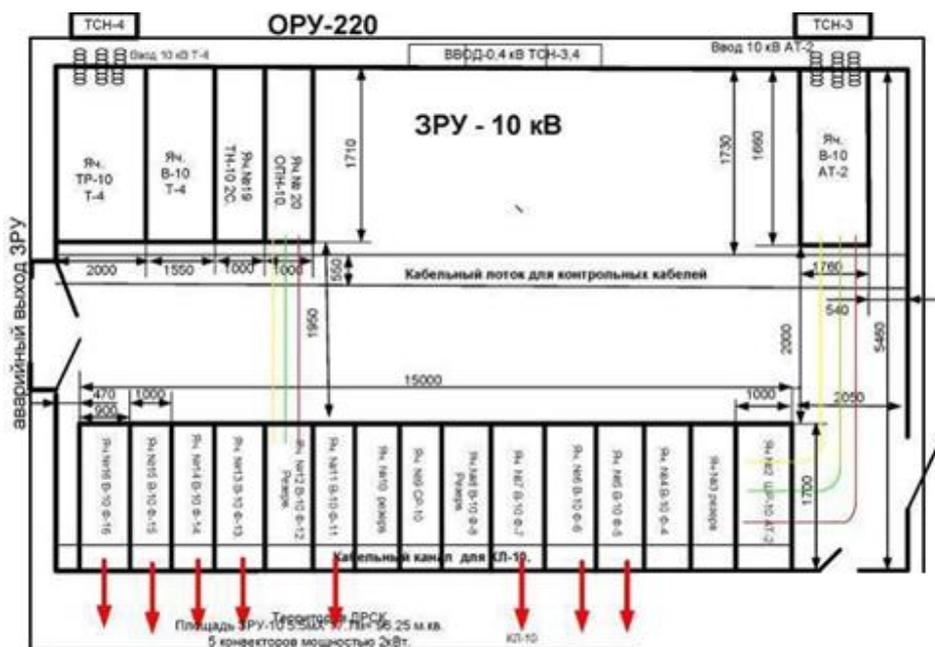


Рисунок 4 - План существующего помещения ЗРУ-10 кВ

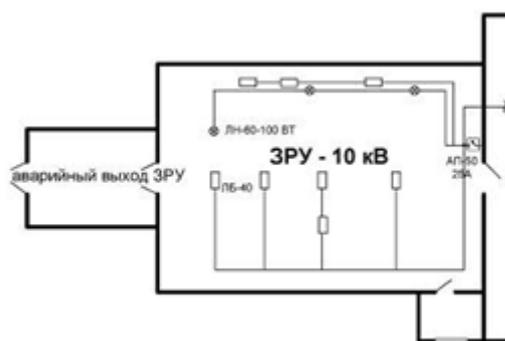


Рисунок 5 – План освещения помещения, существующего ЗРУ 10 кВ

Существующее помещение шкафов ячеек ЗРУ-10 кВ здания ОПУ и ЗРУ согласно Техническому паспорту ПС 220 кВ Белогорская построено в 1964 году. Процент износа строительных конструкций более 25%. Габаритные размеры помещения, существующего ЗРУ-10 кВ 5,46×17,52м. Фундамент здания – железобетонный ленточный. Наружные стены кирпичные, оштукатуренные с известковой окраской. Перекрытие выполнено из железобетонных ребристых плит.

Полы в здании ЗРУ-10 кВ бетонные. Внутренняя отделка помещения – штукатурка и известковая окраска. Фотографии существующего помещения ЗРУ-10 кВ представлены на рисунках 6 и 7.



Рисунок 6 – Существующее помещение ЗРУ-10 кВ вид снаружи



Рисунок 7 - Существующее помещение ЗРУ-10 кВ вид внутри

1.3.3 Собственные нужды. Система переменного тока. Система постоянного тока

Трансформаторы собственных нужд - существующие ТСН-1, ТСН-2, ТСН-3, ТСН- 4 мощностью 630 кВА каждый, установленные открыто возле существующего здания ОПУ.

Оперативный ток на ПС - постоянный, напряжением 220 В. Аккумуляторная батарея и щит постоянного тока (ЩПТ) установлены в существующем здании ОПУ. При проходящей в настоящий момент реконструкции предусматривается реконструкция собственных нужд подстанции, которая заключается в следующем:

- строительство нового здания ОПУ-2 с собственным ЩСН-2, который будет получать питание от ТСН-1; 2 которые, в свою очередь, получают питание от АТ-1,2;
- существующий ЩСН-1 предполагается оставить в существующем ОПУ-1, часть нагрузок при этом переводится на ЩСН-2;
- ЩСН-1 получает питание непосредственно от ТСН-3,4 кабелем 2хВВГЭнг(А)-LS 4×240, существующие шкафы ввода 0,4 кВ, установленные вблизи ТСН-3,4, демонтируются;

- подключенные к данным шкафам ввода 0,4 кВ нагрузки (охлаждение Т-3,4, собственные нужды мастерской РЗА и т.д.) переводятся на ЩСН-1.

1.3.4 Кабельное хозяйство

Контрольные и силовые кабели на открытых распределительных устройствах ПС 220 кВ Белогорская проложены в существующих наземных сборных железобетонных лотках. По помещению ЗРУ 10 кВ кабели проложены в заглублённых лотках. Прилегающее к зданию ЗРУ-10 кВ кабельное хозяйство располагается в железобетонных лотках. Хотя состояние самих конструкций лотков удовлетворительное, тем не менее они заглублены в землю, что приводит к скоплению в них дождевых и талых вод. Кабели силовые 0,4 кВ и кабели вторичных соединений в ЗРУ-10 кВ во множестве случаев имеют устаревший тип и не имеют индексов нг(А)-LS. Заходы КЛ выполнены заглублёнными в грунт.

1.3.5 Освещение

«На подстанции выполнены следующие виды освещения:

- рабочее освещение, в том числе переносное (ремонтное) и местное;
- аварийное освещение» [14].

Предусматривается наружное освещение на расширяемой территории подстанции (ячейки 110 кВ и 220 кВ) и в месте сооружения ОПУ №2.

1.3.6 Изоляция, защита от перенапряжений, заземление

«Изоляция существующего оборудования выполнена в соответствии с ГОСТ 9920-89. Защита высоковольтного оборудования от прямых ударов молнии осуществляется при помощи молниеотводов, установленных на ячейковых порталах и отдельно стоящих молниеотводах. Защита от внутренних перенапряжений и от волн перенапряжений, приходящих с ВЛ, предусмотрена ограничителями перенапряжений» [6].

Заземляющее устройство ПС 220 кВ Белогорская выполнено в виде сетки из стальных полос.

1.3.7 Описание оборудования РЗА

ЗРУ-10 кВ выполнено закрытого типа в одноэтажном здании и включает в себя две секции шин. К секциям подключены 11 потребительских кабельных линий.

Защита и автоматика управления выключателей 10 кВ выполнена на базе электромагнитных реле. Трансформаторы тока установлены в двух фазах (кроме вводных ячеек). Защиты и измерительные приборы подключены к одному керну. Данное исполнение не соответствует СТО 70238424.29.240.10.009-2011 Распределительные электрические сети. Подстанции 6-20/0,4 кВ. Условия создания. Нормы и требования.

1.3.8 Описание оборудования ПА

В настоящее время на ПС 220 кВ Белогорская установлены шкафы специальной автоматики отключения нагрузки (САОН) на шинах 220/110 кВ (Шкафы № 68, № 69).

Устройства САОН действуют на отключение нагрузки на ПС 220 кВ Белогорская, по факту приёма команд противоаварийной автоматики от внешних устройств ПА.

1.3.9 Описание оборудования АСУ ТП

В настоящее время для сбора телеинформации на подстанции размещены измерительные преобразователи (датчики) и оборудование телемеханики (ТМ). Телеинформация с существующих устройств ТМ передаётся в направлении Филиала АО «СО ЕЭС» по существующим каналам связи присоединений 220 кВ, 110 кВ, 35 кВ. По присоединениям ЗРУ-10 кВ измерения осуществляются только от счётчиков электроэнергии. Оборудование ССПИ, АСУ ТП, ССПТИ на подстанции, в процессе установки. Таким образом, оборудование ТМ установленное по присоединениям и фидерам ЗРУ-10 кВ не соответствует современным стандартам для АСУ ТП подстанций.

Требуется «дооснастить» ССПИ по всем присоединениям ЗРУ-10 кВ для включения в общеподстанционную АСУ ТП идущей реконструкции.

Структурная схема АСУ ТП текущей реконструкции ПС приведена на рисунке 8.

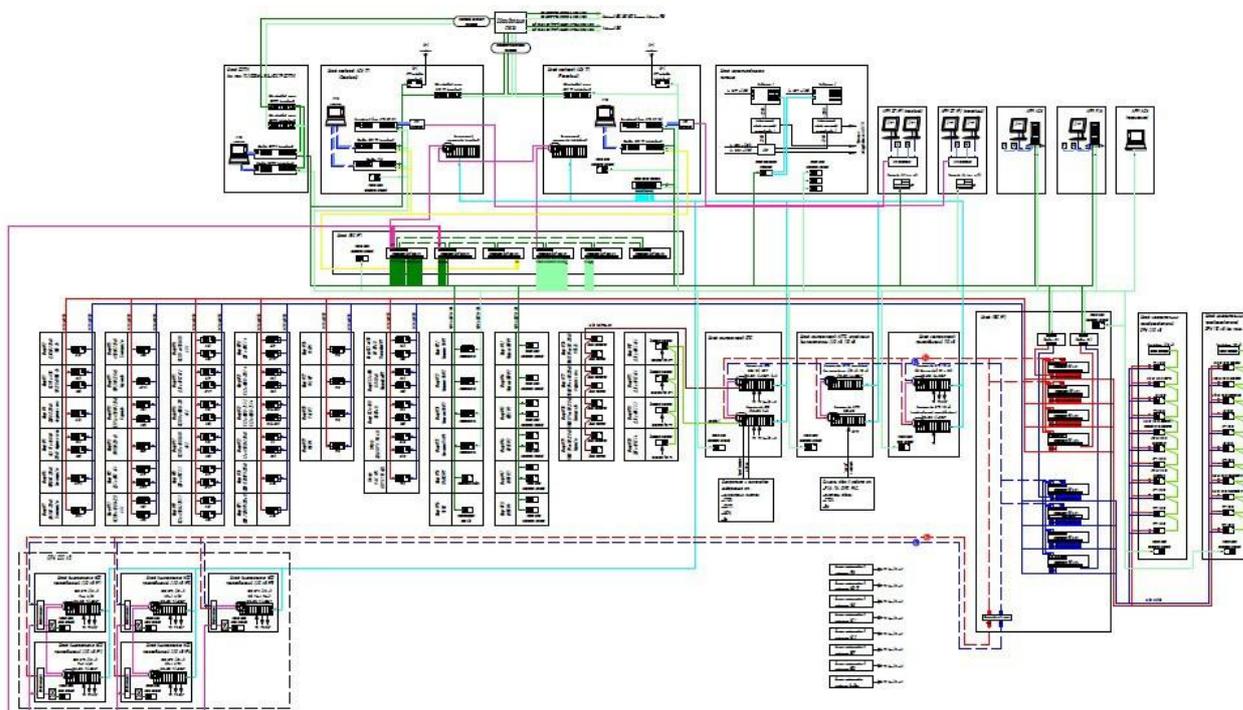


Рисунок 8 - Структурная схема АСУ ТП

1.3.10 Описание оборудования АИИС КУЭ

В настоящее время на ПС 220 кВ Белогорская по шкафам ячеек ЗРУ-10 кВ установлены счётчики электроэнергии. Счётчики подключены на фазы «А» и «С» по фидерам 10 кВ, что не соответствует п.п. 7.18, 22.10.1, 22.10.3.1, 22.10.3.2 СТО 56947007- 29.240.10.248-2017 «Норм технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ (НТП ПС)» современных норм.

В настоящее время реализуется проект по оснащению подстанции АИИС КУЭ.

Рассмотрены и учитываются все работы для АИИС КУЭ в рамках смежных реализуемых работ, как по расширению ОРУ 110 кВ на две линейные ячейки, так и по реконструкции ОРУ-220 кВ.

В рамках данной работы требуется «переоснастить» АИИС КУЭ с установкой современных счётчиков электроэнергии по вводным ячейкам от «силового» трансформаторного оборудования и по всем фидерам отходящих линий ЗРУ-10 кВ для включения в общеподстанционную АИИС КУЭ.

Третий уровень включает в себя информационно-вычислительный комплекс (ИВК) и состоит из АРМ и существующих серверов баз данных (БД).

На ПС 220 кВ Белогорская установлены электросчетчики типа Альфа А1800 ООО «Эльстер Метроника».

Счетчики объединяются последовательными магистралями RS-485 и по кабелю типа «витая пара» подключаются к шлюзам, расположенным в существующих шкафах ТКУ (технологическое коммутационное устройство) в здании ОПУ. Шкафы ТКУ выполняют функции сбора и передачи данных на верхний уровень системы ИВК АИИС КУЭ.

Система учета ПС 220 кВ Белогорская состоит из следующих измерительных компонентов:

- измерительные трансформаторы тока и напряжения;
- электросчетчики;
- вторичные цепи.

Измерительные трансформаторы и электросчетчики представляют собой законченные измерительные компоненты с нормированными метрологическими характеристиками.

Микропроцессорные счетчики электрической энергии Альфа А1800 с цифровыми выходами RS-485 уровня ИИК измеряют электроэнергию за заданный интервал времени с сохранением профиля нагрузки в энергонезависимой памяти. По запросу с верхнего уровня измерительная информация поступает в цифровом виде в УСПД и ретранслируется на сервер БД.

УСПД уровня ИВКЭ автоматически при необходимости осуществляет синхронизацию времени часов счетчиков с сервером ИВК верхнего уровня посредством приемника сигналов точного времени ГЛОНАСС.

Коммуникационное приемо-передающее оборудование и цифровые каналы передачи данных обеспечивают передачу данных с ИИК на ИВКЭ, а также с ИВКЭ на ИВК.

«Для непосредственного подключения к отдельным электросчетчикам, а также для считывания информации с группы счетчиков (в случае, например, повреждения линий связи) предусматривается использование переносного портативного компьютера (ноутбука)» [30].

Существующей автоматизированный учет электроэнергии на ПС 220 кВ Белогорская выполнен на базе ЦКУ, двух ТКУ, счетчиков электроэнергии типа А1800 и УСПД RTU-325L (производитель – предприятие «Эльстер-Метроника», г. Москва).

Существующие электросчетчики для присоединений 220, 110 кВ размещены на панелях в помещении релейных панелей ОПУ, электросчетчики для присоединений 35 кВ размещены частично на панелях в помещении релейных панелей ОПУ, частично в ЯЗУ на ОРУ 35 кВ, электросчетчики для присоединений 10 кВ и 0,4 кВ – в ячейках шкафов соответствующих присоединений.

Данные с вновь устанавливаемых счетчиков будут передаваться в шкаф УСПД по двум магистралям интерфейса RS-485. Данные с существующих счетчиков будут собираться по двум магистралям интерфейса RS-485 в шкафах ТКУ и затем передаваться в шкаф УСПД по двум оптическим линиям связи.

Информация АИИС КУЭ по проектируемому оборудованию ПС 220 кВ Белогорская будет передаваться по следующим каналам:

- «по цифровому каналу (основной канал ВОЛС) в ЦСОД МЭС;
- по существующему резервному каналу спутниковой связи (передача данных происходит по цифровому интерфейсу с помощью существующего спутникового терминала VSAT (Very Small Aperture Terminal) – малые спутниковые наземные станции)» [26].

В выполняемой сейчас на ПС работе предусмотрены переносы и установка соответствующего оборудования учета 110 кВ и 220 кВ и счетчиков электроэнергии в новое здание ОПУ и соответственно предусмотрено выполнение реконструкции измерительных каналов в части подключения измерительных цепей счетчиков к существующим ТТ и ТН 110 кВ, 220 кВ, а также восстановление информационных цепей с УСПД.

Информация от вновь проектируемых электросчетчиков будет передаваться по двум цифровым RS-485 интерфейсам через новое устанавливаемое в ТКУ-2 коммуникационное оборудование в УСПД, которое подключено к СОЕВ, обеспечивающей синхронизацию времени в АИИС КУЭ.

В данной работе в связи с установкой нового здания ЗРУ-10 кВ планируется выполнить реконструкцию измерительных каналов по всем присоединениям ЗРУ-10 кВ, с подключением счетчиков к «новым» ТТ и ТН шкафов ячеек ЗРУ-10 кВ, а также расширение существующей АИИС КУЭ в части подключения к УСПД новых точек учета.

Для учета электроэнергии в части вновь проектируемых ячеек ЗРУ -10 кВ предусматриваются микропроцессорные счётчики, осуществляющие коммерческий учет по вводам силовых АТ-2, Т-4 и по всем фидерам 10 кВ.

В результате реконструкции взаимодействие между счетчиками и УСПД останется неизменным, т.е. информация от счетчиков также будет передаваться по интерфейсам RS-485 через коммутационное оборудование в УСПД.

Информация АИИС КУЭ по проектируемому оборудованию ПС 220 кВ Белогорская будет передаваться по существующей каналу спутниковой связи (резервный канал) в ЦСОД АИИС КУЭ ПАО «ФСК ЕЭС».

Мероприятия по реконструкции каналов передачи данных в данной работе не предусматриваются.

Все оборудование, используемое в АИИС КУЭ, внесено в Госреестр средств измерений и отвечает требованиям ГОСТ.

Структурная схема АИИС КУЭ приведена на рисунке 9.

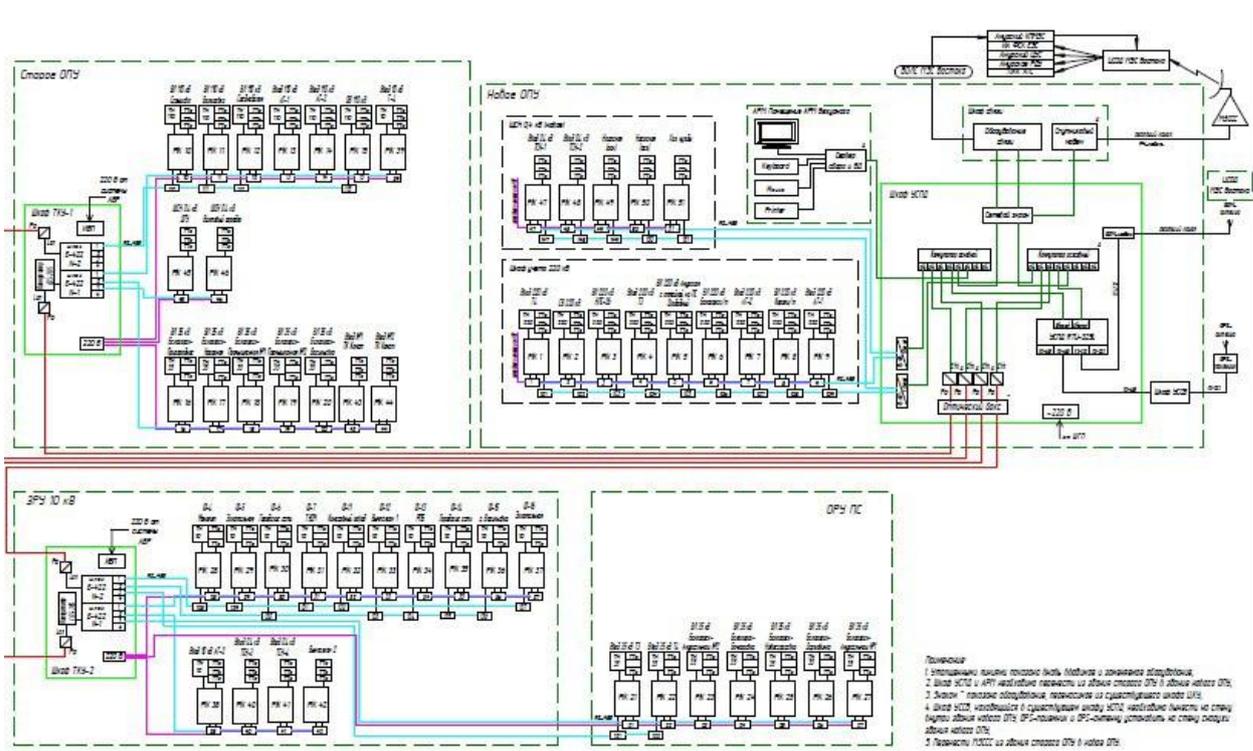


Рисунок 9 - Структурная схема АИИС КУЭ

1.3.11 Описание оборудования системы мониторинга и управления качеством электроэнергии (СМиУКЭ)

В настоящее время на ПС 220 кВ Белогорская запроектирована и реализуется СМиУКЭ. Реализация проекта в ближайшей перспективе.

Требуется «дооснастить» СМиУКЭ с установкой современных приборов контроля качества электроэнергии (ПКЭ) в шкафы ячеек вводов 10 кВ от «силового» трансформаторного оборудования с подключением к приборам ПКЭ измерительных цепей ТН-10 кВ для 1 и 2 секции шин ЗРУ-10 кВ для целей включения ПКЭ в общеподстанционную СМиУКЭ.

Структурная схема СМиУКЭ приведена на рисунке 10.

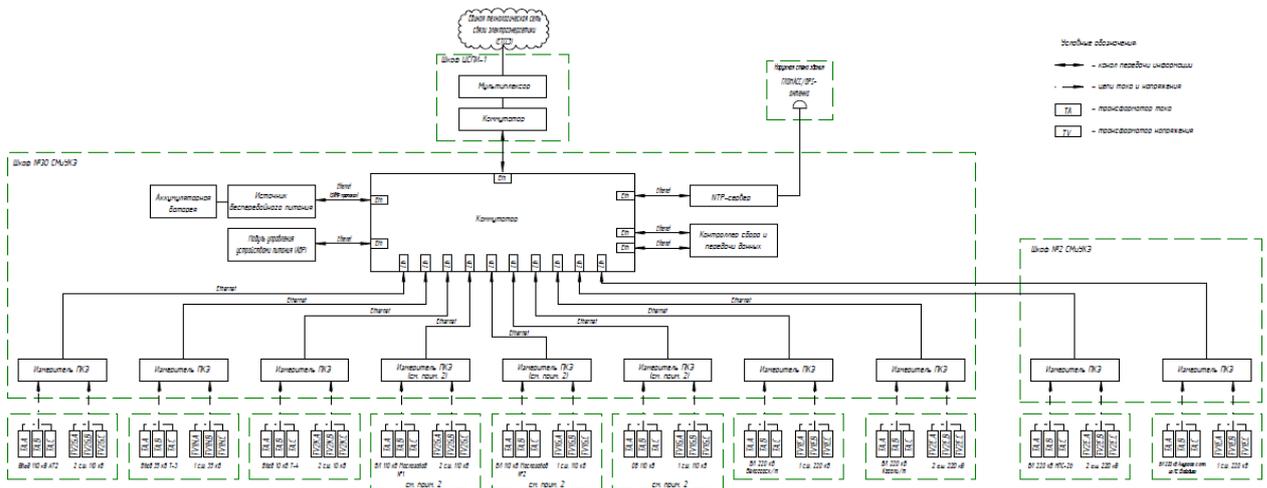


Рисунок 10 - Структурная схема СМиУКЭ

1.3.12 Оборудование систем связи

В настоящее время на ПС 220 кВ Белогорская функционирует оборудование связи для РЗА, ПА и средств диспетчерско-технологического управления (СДТУ) в направлении Филиала АО «СО ЕЭС» по существующим каналам связи и по каналам связи, реализуемым в рамках реализации других проектов на подстанции.

Модернизация систем связи в данной работе не рассматривается.

Выводы по разделу 1.

В ходе технического перевооружения, предусматривается реконструкция существующего здания ОПУ, строительство нового кирпичного здания закрытого распределительного устройства (ЗРУ-10 кВ).

Решения по электротехническому оборудованию.

В здании ЗРУ-10 кВ планируется к установке два ряда шкафов ячеек КРУ-10 кВ с целью организации 1-ой и 2-ой секции шин РУ-10 кВ (с общим количеством 28 шт.) и в следующем составе.

Для эффективного использования, в том числе в целях дистанционного управления (ДУ), а также размещения и использования в релейных отсеках микропроцессорной аппаратуры (МП) РЗА, АСУ ТП, АИИС КУЭ и РАС, предполагается установка новых современных шкафов ячеек 10 кВ с

вакуумными выключателями на выкатных элементах, которые позволяют осуществлять диспетчерское телеуправление (ТУ) выключателями, выкатными тележками выключателей и заземляющих ножей. Также предусматривается возможность управления выключателями 10 кВ шкафов ячеек, (кроме местного) с помощью отдельной панели управления на входе в ЗРУ-10 кВ, а также с АРМ оперативного персонала (ОП) при реализации дистанционного управления выключателями.

Решения по кабельному хозяйству.

Электропитание ЗРУ - 10 кВ предполагается выполнить от трансформаторов Т-3, Т-4 с сохранением дополнительного резервного питания от АТ-2 до окончания реконструкции ОРУ 220 кВ. Так же предполагается перезавод существующих кабельных линий КЛ-10 кВ потребителей в новое здание ЗРУ-10 кВ, существующие кабели потребителей 10 кВ с бумажно-масляной изоляцией предлагается заменить по всей длине в связи с их устаревшим типом. Необходимо предусмотреть и прокладку дополнительных кабельных коммуникаций в виде кабельных лотков и кабельных каналов по ОРУ ПС 220 кВ Белогорская, а также в здании ОПУ и нового ЗРУ-10 кВ как по существующим, так и вновь проектируемым кабельным эстакадам, и заглублённым коробам.

Решения по собственным нуждам, системам переменного и постоянного тока.

На ПС 220 кВ Белогорская предполагается реконструкция системы электроснабжения собственных нужд с подключением питания ЩСН-1 от ТСН-3(4), а нового ЩСН-2 от ТСН-1(2). ЩСН-1 получает питание непосредственно от ТСН-3(4), минуя шкафы ввода, установленные вблизи ТСН, данные шкафы демонтируются, нагрузки от них переводятся на ЩСН-1. В данной работе электропитание СН ЗРУ-10 кВ предполагается также от ЩСН-1. Также предусматривается перенос места расположения существующих трансформаторов собственных нужд ТСН-3, ТСН-4 (наименование изменяется на ТСН-1 и ТСН-2 соответственно) с их заменой на

трансформаторы с воздушной изоляцией в защитном кожухе с подключением к новому ЗРУ-10 кВ кабелем для обеспечения современных противопожарных расстояний от зданий до маслонаполненного оборудования.

Решения по освещению на подстанции.

Предполагается система освещения нового здания ЗРУ-10 кВ со светодиодными рабочими и аварийными светильниками, а также освещением входов в здание.

Решения по изоляции, защите от перенапряжений, заземлению.

Предполагается подключение ЗУ нового кирпичного здания ЗРУ-10 кВ к существующему ЗУ ПС Белогорская не менее чем в четырёх точках. Также предполагается заземление трасс вновь прокладываемых по ОРУ кабельных линий с подключением к существующему ЗУ.

Решения по установке нового силового оборудования.

В связи с тем, что нагрузка на стороне 10 кВ не возрастает, новое дополнительное силовое оборудование не предусматривается. Однако, для увеличения надёжности электроснабжения потребителей, предусматриваются дополнительные ячейки в ЗРУ-10 кВ для подключения по кольцевой схеме потребителей, не имеющих резерва в данный момент.

Решения по оборудованию и аппаратуре РЗА и ПА.

Состав оборудования защит и автоматики шкафов ячеек ЗРУ-10 кВ выполнить на микроэлектронной базе, по требованиям СТО 56947007-29.240.10.248-2017.

Количество трансформаторов тока и их вторичных цепей должно обеспечивать отдельное подключение средств РЗА, АИИС КУЭ и других измерений. Подключение устройств РЗА к вторичным обмоткам класса «Р» (для вводных ячеек устройства РЗА подключить к разным вторичным обмоткам с целью обеспечения надёжности резервирования и точности измерений), измерительных приборов к вторичным обмоткам класса «0,5» и АИИС КУЭ к вторичным обмоткам класса «0,5S».

Оснастить устройства релейной защиты и автоматики с поддержкой стандартных протоколов обмена (МЭК 61850), совместимых с АСУ ТП (ССПИ). «Устройства РЗА должны иметь русифицированные интерфейсы и программируемую логику как между различными функциями защиты, управления и контроля, входящими в состав устройств РЗА, так и между этими функциями и внешними устройствами защиты, управления и контроля» [29].

Для предотвращения неправильных действий с разъединителями, заземляющими ножами при переключении, предусмотреть электромагнитную блокировку ЗРУ-10 кВ с интеграцией в существующую систему оперативной блокировки.

Для отключения выключателей 10 кВ от АЧР (ОН) необходимо предусмотреть шинки отключения, с обязательной установкой ключа на всех присоединениях для оперативного вывода АЧР (ОН).

Решения по оборудованию и аппаратуре ССПИ, АСУ ТП, ССПТИ.

В связи с тем, что реализация реконструкции ОРУ 220 кВ предполагается позже данных работ, для ЗРУ-10 кВ предусматривается установка «автономных» шкафов ССПИ в составе шкафа объектных контроллеров и шкафа сетевых интерфейсов (ШСИ) для расширения локальной вычислительной сети (ЛВС) АСУ ТП, а также установка многофункциональных измерительных преобразователей во все шкафы ячеек ЗРУ-10 кВ для организации сбора телеинформации в общеподстанционную АСУ ТП.

Решения по оборудованию и аппаратуре АИИС КУЭ.

«На ПС 220 кВ Белогорская предполагается установка счётчиков электроэнергии в шкафах вводных ячеек от «силового» трансформаторного оборудования и по всем фидерам отходящих линий ЗРУ-10 кВ.

Автоматизированные информационно-измерительные системы коммерческого учета электрической энергии и мощности должны соответствовать требованиям Федерального Закона «Об обеспечении единства измерений». Метрологические характеристики АИИС КУЭ должны

подтверждаться Свидетельством об утверждении типа средства измерений на основании проведенных испытаний уполномоченными органами Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии (в соответствии с действующими нормативными документами).

Сбор, обработка, хранение и передача информации об электроэнергии на объектах должна осуществляться с помощью метрологически аттестованных, защищенных от несанкционированного доступа и сертифицированных для коммерческих расчетов УСПД.

Структура построения АИИС КУЭ и состав примененных технических средств, должны обеспечивать автоматический информационный обмен на электронном уровне между субъектами в согласованных форматах и в соответствии с техническими требованиями, предусмотренными Договором о присоединении к торговой системе ОРЭ» [9].

Решения по оборудованию и аппаратуре СМиУКЭ.

На ПС 220 кВ Белогорская предполагается установка приборов контроля качества электроэнергии (ПКЭ) в шкафы ячеек вводов 10 кВ от «силового» трансформаторного оборудования с подключением к приборам ПКЭ измерительных цепей ТН-10 кВ для 1 и 2 секции шин ЗРУ-10 кВ.

Решения по оборудованию и аппаратуре систем связи.

В рамках технического перевооружения оборудования ЗРУ-10 кВ ПС 220 кВ Белогорская изменение инфраструктуры оборудования систем связи не планируется.

2 Техническое обеспечение перевооружения ПС 220 кВ в части замены ЗРУ-10 кВ

2.1 Система электроснабжения

2.1.1 Исходные данные

Подстанция введена в эксплуатацию в 1972 году. «В настоящее время на ПС 220 кВ Белогорская установлено два автотрансформатора АТ-1 и АТ-2 напряжением 220/110/10 кВ мощностью 63 МВА каждый и два трехобмоточных трансформатора Т-3, Т-4 напряжением 220/35/10 кВ мощностью 40 МВА каждый» [4]. Максимальная нагрузка ПС 220 кВ Белогорская по контрольному замеру, предоставленному эксплуатирующей ПС организацией составила – 92,2 МВА (87,8+J27,1).

Подстанция подключена к энергосистеме ответвлениями от ВЛ 220 кВ Амурская – Белогорская с отпайками и от ВЛ 220 кВ Амурская – Короли с отпайкой на ПС Белогорская. Для надежного электроснабжения существующих потребителей и подключения новых потребителей Белогорского района, ПС 220 кВ Белогорская реконструируется в части изменения схемы ОРУ 220 кВ и присоединения подстанции к ВЛ 220 кВ Амурская – Белогорская с отпайками и от ВЛ 220 кВ Амурская – Короли с отпайкой на ПС Белогорская в рассечку данных линий.

Существующее закрытое распределительное устройство 10 кВ выполнено по нетиповой схеме 10-1 «Одна рабочая, секционированная разъединителем, система шин с дополнительной секцией для подключения шинных аппаратов». ЗРУ-10 кВ по существующей схеме запитано кабельными линиями от Т-3 и АТ-2, электроснабжение ЗРУ -10 кВ от АТ-2 является резервным, выключатель со стороны ЗРУ-10 кВ отключен. Все потребители ЗРУ-10 кВ запитаны от Т-3. Электроснабжение потребителей по сети 10 кВ осуществляется десятью кабельными линиями, одна ячейка резервная.

После реконструкции ЗРУ -10 кВ электроснабжение потребителей 10 кВ будет осуществляться от Т-3, Т-4, в качестве резервного питания на время реконструкции предлагается сохранить питание от АТ-2. После реконструкции связь ЗРУ-10 кВ – АТ-2 демонтируется. Максимальная нагрузка кабельной линии, при отключении одного из трансформаторов Т-3 (Т-4) составит 281 А (2,8+J3,6).

Токи трехфазного короткого замыкания на шинах ЗРУ-10 кВ составляют: I СШ ЗРУ-10 кВ – 16,1 кА, II СШ ЗРУ-10 кВ – 9,15 кА.

Схема присоединения ПС 220 кВ Белогорская к сетям энергосистемы приведена на рисунке 11.

Результаты расчета нормального и послеаварийного режимов работы приведены на рисунке 12.

2.1.2 Система электроснабжения ПС 220 кВ Белогорская

Технические решения по реконструкции приняты в соответствии с требованиями норм, правил, инструкций и государственных стандартов, действующих на территории Российской Федерации.

В данной работе предусмотрено:

- реконструкция ЗРУ-10 кВ ПС 220 кВ Белогорская с установкой нового здания ЗРУ- 10 кВ на месте существующей мастерской, количество ячеек – 28 шт.;
- ЗРУ 10 кВ принято по схеме 10-1 «Одна, секционированная выключателем, система шин» с дополнительным временным питанием от автотрансформатора АТ-2 на время реконструкции [11].

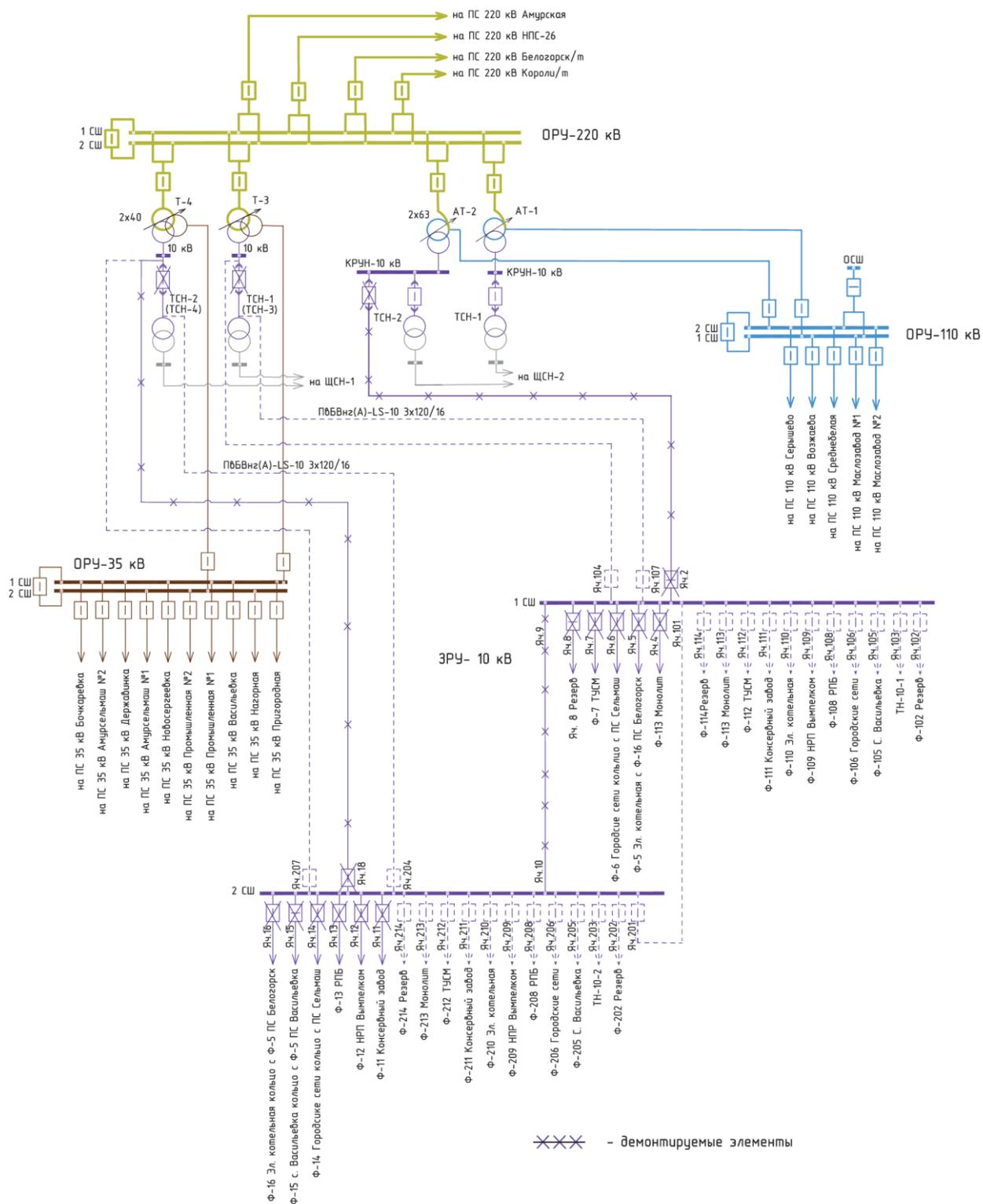
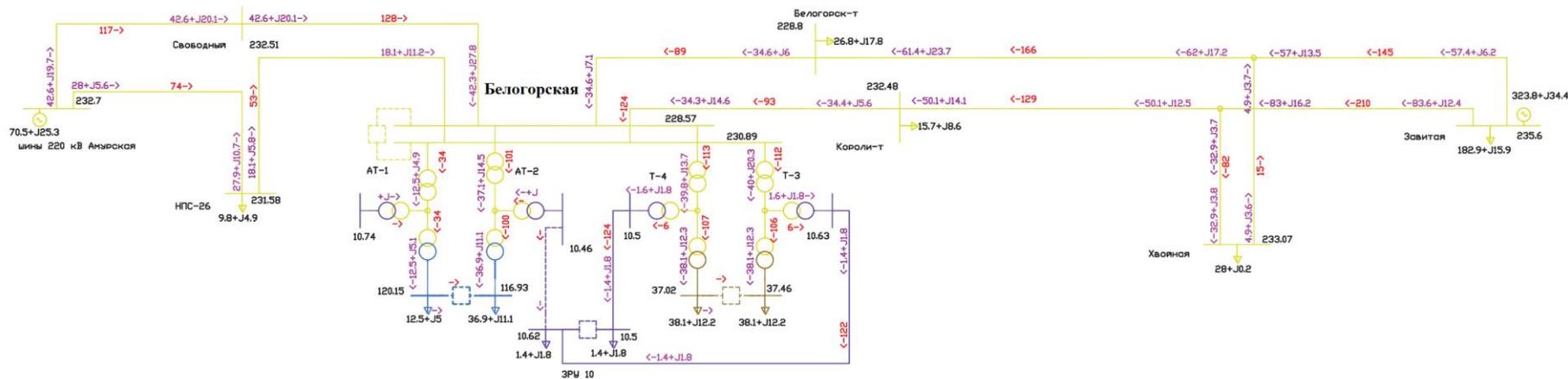


Рисунок 11 - Схема присоединения ПС 220 кВ Белогорская к сетям энергосистемы

Нормальный режим



Послеаварийный режим. Отключение трансформатора Т-3

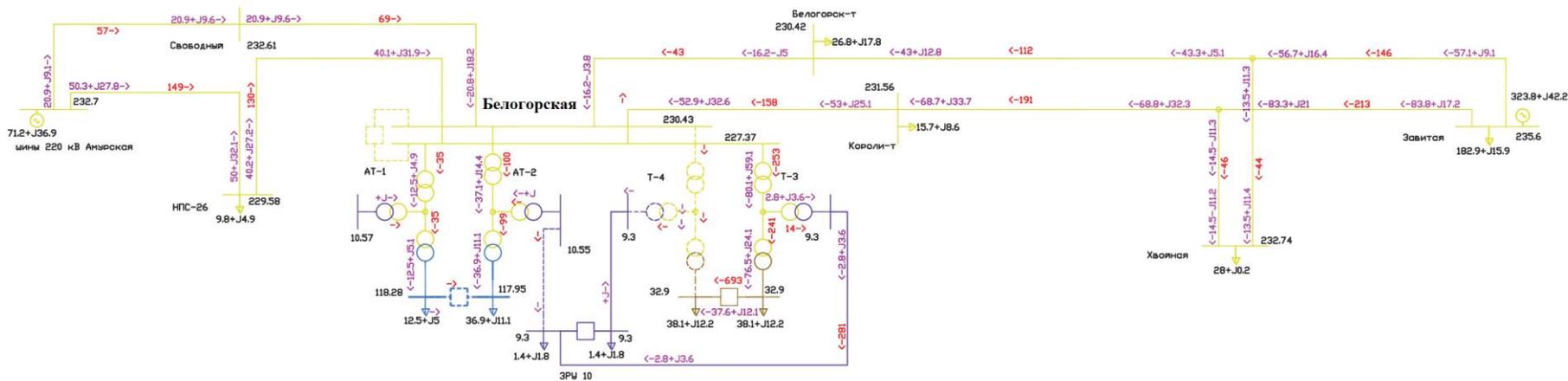


Рисунок 12 - Результаты расчета нормального и послеаварийного режимов работы

2.2 Характеристика источников электроснабжения и расчет электрических нагрузок

В данной работе рассматривается установка следующего оборудования на ПС:

- 28 ячеек КРУ-10 кВ в новом кирпичном здании, устанавливаемом на месте существующей мастерской;
- литых изолированных токопроводов 10 кВ для связей между ЗРУ-10 кВ и трансформаторами Т3, Т4;
- двух сухих трансформаторов собственных нужд 10/0,4 кВ мощностью 630 кВА взамен существующих ТСН-3, ТСН-4;
- организация заземления, молниезащиты и собственных нужд ЗРУ-10 кВ.

В рамках реконструкции предусматривается демонтаж шинных аппаратов (выключателей и части ошиновки), установленных на стороне 10 кВ трансформаторов Т-3, Т-4 на открытой части подстанции. Также предусматривается перенос места расположения существующих трансформаторов собственных нужд ТСН-3, ТСН-4 (наименование изменяется на ТСН-1 и ТСН-2 соответственно) с их заменой на трансформаторы с воздушной изоляцией в защитном кожухе с подключением к новому ЗРУ-10 кВ кабелем. Решение о замене существующих масляных трансформаторов аналогами с воздушной изоляцией принято на основании необходимости соблюдения современных норм противопожарной безопасности (расстояние 24 м от проектируемого ЗРУ-10 кВ и существующего ОПУ до маслонаполненного оборудования, п.4.2.68 ПУЭ [12]) а также необходимости организации маслоприёмных ям при переносе существующих маслонаполненных трансформаторов (количество масла в трансформаторе типа ТМ-630/10 более 1000 кг). Вновь устанавливаемые трансформаторы по своим техническим характеристикам (номинальные напряжения ВН/НН, диапазон регулирования ПБВ, мощность, потери КЗ и ХХ

и т.д.) должны полностью соответствовать существующим заменяемым ТСН-3,4 для исключения неравномерности загрузки и неправильной совместной работы трансформаторов ТСН-1,2,3,4.

Расчет нагрузок от вновь устанавливаемых ЭП собственных нужд приведен в таблице 2.

Таблица 2 - Расчет нагрузок от вновь устанавливаемых ЭП собственных нужд

Наименование электроприемника	P, кВт	cos φ	tgφ	Расчетные нагрузки							
				Летом				Зимой			
				к _с	P, кВт	Q, кВАр	S, кВА	к _с	P, кВт	Q, кВАр	S, кВА
Освещение рабочее	0,416	0,95	0,33	1	0,42	0,14	0,44	1	0,42	0,14	0,44
Освещение аварийное	0,168	0,95	0,33	1	0,17	0,06	0,18	1	0,17	0,06	0,18
Обогрев	10	0,98	0,20	0,2	2,00	0,41	2,04	1	10,00	2,03	10,20
Розеточная сеть 220 В	4,5	0,85	0,62	0,5	2,25	1,39	2,65	0,5	2,25	1,39	2,65
Розеточная сеть 0,42 В	0,15	0,85	0,62	0,3	0,05	0,03	0,05	0,3	0,05	0,03	0,05
Вентиляция	5	0,85	0,62	1	5,00	3,10	5,88	0,5	2,50	1,55	2,94
Кондиционирование	25	0,85	0,62	1	25,00	15,49	29,41	0,5	12,50	7,75	14,71
Шкафы тепловой защиты ТСН-1, ТСН-2	3,00	0,85	0,62	1	3,00	1,86	3,53	0,5	1,50	0,93	1,76
Шкаф ТКУ-2	0,12	1	0,00	1	0,12	0,00	0,12	1	0,12	0,00	0,12
Шкаф охранной сигнализации	0,20	1	0,00	1	0,20	0,00	0,20	1	0,20	0,00	0,20
Шкаф пожарной сигнализации	0,20	1	0,00	1	0,20	0,00	0,20	1	0,20	0,00	0,20
Итого	48,75	-	-	-	38,40	22,47	44,49	-	29,90	13,87	32,96

Нагрузка на оставшийся в работе ТСН-3(4), при отключении ТСН-4(3) соответственно, составит 202,9 кВа.

При реконструкции, с учётом отключения нагрузок демонтируемого ЗРУ-10 кВ и мастерской РЗА, увеличение нагрузки на систему собственных нужд составит 30,7 кВт.

Таким образом, после реконструкции, нагрузка на оставшийся в работе ТСН-3(4) составит 233,6 кВт, а загрузка 37%. Увеличения мощности трансформаторов собственных нужд не требуется.

2.3 Выбор решений по обеспечению электроэнергией электроприемников в рабочем и аварийном режимах

На ПС 220 кВ Белогорская предполагается реконструкция системы электроснабжения собственных нужд в следующем объёме:

- строительство нового здания ОПУ-2 с собственным ЩСН-2, который будет получать питание от ТСН-1,2, которые, в свою очередь, получают питание от АТ-1,2;
- существующий ЩСН-1 предполагается оставить в существующем ОПУ-1, часть нагрузок при этом переводится на ЩСН-2;
- ЩСН-1 получает питание непосредственно от ТСН-3,4 кабелем 2хВВГЭнг(А)-LS 4×240, существующие шкафы ввода 0,4 кВ, установленные вблизи ТСН-3,4, демонтируются;
- подключенные к данным шкафам ввода 0,4 кВ нагрузки (охлаждение Т-3,4, собственные нужды мастерской РЗА и т.д.) переводятся на ЩСН-1.

В данной работе при разработке проектных решений учтены приведённые выше изменения. Схема нового ЩСН-2 приведена на рисунке 13.

Шины ЩСН-1 секционируются нормально отключенными автоматическими выключателями с устройством АВР. В нормальном режиме работы первая секция ЩСН- 1 получает питание от трансформатора собственных нужд ТСН-3, вторая от ТСН-4. При исчезновении напряжения на одной из секций шин срабатывает устройство АВР и переводит нагрузку отключённой секции на рабочую секцию ЩСН.

Для электроснабжения особой группы электроприемников первой категории (охранно-пожарная сигнализация, аварийное освещение), в соответствии с действующими нормами, предусматриваются источники бесперебойного питания (ИБП), которые при потере питания от сети СН обеспечивают автоматическое переключение на аккумуляторную батарею, поставляемую в составе ИБП.

К электроприёмникам второй категории относятся отопление и общеобменная вентиляция здания ЗРУ-10 кВ. В нормальном режиме распределительные пункты и шкафы управления данных устройств обеспечиваются электроэнергией от разных секций ЩСН с перерывом их электроснабжения, при нарушении электроснабжения от одного из источников питания, лишь на время автоматического восстановления питания.

К третьей категории относится рабочее освещение здания ЗРУ-10 кВ.

На ПС 220 кВ Белогорская в нормальном режиме электроснабжение ЗРУ-10 кВ осуществляется от силовых трансформаторов Т3, Т4. При выходе из строя одного из них, электроснабжение предусмотрено от оставшегося в работе силового трансформатора. Также предусматривается дополнительное питание от автотрансформатора АТ-2 на время реконструкции.

Для питания потребителей в аварийных режимах схемой электрических соединений предусматривается секционирование распределительных устройств.

2.4 Выбор и проверка основного оборудования

Выбор и проверка оборудования осуществляются согласно РД 153-34.0-20.527-98 и СТО 56947007- 29.240.10.248-2017 «Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ».

Максимальные рабочие токи в цепях трансформатора определены с учетом п.7.15 СТО 56947007- 29.240.10.248-2017 («Для трехобмоточных Т в цепях СН и НН выбор оборудования и ошиновки следует производить по току перспективной нагрузки с учетом отключения второго Т»).

Токи короткого замыкания на расчетный период 2020 г. и 2027 г. составляют:

- 10 кВ трехфазный СШ 1– 16,096 кА;
- 10 кВ трехфазный СШ 2– 9,151 кА.

Максимальные токи на шинах при отключении одного трансформатора:

- 10 кВ – 281 А.

«В настоящей работе основное оборудование ПС 220 кВ Белогорская выбрано по номинальному напряжению присоединений, максимальному длительному току, по отключающей способности и стойкости к токам короткого замыкания, учтена температура наружного воздуха, степень загрязнения атмосферы и сейсмичность площадки.

Ошиновка выбрана по максимальному длительному току присоединений, по стойкости к токам трехфазного короткого замыкания.

При выборе оборудования и ошиновки учтены нормальные эксплуатационные, аварийные режимы, а также перегрузочная способность оборудования» [2].

При выборе трансформаторов собственных нужд учитывалась в том числе возможность параллельной работы с остающимся в эксплуатации ТСН-2.

2.4.1 Выбор ошиновки 10 кВ

Согласно [10] выбор токопроводов с литой изоляцией производится по следующим параметрам:

- «тока электродинамической стойкости i_d или его кратности K_d по отношению к амплитуде номинального тока;
- тока термической стойкости I_m или его кратности K_m по отношению к номинальному току;
- времени протекания тока термической стойкости t_k , 1 и 3 с» [10].

Расчёт и выбор проводников приведён в таблице 3.

Таблица 3 - Расчёт и выбор проводников

Место установки	Расчетные данные				Нормируемые параметры, не менее			
	I_p , А	I'' , кА	i_y , кА	$I'' \cdot \sqrt{t_a}$, кА· $\sqrt{сек}$	$I_{ном}$, А	$I_{0ном}$, кА	i_d , кА	$I_T \cdot \sqrt{t_m}$, кА· $\sqrt{сек}$
Токопровод 10 кВ связей ЗРУ-10 кВ – Т-3(4)								
ОРУ-10 кВ	281	16,096	$16,096 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,85 = 42,11$	$16,096 \cdot \sqrt{0,06} = 3,94$	1600	40	102	$40 \cdot \sqrt{3} = 69,28$
Кабель временной связи ЗРУ-10 кВ – АТ-2 ПвБВнг(А)-LS-10 3×150/25								
ОРУ-10 кВ	281	16,096	$16,096 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,85 = 42,11$	$16,096 \cdot \sqrt{0,06} = 3,94$	$483 \cdot 0,83 = 400,89$	21,5	-	$21,5 \cdot \sqrt{3} = 37,2$
Кабель связи ЗРУ-10 кВ – ТСН-1(2) ПвБВнг(А)-LS-10 3×150/25								
ОРУ-10 кВ	51	16,096	$16,096 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,85 = 42,11$	$16,096 \cdot \sqrt{0,06} = 3,94$	$483 \cdot 0,83 = 400,89$	21,5	-	$21,5 \cdot \sqrt{3} = 37,2$
Кабель связи ЗРУ-10 кВ – ЩСН-1 2хВВГЭнг(А)-LS 4×240								
ЗРУ-10 кВ	295	10,7	$10,7 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,85 = 27,9$	$10,7 \cdot \sqrt{0,06} = 2,62$	$2 \cdot 439 \cdot 0,83 = 728,7$	26,8	-	$26,8 \cdot \sqrt{3} = 46,4$

2.4.2 Выбор оборудования 10 кВ

К установке на ПС 220 кВ Белогорская принимаются:

- ячейки 10 кВ в здании ЗРУ-6.

В таблице 4 представлена проверка устанавливаемого оборудования на отключающую способность, термическую и динамическую стойкости.

Таблица 4 - Проверка устанавливаемого оборудования

Место установк и	Расчетные данные				Нормируемые параметры, не менее			
	I_p , А	I'' , кА	i_y , кА	$I'' \cdot \sqrt{t_a}$, кА· $\sqrt{сек}$	$I_{ном}$, А	$I_{0ном}$, кА	i_d , кА	$I_T \cdot \sqrt{t_m}$, кА· $\sqrt{сек}$
Выключатели								
ЗРУ-10 кВ	281	16,096	$16,096 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,85 = 42,11$	$16,096 \cdot \sqrt{0,06} = 3,94$	1000-ОЛ 1250- Ввод, МСВ	31,5	80	$31,5 \cdot \sqrt{3} = 54,56$
Трансформаторы тока								
ЗРУ-10 кВ	281	16,096	$16,096 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,85 = 42,11$	$16,096 \cdot \sqrt{0,06} = 3,94$	-	-	64	$40 \cdot \sqrt{1} = 40$

В таблице использованы следующие обозначения:

- I_p - расчетный длительный ток присоединения (А);
- I'' - ток короткого замыкания (кА);
- « i_y – ударный ток короткого замыкания (кА);
- t_a – время протекания тока термической стойкости (кА);
- $I_{ном}$ - номинальный ток аппарата (А);
- $I_{0ном}$ - ток отключения аппарата (кА);
- i_d – ток динамической стойкости (кА);
- I_T – ток термической стойкости (кА);
- t_T – время протекания тока термической стойкости» [10].

Перечень выбранного оборудования представлен в таблице 5.

Таблица 5 – Перечень выбранного оборудования

Наименование оборудования	Ед. изм	Колич.
Оборудование 10 кВ		
Ячейки 10 кВ в составе: вводные – 3 шт., СВ – 1 шт., СР – 1 шт., линейные – 21 шт. (в т.ч. 2 шт.- ТСН, 3 шт. – резерв), трансформаторы напряжения – 2 шт.	шт.	28
ТСН 10/0,4 кВ 630 кВА с воздушной изоляцией в защитном кожухе, климатической исполнение ХЛ1.	компл.	2
Токопровод комплектный литой $U_{ном}=10$ кВ, $I_{ном}=1600$ А, климатическое исполнение ХЛ1.	м.	55

2.4.3 Условия окружающей среды

Выбор технических характеристик основного оборудования выполняется с учётом:

- климатических условий;
- токов короткого замыкания;
- максимальных режимов и перетоков.

Параметры оборудования наружной установки должны удовлетворять условиям окружающей среды, приведённым в таблице 6.

Таблица 6 – Условия окружающей среды

Температура воздуха:	-
- абсолютная минимальная	минус 48,0 °С
- абсолютная максимальная	40,0 °С
- среднегодовая	0,3 °С
- средняя наиболее холодной пятидневки	минус 41,0 °С
- средняя наиболее холодных суток	минус 43,0 °С
- зимняя вентиляционная	минус 29,5 °С
Скорость ветра:	III район
- возможная 1 раз в 25 лет с 10 минутным интервалом осреднения на высоте 10 метров (согласно ПУЭ изд. 7)	32 м/с
- возможная 1 раз в 5 лет с 10 минутным интервалом осреднения на высоте 10 метров (согласно СНиП 2.01.07-85)	22 м/с
Толщина стенки гололеда:	III район
- повторяемостью 1 раз в 25 лет плотностью 0,9 г/см ³ на высоте 10 метров (согласно ПУЭ изд. 7)	20 мм
- повторяемостью 1 раз в 5 лет плотностью 0,9 г/см ³ на высоте 10 метров (согласно ПУЭ изд. 7)	10 мм
Степень загрязнённости атмосферы	II

В соответствии с письмом ПАО «ФСК ЕЭС» №ЧА/29/11 от 12.02.2009 г. «О рекомендациях по применению высоковольтного оборудования в холодной климатической зоне РФ» значение средней из ежегодных абсолютно минимальных температур воздуха округляется до 45,0 °С. В связи с этим открыто устанавливаемое оборудование принимается исполнением ХЛ1 по ГОСТ 15543.1-89, ГОСТ 15150-69.

Подстанция размещается в районе, не попадающем в зону влияния промышленных и природных источников загрязнения. В соответствии с ГОСТ 9920-89 и таблицей 1.9.1 ПУЭ изд.7 для II степени загрязнённости атмосферы и оборудования 10 кВ принята удельная длина пути утечки не менее 2,35 см/кВ.

Сейсмичность района площадки ПС согласно карте сейсмического районирования России ОСР-97-В, составляет 6 баллов.

2.4.4 Организация питания собственных нужд 0,4 кВ

На реконструируемой подстанции предполагаются потребители электроэнергии на переменном токе напряжением 220 и 380 В и на постоянном токе напряжением 220 В.

В соответствии с требованиями п. 4.4 СТО 56947007-29.240.10.248-2017 [19] для питания потребителей на переменном токе установлены два щита собственных нужд и четыре трансформатора собственных нужд (ТСН), подключенных к разным выводам низкого напряжения 10 кВ разных силовых трансформаторов.

В соответствии с п. 9.1.12 СТО 56947007-29.240.10.248-2017 [19] ТСН присоединяются к разным источникам питания через выключатели.

В соответствии с требованиями п. 9.1.2 рекомендаций по технологическому проектированию [19] от сети собственных нужд питание сторонних потребителей не допускается.

Расчётная мощность электроприемников проектируемого ЗРУ-10 кВ и ТСН составляет 44,49 кВА в летний сезон.

«В соответствии с требованиями п. 9.1.8 СТО 56947007-29.240.10.248-2017 мощность трансформаторов собственных нужд определяется нагрузками в разных режимах работы подстанции с учетом коэффициентов одновременности их загрузки и перегрузочной способности трансформатора.

Мощность трансформаторов выбрана в соответствии с нагрузками в максимальном режиме работы подстанции» [28]. На основании расчетов увеличение мощности существующих трансформаторов собственных нужд не требуется.

Сеть собственных нужд (СН) переменного тока ЗРУ-10 кВ в соответствии с разделом 1.7 ПУЭ [12] принята с заземленной нейтралью.

Питание собственных нужд ЗРУ-10 кВ и охлаждения ТСН-1,2 осуществляется от существующего щита СН переменного тока ЩСН-1 380/220 В, установленного в ОПУ-1.

Принципиальная схема питания сети собственных нужд ЗРУ-10 кВ показана на рисунке 14.

На рисунке 15 приведена схема сети аварийного освещения ЗРУ-10 кВ.

По результатам расчёта нагрузок на трансформаторы собственных нужд, увеличения мощности трансформаторов собственных нужд ПС 220 кВ Белогорская не требуется.

Электропотребителями собственных нужд напряжением 0,4 кВ на ПС являются:

- собственные нужды ЗРУ-10 кВ (отопление, освещение, цепи питания охранно-пожарной сигнализации, вентиляция);
- цепи питания вентиляторов охлаждения ТСН-1, ТСН-2.

Предусмотрено отключение общеобменной вентиляции ЗРУ-10 кВ при пожаре. Автоматические выключатели системы электропитания вентиляции выполнены с дистанционным расцепителем, сигнал подаётся от контрольно-пускового блока.

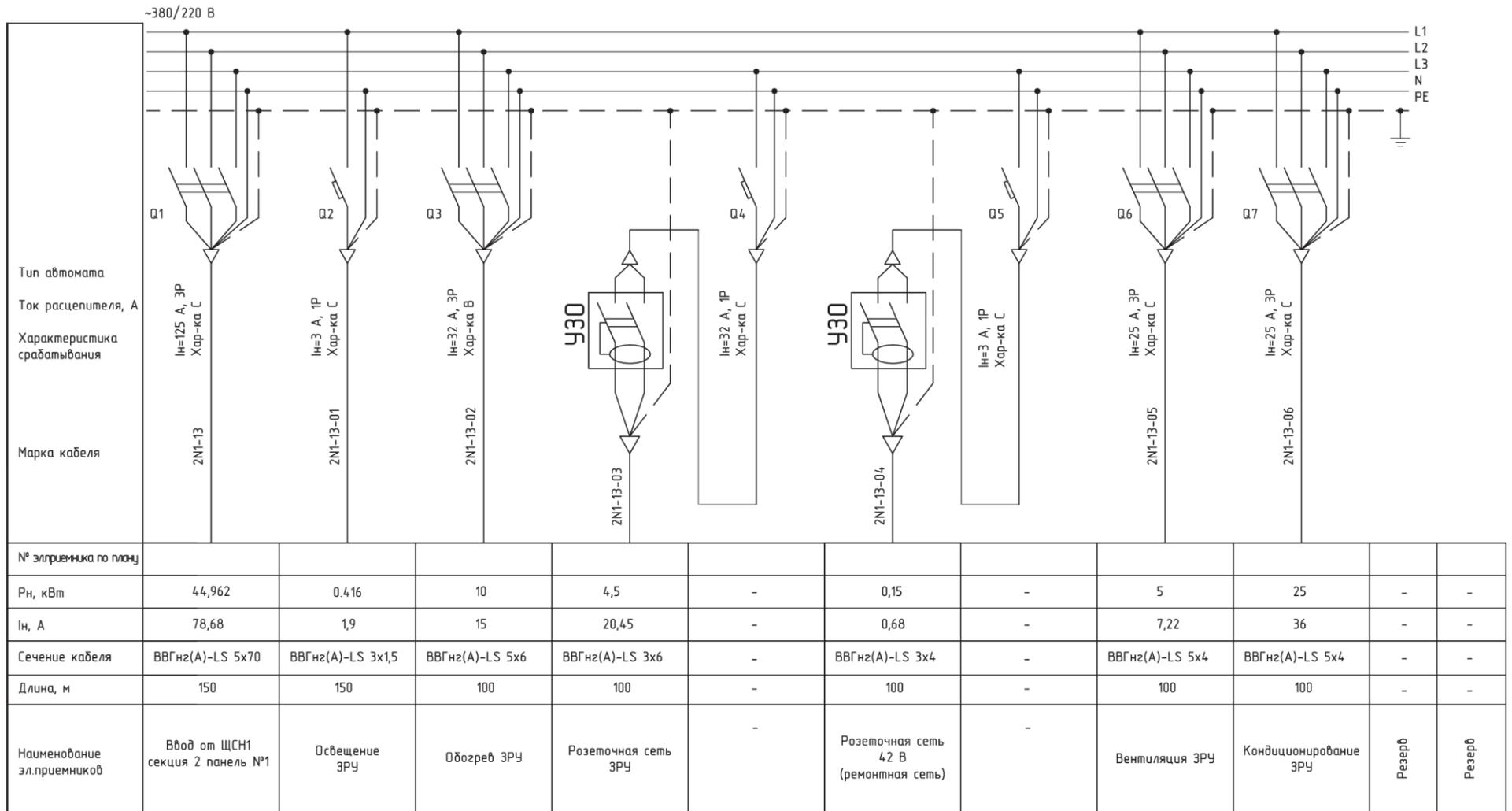


Рисунок 14 - Принципиальная схема питания сети собственных нужд ЗРУ-10 кВ

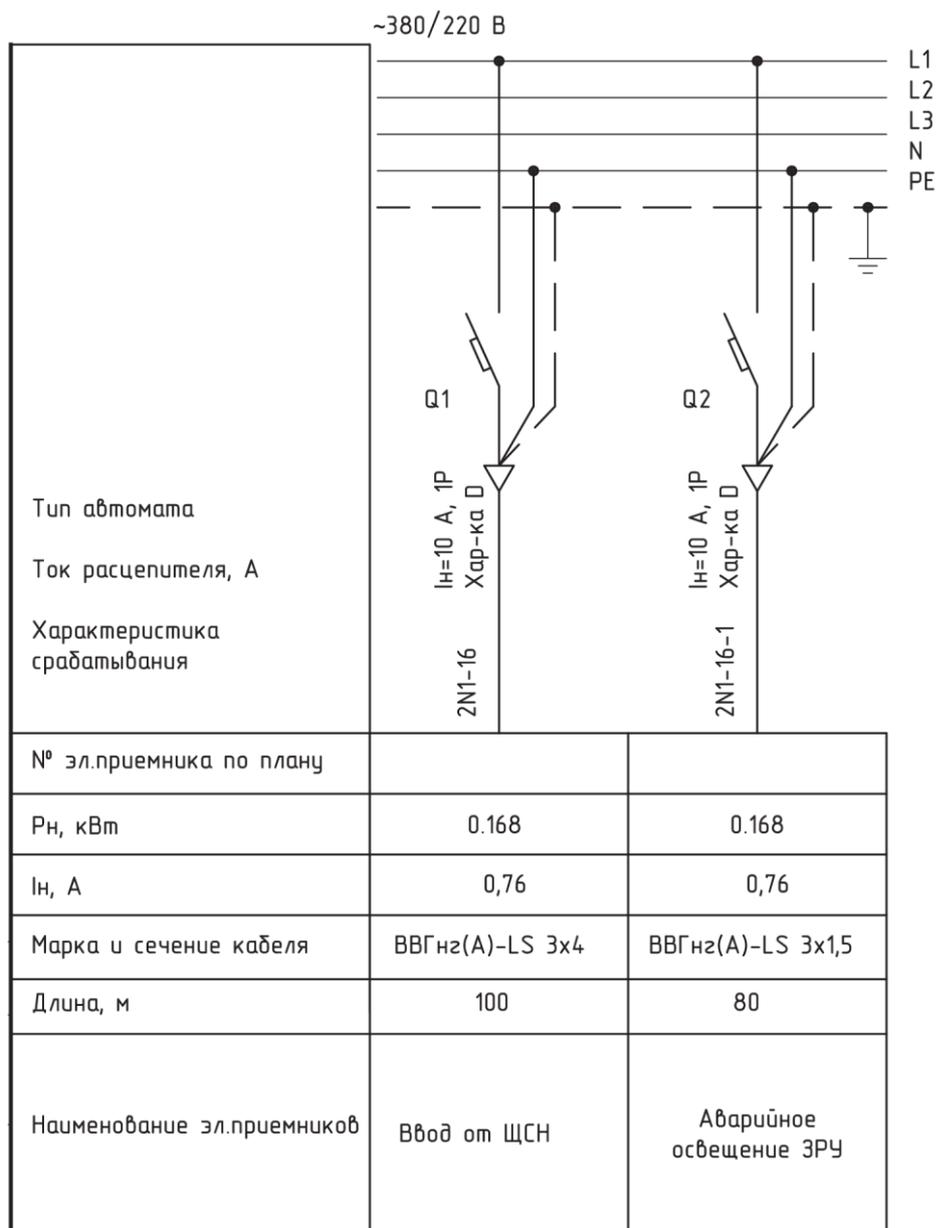


Рисунок 15 - Схема сети аварийного освещения ЗРУ-10 кВ

Произведен выбор автоматических выключателей по номинальным параметрам, проверка на термическую и динамическую стойкость в соответствии со значениями токов короткого замыкания. Выбранные автоматические выключатели обеспечивают требования по селективности при срабатывании.

В существующей системе собственных нужд переменного тока используется двухуровневая система защиты: верхний уровень – на ЩСН и нижний уровень – на присоединении.

«На существующем ЩСН предусмотрены следующие устройства управления, сигнализации и контроля:

- автоматический ввод резерва на секционном (вводном) выключателе;
- контроль напряжения на шинах переменного тока с выдачей сигнала о его повышении и понижении» [1];
- контроль тока разных фаз на шинах переменного тока с подачей сигналов в регистратор аварийных событий.

2.4.5 Кабельное хозяйство

При прокладке кабельных линий в ОРУ-10 кВ приняты кабели с изоляцией, не распространяющие горение согласно СТО 34.01-27.3-002-2014 [15] и ГОСТ 31565- 2012 [5].

Сечение кабелей выбрано по условиям нормального режима и проверено на термическую стойкость и невозгорание по условиям аварийного режима с учетом выбранных уставок защитных коммутационных аппаратов.

Силовые и контрольные кабели по территории подстанции прокладываются в разных наземных железобетонных лотках с крышками.

В здании ОПУ, ЗРУ 10 кВ кабели прокладываются по разным кабельным конструкциям, по стенам в разных кабель-каналах заводской поставки.

По кабельным трассам предусмотрен запас ёмкости порядка 15% от количества, предусмотренного на расчётный период, для дополнительной прокладки.

При проходе кабелей через стены ОПУ, ЗРУ 10 кВ, а также на ответвлениях кабельных трасс предусматриваются огнестойкие уплотнения с пределом огнестойкости не менее EI45.

В соответствии с СТО 34.01-27.3-002-2014 [15] взаиморезервируемые кабели прокладываются по разным кабельным конструкциям.

По территории ОРУ кабели прокладываются в наземных лотках из сборного железобетона. Предусмотрена отдельная прокладка силовых, контрольных и взаиморезервируемых кабелей.

Подъемы кабелей из наземных лотков выполняются в металлических коробах или в металлорукавах.

Для постоянного перекрытия наземных кабельных лотков предусмотрены негорючие плиты. В кабельных лотках предусмотрены уплотнения через каждые 50 м по длине, с пределом огнестойкости не менее EI 45. «В местах прохода кабелей через строительные конструкции предусмотрено их уплотнение негорючими материалами до обеспечения предела огнестойкости не менее EI 45» [27].

В соответствии с СТО 34.01-27.3-002-2014 (ВНПБ 29-14) по проектированию противопожарной защиты объектов электросетевого комплекса ОАО «Россети» [15], а также в соответствии с НТП ПС [19] все кабели предусмотрены с изоляцией, не распространяющей горение, с индексом «нг(А)- FRLS». В соответствии с циркуляром РАО «ЕЭС России» [23] все вновь прокладываемые силовые кабели сети 0,4 кВ проверены на не возгорание при действии тока КЗ. Кабели систем охранной и пожарной сигнализации применены с индексом «нг(А)- FRLS-LTx».

«При проектировании кабельного хозяйства и заземляющего устройства ПС учтены требования «Методические указания по защите вторичных цепей электрических станций и подстанций от импульсных помех» СТО 56947007-29.240.044-2010 [18] и «Руководство по обеспечению электромагнитной совместимости вторичного оборудования и систем связи электросетевых объектов» СТО 56947007-29.240.043-2010» [21].

2.5 Определение параметров системы рабочего, охранного и аварийного освещения

«На проектируемой подстанции по своему назначению предусмотрены следующие виды освещения:

- рабочее освещение (внутреннее освещение здания ЗРУ-10 кВ);
- аварийное освещение» [24] (освещение над выходами из здания ЗРУ-10 кВ);

Освещение ЗРУ-10 кВ разработано в соответствии разделом 6 ПУЭ издания 7 [12] и СП 52.13330.2011 [14].

Освещение трансформаторов собственных нужд выполняется существующей системой освещения и не требует реконструкции.

Внутреннее освещение помещений здания ЗРУ-10 кВ выполнено светильниками с энергосберегающими светодиодными лампами. Управление освещением в помещении панелей здания ЗРУ-10 кВ предусматривается от каждого входа.

Для выполнения производственно-ремонтных работ в ЗРУ-10 кВ предусматривается сеть ремонтного (переносного) освещения. «Питание светильников ремонтного освещения в соответствии с п. 6.1.17 ПУЭ издание 7 предусмотрено на напряжении 12 В» [12]. Для подключения переносных светильников ремонтного освещения предусмотрена установка ящиков с понижающими разделительными трансформаторами типа ОСО-0,25 220/12.

Аварийное освещение помещений ЗРУ-10 кВ предусмотрено на случай нарушения питания основного (рабочего) освещения.

Исполнение осветительных приборов принято с учетом их светораспределения, условий эксплуатации, высоты установки освещаемого оборудования и обеспечения нормируемой освещенности на рабочих местах.

Питающий кабель для освещения здания ЗРУ-10 кВ прокладывается от ЩСН 380/220 В по существующим кабельным каналам ОПУ до щитка

освещения здания ЗРУ-10 кВ. Кабели групповой сети освещения в здании ЗРУ-10 кВ прокладываются открыто в кабель-каналах по стенам.

Питание электроприемников освещения выполняется от сети 380/220 В с системой заземления TN-S. Время автоматического отключения питания в сетях освещения соответствует требованиям ПУЭ [12]. Для защиты групповых линий в здании ЗРУ-10 кВ, питающих штепсельные розетки, предусматриваются устройства защитного отключения (УЗО). Сеть освещения выполняется кабелями не распространяющие горение с низким дымо- и газовыделением (индекс нг(А)-LS).

Нормы освещенности в помещениях ЗРУ-10 кВ приняты согласно СП 52.13330.2011 [14] и приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Нормы освещенности в помещениях ЗРУ-10 кВ

Наименование помещений и открытой части	Нормы освещенности, лк
Помещение ЗРУ	200

«В соответствии с п. 6.1.13 ПУЭ издание 7 напряжение питания осветительных приборов внутреннего освещения принято 220 В переменного тока» [12].

Типы осветительных приборов приняты с учетом светораспределения, условий эксплуатации, высоты установки освещаемого оборудования. Расчет освещения ПС выполнен в программном комплексе DIALux фирмы «DIAL GmbH» Германия.

Местное освещение предусмотрено на рабочих местах – в шкафах ЗРУ 10 кВ.

2.6 Система оперативного постоянного тока ПС 220 кВ Белогорская

Питание потребителей постоянного тока на подстанции осуществляется существующей системой оперативного постоянного тока от аккумуляторной

батареи типа GroE с ёмкостью 400 А·ч, состоящей из 104 элементов. Две АБ работают с двумя зарядно-подзарядными агрегатами в режиме постоянного заряда. Каждая из двух АБ выбрана с учетом полной нагрузки на ПС. Существующие АБ – необслуживаемые, в герметичном исполнении. Система ОПТ разделена на две равноценные взаиморезервируемые части. Каждая часть в своем составе содержит АБ, блок выносных головных предохранителей, ЩПТ с автоматическими устройствами контроля и распределительным шкафом, зарядно-подзарядные агрегаты (ЗПА), распределительные шкафы с автоматическими выключателями (ШАВ). Потребители постоянного тока распределены между двумя половинами СОПТ таким образом, что отказ одной из них не может привести к потере основных функций РЗА, ПА, АСУ ТП и управления коммутационными аппаратами. В случае потери источника питания в одной из половин СОПТ, происходит автоматический безынерционный переход на питание от источника второй половины СОПТ.

«Вся постоянная нагрузка на ПС (устройства РЗА, управления, сигнализации и др.) питается от зарядно-подзарядных агрегатов, работающих в режиме взаимного резервирования по каждому ЩПТ. При пиках нагрузки (токи КЗ, одновременное отключение (включение) группы выключателей) АБ берет нагрузку на себя.

Предусмотрена трехуровневая защита систем ОПТ:

Нижний уровень – защита потребителей постоянного тока (устройства РЗА, ПА, управления высоковольтных выключателей) и кабелей, идущих до них - выполнен на модульных автоматических выключателях» [25];

Средний уровень – защита шин питания питающих потребителей постоянного тока и кабелей, идущих к ним от ЩПТ – выполнен на предохранителях, установленных в мультиблоки;

Верхний уровень – защита шин ЩПТ и кабелей, идущих к ним от блока выносных предохранителей АБ – выполнен на предохранителях, установленных на выводах АБ.

Трехуровневая защита должна предусматривать:

- селективность отключения поврежденного участка;
- чувствительность работы защиты на каждом уровне;
- надежное отключение повреждения за счет достаточной чувствительности в зоне резервирования.

Предусмотрены меры, позволяющие применить на ПС микропроцессорные устройства релейной защиты (МП РЗ). К таким мерам относятся:

- разделение СОПТ на зоны: питающую только микропроцессорные терминалы и цепи, не выходящие за пределы данного релейного щита, и питающую цепи управления выключателей, разъединителей и цепи, уходящие в ЗРУ-10 кВ и на ОРУ 35, 110, 220 кВ;
- электрическое объединение двух зон только в пределах шинок ЩПТ, в непосредственной близости от АБ с использованием её шунтирующего эффекта;
- применение для системы ОПТ экранированных контрольных кабелей, а при необходимости – бронированных силовых кабелей;
- выполнение всех, предусмотренных соответствующими документами мер, направленных на исключение (или снижение) электромагнитных (грозовых и коммутационных) полей.
- выбор защитных аппаратов всех уровней СОПТ, обеспечивающих необходимое быстродействие отключения КЗ в цепях СОПТ для работы МП РЗ без перезагрузок на смежной секции РЗА.

Существующая АБ не требует замены, так как нагрузка в ЗРУ-10 кВ не увеличится (существующее оборудование выполнено на электромеханических реле), в новых ячейках будет установлено микропроцессорное оборудование, потребление которого составляет около 0,07 А на ячейку. Ячеек предполагается количество 28 штук, соответственно нагрузка всего по терминалам ожидается 1,96 А. Такая же нагрузка по цепям питания заводки пружин 10 кВ. Нагрузку 300 Вт надо учесть для контроллеров и цепей ТС в ЗРУ-10 кВ. От постоянного тока еще будут питаться два шкафа

дуговой защиты ОВОД-МД с электропотреблением 15 Вт. Итого нагрузка предполагается 5,4 А.

До нового ЗРУ – 10 кВ необходимо проложить 4 новых кабеля: 2 - до ячеек ввода для питания терминалов РЗА, ССПИ и 2 – для цепей заводки пружин выключателей 10 кВ.

Выполним проверку кабеля по потере напряжения:

$$\Delta U_{КАБ\%} = \frac{2 \cdot L_{КАБ} \cdot I_{нагр.}}{\gamma \cdot U_{ном} \cdot S_{КАБ}} \cdot 100\% , \quad (1)$$

где $L_{КАБ}$ - длина кабеля (длина от шкафа управления до ЗРУ-10 кВ - наиболее удаленный), м;

$S_{КАБ}$ - сечение кабеля, мм²;

γ - удельная проводимость проводника (для меди), $\frac{м}{мм^2 \cdot Ом}$.

$$\Delta U_{КАБ\%} = \frac{2 \cdot 175 \cdot 5,4}{57 \cdot 220 \cdot 10} \cdot 100\% = 1,5\% .$$

На основании полученных результатов можно утверждать, что по падению напряжения выбранные кабели проходят проверку.

2.7 Релейная защита и автоматика подстанции

Выбранные типы защит на элементах ЗРУ-10 кВ должны обеспечить выполнение основных требований к релейной защите:

- «селективность, обеспечивающая отключение только поврежденной части электроустановки;
- быстрдействие, не допускающее серьезных повреждений электрооборудования и обеспечивающее устойчивость параллельной работы синхронных электрических машин;

- надежность, предотвращающая излишние срабатывания защиты;
- чувствительность в основной и резервных зонах, обеспечивающая действие защиты при любых коротких замыканиях, когда имеется необходимость отключение электроустановки» [16].

Релейную защиту и автоматику в ЗРУ-10 кВ предлагается предусмотреть на микропроцессорных устройствах.

«В одном микропроцессорном терминале наряду с функциями РЗА возможно выполнение дополнительных функций (функций осциллографа, регистрация событий, изменение групп уставок и др.), а также вывода из МП РЗА необходимого объема информации для анализа правильного действия РЗА и для создания координированных систем контроля и управления или использования в АСУ ТП» [8].

Несомненным достоинством микропроцессорных устройств являются низкие значения потребляемой мощности по цепям переменного тока и напряжения, что обуславливает снижение нагрузки на измерительные трансформаторы и повышение точности их работы.

Общие требования к выполнению микропроцессорных защит предусматривает независимость взаиморезервируемых терминалов РЗА по цепям:

- переменного тока (подключение на разные сердечники ТТ);
- постоянного оперативного тока (осуществляется подключение терминала к сборкам, питающимся от разных автоматов);
- действие каждого терминала на оба электромагнита отключения выключателя;
- для обеспечения надежности и повышения помехоустойчивости цепи переменного тока и напряжения должны быть выполнены отдельными экранированными кабелями, проложенными, по возможности, разными трассами.

При применении МП терминалов РЗА должны быть выполнены требования и рекомендации по электромагнитной совместимости и помехозащищенности.

2.7.1 Основные технические решения по РЗА и функции релейной защиты и автоматики элементов ПС 220 кВ Белогорская ЗРУ-10 кВ

Для защиты ЗРУ-10 кВ и КЛ-10 кВ необходимо предусмотреть микропроцессорные устройства, которые реализуют ряд функций.

Функции релейной защиты и автоматики элементов ЗРУ- 10 кВ:

- а) функции терминала ввода:
 - 1) «максимальная токовая защита с комбинированным пуском по напряжению;
 - 2) защита от перегрузки;
 - 3) дуговая защита;
 - 4) защита минимального напряжения;
 - 5) автоматика управления выключателем (АУВ);
 - 6) УРОВ;
 - 7) АПВ.
- б) функции терминала секционного выключателя 10 кВ:
 - 1) максимальная токовая защита;
 - 2) дуговая защита;
 - 3) автоматика управления выключателем (АУВ);
 - 4) УРОВ;
 - 5) автоматическое включение резерва (АВР).
- в) функции терминала КЛ 10 кВ:
 - 1) токовая отсечка;
 - 2) максимальная токовая защита;
 - 3) защита от замыканий на землю;
 - 4) дуговая защита;
 - 5) автоматика управления выключателем (АУВ);
 - 6) УРОВ.

- г) функции терминала линии к ТСН:
- 1) токовая отсечка;
 - 2) максимальная токовая защита;
 - 3) защита от замыканий на землю;
 - 4) защита от перегрузки (на ТСН);
 - 5) дуговая защита» [8];
 - 6) автоматика управления выключателем (АУВ);
 - 7) УРОВ.
- д) на секциях шин 10 кВ (I, II) необходимо предусмотреть:
- 1) «защиту от дуговых замыканий;
 - 2) логическую защиту шин;
 - 3) защиту минимального напряжения;
 - 4) сигнализацию замыканий на землю» [8];
 - 5) АЧР с функцией блокировки по скорости снижения частоты.

Требования к терминалам учитывают наличие в ячейках ЗРУ- 10 кВ защиты от дуговых замыканий (ЗДЗ) и логической защиты шин (ЛЗШ).

«Защита от дуговых замыканий должна:

- выполняться с контролем тока на сторонах ВН, НН трансформатора и СВ при питании секции через секционный выключатель;
- обеспечивать резервное действие при отказе выключателей» [16];
- запрещать АПВ вводных и АВР секционных выключателей.

Логическая защита шин должна:

- иметь минимально возможное (порядка 0,3-0,4с) время срабатывания для обеспечения ее надежной блокировки и возврата при внешних КЗ без учета резервного действия;
- обеспечивать резервное действие при отказе выключателей;
- запрещать АПВ вводных и АВР секционных выключателей.

Схема распределения устройств ИТС по ТТ и ТН.

С целью обеспечения наглядности произведено объединение схем подключения устройств РЗА, ПА, АСУ ТП, АИИС КУЭ по трансформаторам тока и трансформаторам напряжения.

На рисунке 16 приведен перечень графических обозначений защит, применяемых в ЗРУ-10 кВ.

Условные обозначения:	
ЗП НН	- Защита от перегрузки стороны НН трансформатора
АЧВ	- Автоматика управления выключателем
УРОВ	- Устройство (функция) резервирования при отказе выключателя
АПВ	- Автоматическое повторное включение
РАС	- Регистратор аварийных событий
ТО	- Токовая отсечка
МТЗ	- Максимальная токовая защита
СЗЗ	- Устройства сигнализации замыкания на землю на линии
ЗМН	- Защита минимального напряжения
ЗДЗ	- Защита от дуговых замыканий
ЛЗШ	- Логическая защита шин
АВР	- Автоматический ввод резерва
МТЗ НН/У	- Максимальная токовая защита стороны НН трансформатора с пуском по напряжению

Рисунок 16 - Перечень графических обозначений защит, применяемых в ЗРУ-10 кВ

Схема размещения защит ЗРУ-10 кВ приведена на рисунке 17.

Распределение устройств РЗА по ТТ и ТН производится с учетом необходимости разнесения основных и резервных защит по разным кернам трансформаторов тока.

Цепи РЗА подключаются к трансформаторам тока класса 10PR, цепи измерения – 0,2(0,5), цепи коммерческого учета электроэнергии – 0,2S(0,5S).

2.7.2 Расчеты устройств РЗА элементов ЗРУ-10 кВ

Был произведен расчет защит элементов ЗРУ-10 кВ в соответствии с рекомендациями ЗАО «Радиус Автоматика», «Выбор уставок срабатывания микропроцессорных терминалов релейной защиты и автоматики серии «Сириус» для распределительных сетей 6-35 кВ».

Расчет защит КЛ 10 кВ показал, что токовая отсечка (МТЗ-1), отстроенная от тока КЗ в конце линии, не защищает линию (зона действия первой ступени защиты, составляет 0% длины линии).

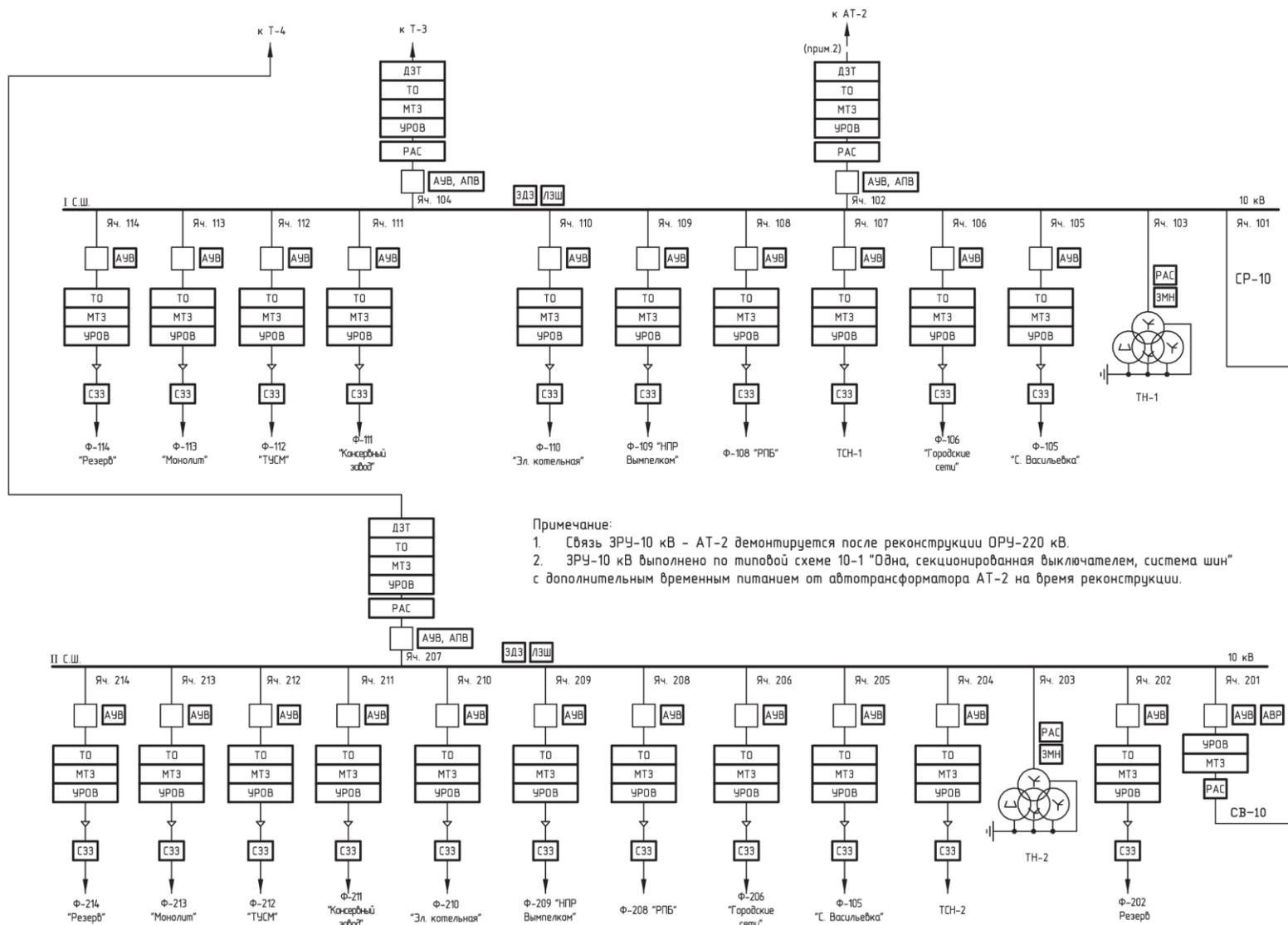


Рисунок 17 - Схема размещения защит ЗРУ-10 кВ

Вторая ступень защиты отстроена от максимального тока нагрузки и обеспечивает чувствительность в конце линий ($K_{ч} > 1,5$),

Точный расчет должен быть выполнен при окончательном выборе оборудования релейной защиты службой режимов эксплуатирующей организации.

2.7.3 Управление выключателями 10 кВ

Управление выключателями 10 кВ осуществляется со шкафов РЗА ячеек, устанавливаемых в помещении ЗРУ 10 кВ. Необходимо предусмотреть управление выключателями (кроме местного) на отдельной панели управления на входе в ЗРУ-10 кВ, а также с АРМ оперативного персонала.

При этом шкафы, на которых располагаются органы местного управления, предусматривают мнемосхему и сигнализацию положения выключателей.

Микропроцессорный терминал управления должен нести следующие функции:

- оперативного управления выключателем;
- комплекта защит;
- сигнализации – приёма и фиксации с визуальной расшифровкой и трансляции в ССПИ сигналов неисправности и работы защиты присоединения с возможностью выдачи сигналов в блок резервной звуковой сигнализации.

2.7.4 Центральная сигнализация

Центральная сигнализация должна быть включена и работоспособна в нормальном режиме работы подстанции. «Проектом предусмотрена общая звуковая и индивидуальная световая сигнализация о работе и неисправности устройств РЗА.

Устройство центральной сигнализации выполнено на двух микропроцессорных терминалах, на котором реализованы следующие функции:

- звуковая аварийно-предупредительная сигнализация отклонения от нормального режима работы оборудования» [16];
- ручное или с выдержкой времени автоматическое квитирование любых звуковых сигналов;
- непрерывный оперативный контроль работоспособности.

2.7.5 Общие положения об организации цепей напряжения

«Организация цепей трансформаторов напряжения должна обеспечивать питание устройств защиты, измерения, учёта электроэнергии.

В соответствии с требованиями директивных материалов в схемах организации цепей напряжения должна предусматриваться возможность резервирования питания нагрузок при выходе одного ТН из строя или при выходе его в ремонт» [19].

2.7.6 Выбор измерительных трансформаторов напряжения

В данном пункте производится обоснование применения измерительных трансформаторов напряжения по допустимой вторичной нагрузке.

Фактическая мощность вторичной нагрузки должна находиться в диапазоне:

$$\text{от } 0,25 \cdot S_{\text{ном}} \left(\frac{U_1}{U_{1\text{ном}}} \right)^2 \text{ до } S_{\text{ном}} \left(\frac{U_1}{U_{1\text{ном}}} \right)^2, \quad (2)$$

где $S_{\text{ном}}$ - номинальная мощность трансформатора в данном классе точности, ВА;

$U_{1\text{ном}}$ - номинальное значение первичного напряжения трансформатора, В;

U_1 - значение первичного напряжения, подведенного к трансформатору, В.

2.7.7 Общие требования к измерительным трансформаторам напряжения и вторичным цепям

Сечение и длина проводов и кабелей в цепях напряжения измерительных

приборов и приборов ССПИ должны выбираться такими, чтобы потери напряжения в этих цепях составляли не более 0,5% номинального напряжения, а для счетчиков коммерческого учета не более 0,25%.

Классы точности измерительной обмотки ТН принимаются - 0,5, а цепей учета – 0,5S, согласно требованиям, на АИИСКУЭ.

Для обеспечения этих требований предусматривается применение отдельных кабелей от трансформаторов напряжения для счетчиков, и для измерительной системы и цепей защиты.

По условию механической прочности (п.3.4.4. ПУЭ) жилы контрольных кабелей для присоединения под винт к зажимам панелей и аппаратов должны иметь сечения не менее 1,5 мм² для меди и 2,5 мм² для алюминия.

2.7.8 Расчет нагрузки вторичных обмоток измерительного трансформатора напряжения 10 кВ

Нагрузка, подключаемая на трансформатор напряжения в нормальном режиме и в режиме резервирования (на один ТН).

При выводе в ремонт одного из трансформаторов напряжения вся нагрузка данного ТН полностью переводится на второй трансформатор напряжения, т.е. нагрузка оставшегося в работе трансформатора увеличивается вдвое. Расчет нагрузок на ТН сводим в таблицу 8.

Таблица 8 - Результаты определения нагрузок обмоток ТН-10 кВ

Обмотка	Потребитель	Суммарное потребление (на фазу), ВА	Итого, ВА	Суммарная мощность всех обмоток, ВА
Обмотка №2 «Звезда 0,5», ВА (РЗА и измерения)	РАС	0,5	19,5	34,9
	Терминал РПН	0,5×1		
	Терминал защиты 220 кВ	0,5×1		
	Измерительный преобразователь	1×12		
	Терминал АУВ и защиты	0,5×12		
Обмотка №3 «Разомкнутый треугольник ЗР», ВА (дополнительная)	РАС	0,5	1,0	
	Терминал защиты 220 кВ	0,5×1		

Продолжение таблицы 8

Обмотка	Потребитель	Суммарное потребление (на фазу), ВА	Итого, ВА	Суммарная мощность всех обмоток, ВА
Обмотка №1 «Звезда 0,5S», ВА	Счетчики	1,2×12	14,4	-

2.7.9 Выбор мощности обмоток трансформатора напряжения 10 кВ

Обмотка №1 ТН.

Расчет выбора мощности для обмотки учета электроэнергии выполняется при определении параметров используемых средств АИИС КУЭ.

Обмотка №2 ТН.

Мощность наиболее нагруженной фазы основной обмотки №2 трансформатора напряжения в нормальном режиме: $S_{\text{раб.ТН}} = 19,5 \text{ ВА}$.

Мощность наиболее нагруженной фазы обмотки №2 трансформатора напряжения в режиме резервирования: $S_{\text{раб.ТН}} = 39 \text{ ВА}$.

Согласно условию $0,25S_{\text{ном.ТН}} \leq S_{\text{раб.ТН}} \leq S_{\text{ном.ТН}}$, номинальную мощность обмотки №2 трансформатора напряжения принимаем: $S_{\text{ном.ТН}} = 50 \text{ ВА}$.

Проверяем номинальную мощность обмотки №2 трансформатора напряжения в нормальном режиме при $S_{\text{раб.ТН}} = 19,5 \text{ ВА}$:

$$\begin{aligned} 0,25S_{\text{ном.ТН}} \leq S_{\text{раб.ТН}} \leq S_{\text{ном.ТН}}; \\ 12,5 \text{ ВА} \leq 19,5 \text{ ВА} \leq 50 \text{ ВА}. \end{aligned} \quad (3)$$

Условие выполнено.

Обмотка №3

Принимается мощностью 200 ВА.

2.7.10 Выбор сечения жил кабелей во вторичных цепях трансформатора напряжения 10 кВ

Общие требования.

Расчеты выполняются по наибольшей мощности обмотки ТН-10 кВ (в режиме резервирования).

Допустимое падение напряжения, согласно ПУЭ п.3.4.5, при условии включения всех защит и приборов должны составлять:

- для измерительных преобразователей мощности, используемых для ввода информации и вычислительные устройства, – не более 0,5%;
- для счетчиков коммерческого учёта электроэнергии – не более 0,25%;

$$\Delta U_{\text{доп}} = U_{\text{ном}} \frac{U_{\text{доп.отн.}}}{100}; \quad (4)$$

Общие данные.

Номинальное напряжение: $U_{\text{ном}}=100$ В.

Допустимое сопротивление провода кабеля для измерительных преобразователей при выполнении условия: $\Delta U_{\text{доп.отн.}}=0,5$ %, $\Delta U_{\text{доп.}}=0,29$ В.

Обмотка №1 (учет электроэнергии).

Расчет сечения кабелей для обмотки учета электроэнергии выполняется при определении параметров используемых средств АИИС КУЭ.

Обмотка №2 (измерения и защиты).

Мощность наиболее нагруженной фазы обмотки №2: $S_{\text{раб.ТН}} = 19,5$ ВА;

$$R_{\text{доп}} = \frac{\Delta U_{\text{доп}} U_{\text{ном}}}{3 \cdot S_{\text{н.ф.ТН}}}; \quad (5)$$

$$R_{\text{доп}} = \frac{0,29 \cdot 100}{3 \cdot 19,5} = 0,496 \text{ Ом.}$$

Согласно допустимому сопротивлению провода кабеля, расчетное сечение жил кабеля определяется по формуле:

$$g_1 = \rho \cdot \frac{L}{R_{\text{доп}}}; \quad (6)$$

где $L = 15$ м – длина шинок напряжения по ЗРУ-10 кВ;

$L = 170$ м – длина кабеля от шкафа трансформатора напряжения до шкафа управления ША 10 кВ в ОПУ (наиболее удаленное расстояние);

$\rho = 0,0175 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$; - удельное электрическое сопротивление проводника для меди.

Расчётное сечение кабеля по формуле (6):

Для кабеля до ОПУ:

$$g_1 = 0,0175 \cdot \frac{170}{0,496} = 5,99 \text{ мм}^2.$$

Для шинок напряжения по ЗРУ-10 кВ:

$$g_1 = 0,0175 \cdot \frac{15}{0,496} = 0,529 \text{ мм}^2.$$

Согласно расчётному сечению, кабель от релейного шкафа зажимов до шкафа управления ША в ОПУ принимается марки КВВГЭнг(А)-LS сечением 7 мм².

Шинки напряжения по ЗРУ-10 кВ выполнить проводом сечением 2,5 мм². Сопротивление кабеля на участке: шкаф зажимов – ОПУ (шкаф ША 10 кВ):

$$R_{\text{каб.1}} = \rho \cdot \frac{L}{g_1}; \quad (7)$$

$$R_{\text{каб.1}} = 0,0175 \cdot \frac{170}{7} = 0,425 \text{ Ом}.$$

Падение напряжения на этом участке:

$$\Delta U_{\text{каб.1}} = \frac{R_{\text{каб.1}} \cdot \sqrt{3} \cdot S_{\text{нф.ТН}}}{U_{\text{ном}}}; \quad (8)$$

$$\Delta U_{\text{каб.1}} = \frac{0,425 \cdot \sqrt{3} \cdot 19,5}{100} = 0,143 \text{ В.}$$

Проверяем выбранные сечения кабелей для обмотки №2 по условию $\Delta U_{\text{доп.}} = 0,29 \text{ В}$. Сопротивление кабеля на участке ТН – шкаф зажимов:

$$R_{\text{каб.2}} = \rho \cdot \frac{L}{S_1}; \quad (9)$$

$$R_{\text{каб.1}} = 0,0175 \cdot \frac{15}{2,5} = 0,105 \text{ Ом.}$$

Падение напряжения на этом участке:

$$\Delta U_{\text{каб.2}} = \frac{R_{\text{каб.2}} \cdot \sqrt{3} \cdot S_{\text{нф.ТН}}}{U_{\text{ном}}}; \quad (10)$$

$$\Delta U_{\text{каб.1}} = \frac{0,105 \cdot \sqrt{3} \cdot 19,5}{100} = 0,035 \text{ В.}$$

Падение напряжения на участке, трансформатор напряжения – шкаф управления ША-10 кВ в ОПУ:

$$\Delta U_{\text{каб}} = \Delta U_{\text{каб1}} + \Delta U_{\text{каб2}}, \quad (11)$$

$$\Delta U_{\text{каб}} = 0,143 + 0,035 = 0,178 \text{ В.}$$

Падение напряжения в измерительной цепи удовлетворяет условию:

$$\Delta U_{\text{каб}} \leq \Delta U_{\text{доп}}, \quad (12)$$

$$\Delta U_{\text{каб}} = 0,178 \text{ В при } \Delta U_{\text{доп}} = 0,29 \text{ В.}$$

Условие выполнено.

2.7.11 Выбор измерительных трансформаторов тока

В данном пункте производится обоснование применения измерительных трансформаторов тока по допустимой вторичной нагрузке.

Вторичная нагрузка ТТ ($S_{\text{ном}}$, ВА) – мощность его вторичной цепи при коэффициенте мощности $\cos\varphi=0,8$, при которой гарантируется установленный класс точности ТТ.

Согласно ГОСТ 7746-2015 пределы допустимых погрешностей вторичных обмоток для измерения в рабочих условиях при установившемся режиме должны соответствовать:

$$0,25S_{2\text{ТТ}} < S_{2\text{нагр.}} < S_{2\text{ТТ}} \quad (13)$$

2.7.12 Определение мощности обмоток трансформаторов тока 10 кВ и сечения жил кабелей для цепей измерения

Расчет выполнен для наиболее удаленной ячейки ввода 10 кВ. Мощность вторичной нагрузки ТТ определяется по формуле:

$$S_{\text{ном}} = Z_{2\text{ном}} \cdot I_{2\text{ном}}^2; \quad (14)$$

где $Z_{2\text{ном}}$ – сопротивление вторичной нагрузки ТТ,

$I_{2\text{ном}}$ – номинальный вторичный ток ТТ.

Полное сопротивление вторичной нагрузки в цепях ТТ:

$$Z_{2\text{ном}} = R_{\text{приб}} + R_{\text{конт}} + R_{\text{монт.пров.}}, \quad (15)$$

где $R_{проб} = \frac{S_{пол}}{I^2} = \frac{0,1}{5^2} = 0,004 \text{ Ом}$ – сопротивление измерительного преобразователя;
 $R_{конт} = 0,1 \text{ Ом}$ – суммарное переходное сопротивление контактов.

Сопротивление монтажного провода:

$$R_{\text{монт.пров}} = R_0 \cdot L; \quad (16)$$

где L - фактическая длина кабеля, которая складывается из суммы длин кабелей: $L_1 = 2 \text{ м}$ - от ТТ до релейного шкафа зажимов ВВ-10 кВ, $L_2 = 170 \text{ м}$ - от релейного шкафа зажимов ячейки ВВ-10 кВ до шкафа управления трансформатором в ОПУ, $L = L_1 + L_2 = 2 + 170 = 172 \text{ м}$;
 R_0 – электрическое сопротивление токопроводящих жил на длине 1 км при 20°C.

Согласно п.3.4.4 ПУЭ по условию механической прочности сечение кабелей для токовых цепей – не менее 2,5 мм² для меди.

Для медных жил сечением 4 мм² - $R_0 = 4,61 \text{ Ом/км}$ (справочник на электрические кабели, провода и шнуры).

$$R_{\text{монт.пров}} = 4,61 \cdot 0,172 = 0,79 \text{ Ом.}$$

Полное сопротивление вторичной нагрузки в цепях ТТ:

$$Z_{2\text{ном}} = 0,004 + 0,1 + 0,79 = 0,894 \text{ Ом.}$$

Мощность вторичной нагрузки для ТТ с $I_{2\text{ном}} = 5 \text{ А}$:

$$S_{\text{ном}} = 0,62 \cdot 25 = 22,35 \text{ ВА}$$

Номинальную мощность вторичной нагрузки обмотки класса точности 0,5 принимаем равной 30 ВА.

Требование ГОСТ 7746-2001 выполняется:

$$0,25S_{2ТГ} < S_{2нагр.} < S_{2ТГ},$$
$$7,35 \text{ ВА} < 22,35 \text{ ВА} < 30 \text{ ВА}.$$

Выводы по разделу.

В рамках реконструкции предусматривается демонтаж шинных аппаратов (выключателей и части ошиновки), установленных на стороне 10 кВ трансформаторов Т-3, Т-4 на открытой части подстанции. Также предусматривается перенос места расположения существующих трансформаторов собственных нужд ТСН-3, ТСН-4 (наименование изменяется на ТСН-1 и ТСН-2 соответственно) с их заменой на трансформаторы с воздушной изоляцией в защитном кожухе с подключением к новому ЗРУ-10 кВ кабелем. Решение о замене существующих масляных трансформаторов аналогами с воздушной изоляцией принято на основании необходимости соблюдения современных норм противопожарной безопасности.

Выполнен расчет нагрузок от вновь устанавливаемых ЭП собственных нужд. С учётом отключения нагрузок демонтируемого ЗРУ-10 кВ и мастерской РЗА, увеличение нагрузки на систему собственных нужд составит 30,7 кВт. Таким образом, после реконструкции, нагрузка на оставшийся в работе ТСН-3 или 4 составит 233,6 кВт, а загрузка 37%, увеличение мощности трансформаторов собственных нужд не требуется.

Реконструкция системы электроснабжения собственных нужд в следующем объёме:

- строительство нового здания ОПУ-2 с собственным ЩСН-2, который будет получать питание от ТСН-1,2, которые, в свою очередь, получают питание от АТ-1,2;

- существующий ЩСН-1 предполагается оставить в существующем ОПУ-1, часть нагрузок при этом переводится на ЩСН-2.

«Оборудование 10 кВ выбрано по номинальному напряжению присоединений, максимальному длительному току, по отключающей способности и стойкости к токам короткого замыкания, учтена температура наружного воздуха, степень загрязнения атмосферы и сейсмичность площадки.

Ошиновка выбрана по максимальному длительному току присоединений, по стойкости к токам трехфазного короткого замыкания.

При выборе оборудования и ошиновки учтены нормальные эксплуатационные, аварийные режимы, а также перегрузочная способность оборудования» [19].

При выборе трансформаторов собственных нужд учитывалась в том числе возможность параллельной работы с остающимся в эксплуатации ТСН-2.

Произведен выбор автоматических выключателей в сети СН по номинальным параметрам, выполнена проверка на термическую и динамическую стойкость в соответствии со значениями токов короткого замыкания. Выбранные автоматические выключатели обеспечивают требования по селективности при срабатывании.

В соответствии с СТО все кабели 0,4 кВ предусмотрены с изоляцией, не распространяющей горение, с индексом «нг(А)- FRLS».

Внутреннее освещение помещений здания ЗРУ-10 кВ выполнено светильниками с энергосберегающими светодиодными лампами. Исполнение осветительных приборов принято с учетом их светораспределения, условий эксплуатации, высоты установки освещаемого оборудования и обеспечения нормируемой освещенности на рабочих местах 200 лк. Расчет освещения ПС выполнен в программном комплексе DIALux.

Существующая АБ не требует замены, так как нагрузка на СОПТ в ЗРУ-10 кВ не увеличится (существующее оборудование на электромеханических

реле меняется на современное микропроцессорное). Выбранные новые кабели до ячеек ввода для питания РЗА и ССПИ были проверены по потере напряжения, которая составила 1,5%.

Релейную защиту и автоматику в ЗРУ-10 кВ предлагается предусмотреть на микропроцессорных устройствах.

«В одном микропроцессорном терминале наряду с функциями РЗА возможно выполнение дополнительных функций (функций осциллографа, регистрация событий, изменение групп уставок и др.), а также вывода из МП РЗА необходимого объема информации для анализа правильного действия РЗА и для создания координированных систем контроля и управления или использования в АСУ ТП» [1.18].

Несомненным достоинством микропроцессорных устройств являются низкие значения потребляемой мощности по цепям переменного тока и напряжения, что обуславливает снижение нагрузки на измерительные трансформаторы и повышение точности их работы.

В работе были определены реализуемые функции терминалами вводов, секционного выключателя, терминалами КЛ 10 кВ, терминалами линий к ТСН, на секциях шин 10 кВ.

Распределение устройств РЗА по ТТ и ТН производилось с учетом необходимости разнесения основных и резервных защит по разным кернам трансформаторов тока.

Произведен расчет нагрузки вторичных обмоток измерительного трансформатора напряжения и выбраны сечения жил кабелей во вторичных цепях. Для трансформаторов тока так же были определены мощности обмоток и сечения жил кабелей для цепей измерения.

3 Информационное обеспечение перевооружения ПС 220 кВ в части замены ЗРУ-10 кВ

3.1 Назначение и цели ССПИ

ССПИ предназначается для обеспечения контроля состояния и автоматизированного управления основного электротехнического оборудования ПС, передачи данных на верхние уровни диспетчерского управления.

ССПИ выполняет:

- контроль электрических параметров, состояния схемы коммутационного оборудования и защит;
- управление коммутационными аппаратами (КА);
- передачу оперативно-технологической информации (ОТИ) по имеющимся и перспективным каналам связи на верхние уровни управления и диспетчеризации.

«Целью создания ССПИ является:

- повышение надежности систем управления и повышение на этой основе надежности электроснабжения потребителей;
- расширение функциональных возможностей систем управления ПС по сравнению с существующими за счет использования возможностей микропроцессорной (МП) техники;
- снижение затрат на техническое обслуживание ПС;
- снижение трудозатрат на изготовление аппаратуры, монтаж и эксплуатационные проверки систем управления» [3].

Цели создания программно-технического комплекса (ПТК) ССПИ достигаются за счет решения следующего комплекса задач:

- а) оперативное дистанционное управление основным технологическим оборудованием оперативным персоналом ПС и из вышестоящих пунктов управления;

- б) мониторинг и контроль технологических процессов, состояния основного электротехнического оборудования, в том числе:
 - 1) передача на верхний уровень диспетчерского управления оперативной информации о состоянии контролируемого оборудования ПС в динамике их изменений;
 - 2) представление значений технологических параметров, существенных для ведения режимов;
- в) замена существующей системы телемеханики (ТМ);
- г) обеспечение информационной безопасности ССПИ ПС.

Средства ССПИ ПС 220 кВ Белогорская снабжают персонал ПМЭС, МЭС и РДУ полной и достоверной информацией о состоянии и режимах функционирования контролируемого и управляемого оборудования ПС.

3.2 Характеристика технологического объекта управления

В работе предусмотрено расширение ССПИ для сбора информации и управления оборудованием проектируемого ЗРУ 10 кВ. Данная система ССПИ будет входить в состав проектируемой АСУ ТП, которая будет реализована в ходе выполнения работ по реконструкции ОРУ 220 кВ с изменением схемы, которые запланированы на более поздний период.

Технологическим объектом управления (ТОУ) ССПИ ПС 220 кВ Белогорская является проектируемое основное силовое оборудование ЗРУ 10 кВ.

ОРУ 110 кВ ПС 220/110/35/10 кВ Белогорская выполнено по схеме «Две рабочие, секционированные выключателем, системы шин и обходная система шин».

До реконструкции от подстанции отходят 3 линии 110 кВ. После реконструкции от подстанции будут отходить 5 линий 110 кВ.

Существующая релейная защита и автоматика – электромеханическая.

ПС 220 кВ Белогорская функционирует с постоянным оперативным персоналом (ОП).

ПС 220 кВ Белогорская является действующей подстанцией и находится в зоне оперативного управления РДУ.

3.2.1 Состав контролируемого и управляемого оборудования

В состав контролируемого и управляемого оборудования ПС входит:

Количественный состав контролируемого и управляемого основного электротехнического оборудования на ЗРУ 10 кВ ПС 220 кВ Белогорская приведен в таблице 9.

Таблица 9 – Состав основного электротехнического оборудования ЗРУ

Технологическая часть/элемент	Количество элементов, шт.
КЛ 10 кВ	21
Выключатель, тележка ячейки 10 кВ	25
ЗН 10 кВ	27
ТН-10 кВ	2
Секционный разъединитель	1

Управляемые элементы силового оборудования ЗРУ (с точки зрения возможности непосредственного управления с помощью средств ССПИ) перечислены в таблице 10.

Таблица 10 - Управляемые элементы силового оборудования ЗРУ

Элементы	Возможность управления
Выключатель 10 кВ	+
Тележка выключателя 10 кВ	+
ЗН 10 кВ	+

3.2.2 Режимы функционирования технологического объекта автоматизации

Основными техническими решениями предусмотрена возможность эксплуатации ССПИ ПС 220 кВ Белогорская постоянным обслуживающим персоналом в следующих режимах эксплуатации:

- нормальный режим – контроль и управление в нормальном режиме функционирования;
- аварийный режим - локализация и ликвидация аварий и чрезвычайных ситуаций (отказы электрооборудования или каналов связи, пожары, несанкционированный доступ и т.п.);
- ремонтный режим – вывод оборудования в ремонт и ввод оборудования в работу после завершения ремонта;
- плановое техническое обслуживание – профилактическое обслуживание и плановый ремонт силового электротехнического оборудования, средств ССПИ, поверка средств измерений, обновление программного обеспечения и технических средств ПТК;
- внеплановое техническое обслуживание – восстановление работоспособности при отказе одного из двух дублированных устройств, устранение неблагоприятных тенденций в работе оборудования и т.п.

3.3 Общие решения по структуре ССПИ

Система ССПИ ЗРУ 10 кВ является частью АСУ ТП ПС 220 кВ Белогорская. Данная АСУ ТП проектируется как единая, многоуровневая, интегрированная, иерархическая распределенная система на базе современных программно-технических средств, реализующих функции управления и сбора, обработки, отображения, регистрации, хранения и передачи информации.

АСУ ТП ПС 220 кВ Белогорская осуществляет информационное взаимодействие с проектируемыми системами РЗА, ПА, РАС.

Структурная схема АСУ ТП ПС 220 кВ Белогорская представлена на рисунке 18.

В проектируемой ССПИ выделены полевой уровень, уровень присоединения, подстанционный уровень.

К полемому уровню относятся:

- многофункциональные измерительные преобразователи.

К уровню присоединения относятся:

- контроллеры присоединений.

Для ввода данных по проектируемому оборудованию ЗРУ 10 кВ необходима установка одного шкафа контроллеров присоединений и одного шкафа ЛВС.

Подстанционный уровень образуют устройства концентрации, обработки и передачи информации в ЦУС, МЭС, РДУ.

К подстанционному уровню проектируемой ССПИ относится шкаф ЛВС. Средства для хранения, архивации и визуализации информации (сервера SCADA/БД, сервер РЗА, АРМ ОП, АРМ РЗА/АСУ ТП), оборудование системы единого времени, а также ШГП в рамках данной работы не предусматриваются.

3.4 Основные технические решения

3.4.1 Технические решения по размещению аппаратуры ССПИ и условия эксплуатации

«Помещения, в которых размещаются устройства ССПИ, должны быть оборудованы системой контроля и обеспечения санкционированного доступа. Помещения оборудованы контурами заземления» [17].

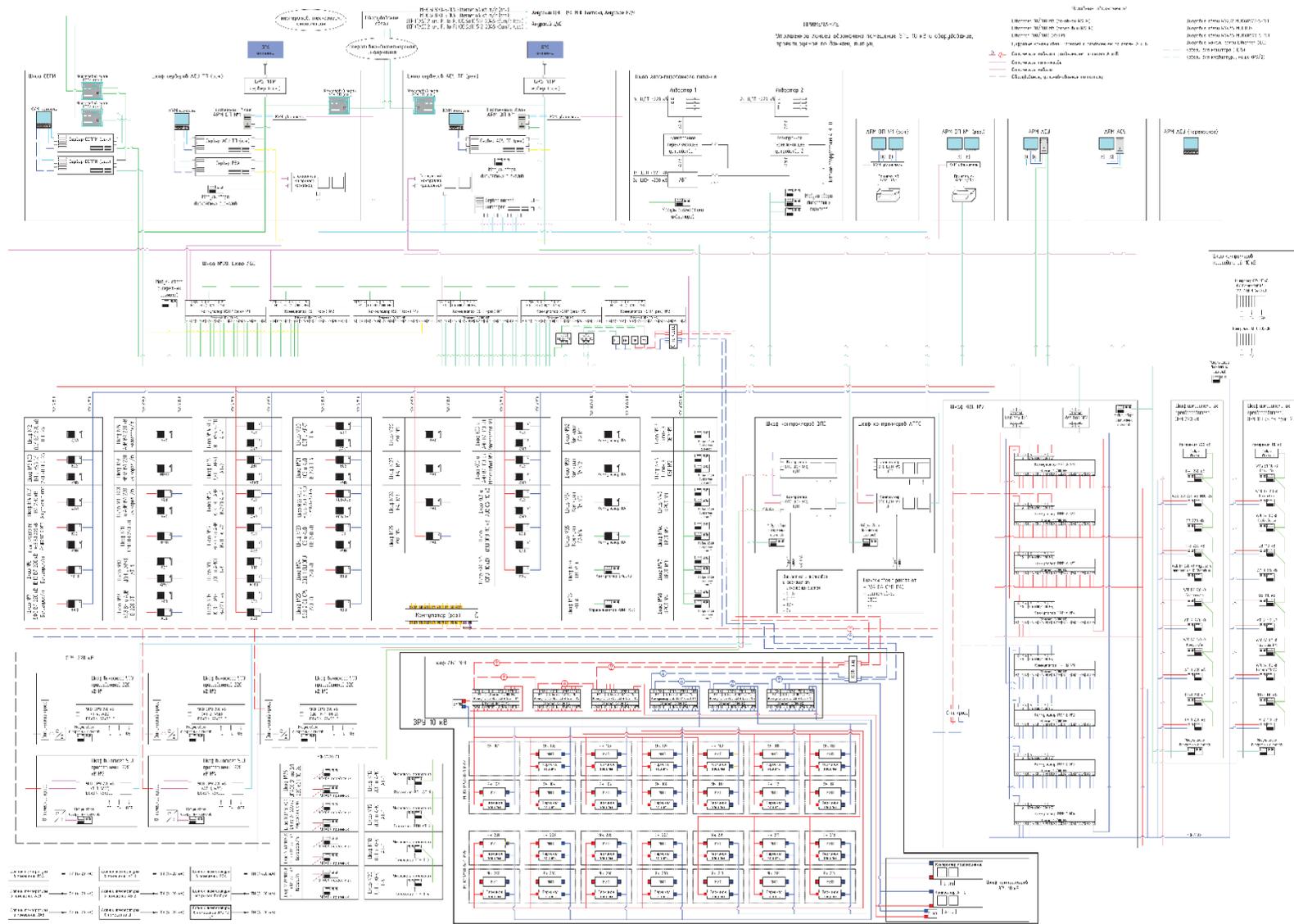


Рисунок 18 - Структурная схема АСУ ТП ПС 220 кВ Белогорская

Устанавливаемые устройства ССПИ имеют допустимые нормы по температуре и влажности окружающего воздуха:

- температура окружающего воздуха – от плюс 5 до плюс 55 °С;
- влажность окружающего воздуха – от 5 до 75 % (без конденсации влаги).

Технические требования к эксплуатации технических средств, обслуживанию и ремонту соответствуют ГОСТ 27.205-88.

Технические средства ССПИ komponуются в шкафах навесного исполнения со стеклянной смотровой дверью.

В каждом шкафу предусмотрена одна общепанельная лампа неисправности.

В выходных цепях контроллеров предусмотрены испытательные разъемы для удобства их вывода из работы при техническом обслуживании.

Контроллеры и устройства различного функционального назначения разделены в шкафах горизонтальными перегородками.

Для заземления корпусов контроллеров, экранов кабелей и других устройств внутри шкафа предусмотрена специальная медная шина.

Шкафы выполнены в одной цветовой гамме.

Шкафы ЛВС и контроллеров присоединений должны быть с габаритными размерами не более 1600×600×400 мм.

В составе шкафов ССПИ необходимо предусмотреть установку модулей сбора дискретных сигналов для ввода сигналов диагностики шкафа.

Шкафы ССПИ размещаются в помещении ЗРУ 10 кВ, где создаются необходимые параметры микроклимата.

Измерительные преобразователи ССПИ устанавливаются в шкафы ячеек ЗРУ 10 кВ.

Управление выключателями (кроме местного) предусматривается на отдельной панели управления на входе в ЗРУ 10 кВ, а также с АРМ оперативного персонала.

Предварительные данные по количеству шкафов ССПИ ЗРУ 10 кВ на ПС 220 кВ Белогорская приведены в таблице 11.

Таблица 11 - Предварительный перечень шкафов ССПИ

Наименование шкафа	Количество
Шкаф контроллеров присоединений 10 кВ	1
Шкаф ЛВС	1

3.4.2 Технические решения по электропитанию оборудования ССПИ

Питание устройств ССПИ будет организовано от ЩПТ первой и второй секции. Предусматривается установка устройств АВР в устанавливаемые шкафы АСУ ТП.

3.4.3 Решения по реализации ОБР

Предусматриваются решения по реализации ОБР ЗРУ-10 кВ в соответствии с распоряжением ПАО «ФСК ЕЭС» от 05.05.2010 № 236р «Об утверждении Порядка организации оперативной блокировки на подстанциях нового поколения», и для включения в общеподстанционную систему, для выключателей вводов силовых трансформаторов и секционного выключателя.

3.5 Решения по составу информации, объему и способам ее организации

3.5.1 Состав информационных данных ПТК. Характеристика входных и выходных сигналов

Состав информационных данных ПТК ССПИ формируется в соответствии с Распоряжением ПАО «ФСК ЕЭС» от 24.06.2010 № 366р «Типовой перечень сигналов, поступающих от РЗА, ПА, АИИС КУЭ и инженерных систем подстанции в АСУ ТП».

На рисунке 19 представлен фрагмент главной электрической схемы с элементами ССПИ. На рисунке 20 приведены условные обозначения.

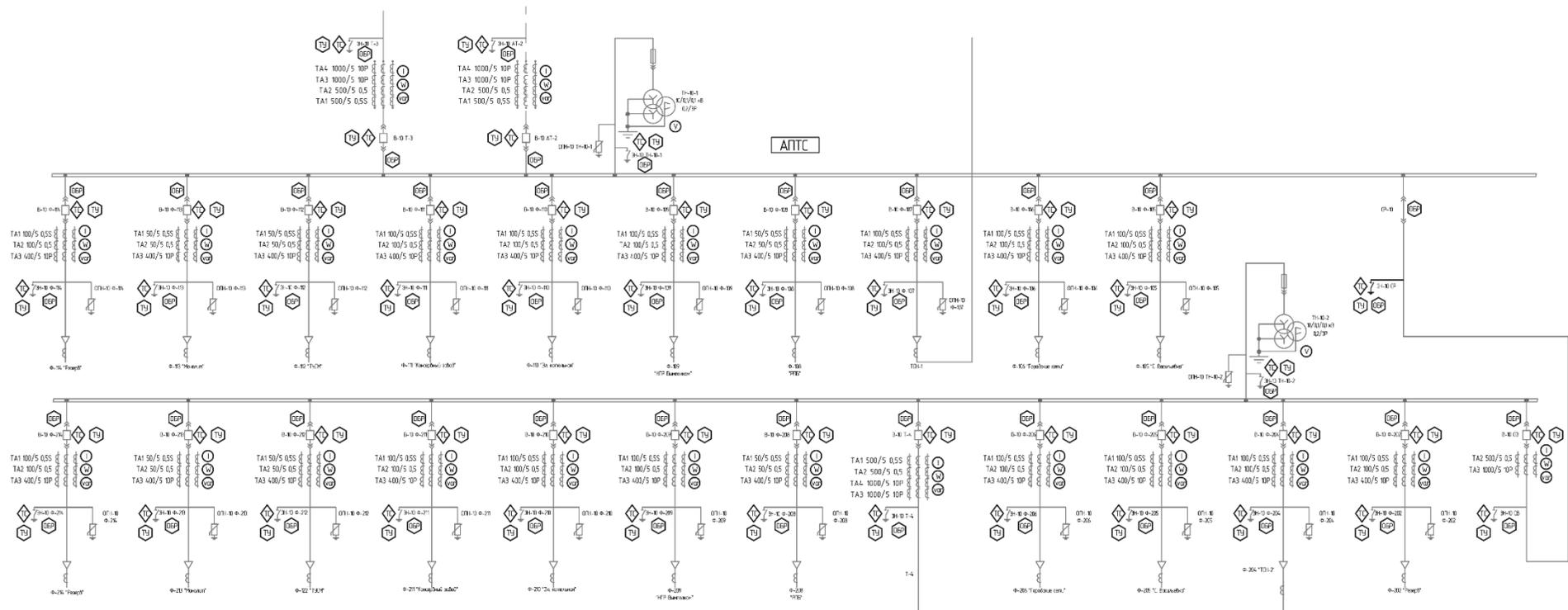


Рисунок 19 - Фрагмент главной электрической схемы с элементами ССПИ

-  - выключатель телеуправляемый, телесигнализируемый;
-  - переменный ток;
-  - напряжение переменного тока;
-  - активная мощность;
-  - реактивная мощность;
-  - телесигнализация положения КА;
-  - аварийно-предупредительная сигнализация.
-  - телеуправление положением КА;
-  - оперативная блокировка КА;

Рисунок 20 - Условные обозначения на схеме с элементами ССПИ

К общему составу информационных данных ССПИ подстанции относятся:

- данные по нормальным режимам функционирования ОРУ 110 кВ (аналоговые сигналы нормального режима, дискретные сигналы состояния и изменения положения коммутационного оборудования и т.д.);
- данные по аномальным и аварийным режимам (осциллограммы аварийных процессов, сигналы срабатывания устройств РЗА, аварийная и предупредительная сигнализация, выход параметров за уставки и т.д.);
- данные по параметрам функционирования вспомогательных технологических подсистем;
- параметры настройки РЗА и других специализированных систем автоматического управления;
- данные по эксплуатации основного технологического оборудования, включая информацию по состоянию оборудования и ресурсу;
- файлы и таблицы настройки программных комплексов и компонентов;

- библиотеки представления динамической, ретроспективной и отчетной информации;
- нормативная, информационная и справочная документация.

3.5.2 Оценка количества входных/выходных сигналов ССПИ

Предварительный перечень аналоговых сигналов, собираемых в ССПИ ПС 220 кВ Белогорская, перечислены в таблице 12. Все собранные сигналы на выходе измерительных преобразователей становятся цифровым кодом.

Таблица 12 - Перечень аналоговых сигналов

Тип присоединения	Кол-во присоед., шт	Контролируемый параметр	Кол-во сигн., шт	Всего по присоед.	Источник инф. / класс точности
Выключатель 10 кВ	25	Ia	1	125	ЭНИП-2 / 0,2
		Ib	1		ЭНИП-2 / 0,2
		Ic	1		ЭНИП-2 / 0,2
		±P	1		ЭНИП-2 / 0,2
		±Q	1		ЭНИП-2 / 0,2
Секция шин 10 кВ	2	Uab	1	8	ЭНИП-2 / 0,2
		Ubc	1		ЭНИП-2 / 0,2
		Uca	1		ЭНИП-2 / 0,2
		F	1		ЭНИП-2 / 0,2
ЗРУ 10 кВ	1	Температура	1	1	Датчик температуры
Итого:				134	-

Предварительный перечень входных дискретных сигналов, собираемых в ССПИ ПС 220 кВ Белогорская, приведены в таблице 13.

Таблица 13 - Перечень входных дискретных сигналов

Тип присоединения	Кол-во присоед., шт	Контролируемый параметр	Кол-во сигналов, шт	Всего сигналов по присоед.	Источник информации
Выключатель 10 кВ	25	включен	1	50	Контроллер присоединений
		отключен	1		
Терминал РЗА/ПА	27	возв., сраб.	1	54	Контроллер АПТС
		неисправ.	1		

Продолжение таблицы 13

Тип присоединения	Кол-во присоед., шт	Контролируемый параметр	Кол-во сигналов, шт	Всего сигналов по присоед.	Источник информации
Тележка присоединения	26	включена	1	52	Контроллер присоединений
		выключена	1		
Заземляющий нож	28	включен	1	56	Контроллер присоединений
		отключен	1		
Разъединитель 10 кВ	1	включен	1	2	Контроллер присоединений
		отключен	1		
Ячейки ЗРУ 10 кВ, полож ключа ДУ	25	местное	1	50	Контроллер АПТС
		дистанцион.	1		
Ячейки ЗРУ 10 кВ, испыт. блок	27	положение крышки	1	27	Контроллер АПТС
Ячейки ЗРУ 10 кВ, ключ вв/выв функций МП РЗА	27	положение ключа	3	81	Контроллер АПТС
Ячейки ЗРУ 10 кВ, ключ цепей эл.питания МП РЗА	27	положение ключа	1	27	Контроллер АПТС
Пожарная сигнализация	1	неиспр.	1	2	Контроллер АПТС
		пожар	1		
Охранная сигнализация	1	тревога	1	1	Контроллер АПТС
Итого			402		-

Предварительный состав сигналов телеуправления из ССПИ ПС 220 кВ Белогорская (в том числе передаваемых из ЦУС ПМЭС) приведен в таблице 14.

Таблица 14 - Перечень сигналов телеуправления

Тип присоединения	Кол-во присоед., шт	Контролируемый параметр	Кол-во сигналов, шт	Всего по присоед.
Выключатель 10 кВ	25	Включить	1	50
		Отключить	1	
Тележка присоединения	27	Вкатить	1	54
		Выкатить	1	
Заземляющий нож	28	Включить	1	56
		Отключить	1	
Разъединитель 10 кВ	1	Включить	1	2
		Отключить	1	
Итого:			162	

Предварительный состав выходных сигналов из ССПИ ПС 220 кВ Белогорская (в том числе передаваемых из ЦУС ПМЭС) приведен в таблице 15.

Таблица 15 - Перечень выходных сигналов

Тип присоединения	Кол-во присоед., шт	Контролируемый параметр	Кол-во сигналов, шт	Всего по присоед.
Тележка присоединения	27	Разрешить управление	1	27
Заземляющий нож	28	Разрешить управление	1	28
Разъединитель 10 кВ	1	Разрешить управление	1	1
Итого:			56	

3.5.3 Требования по передаче информации

К передаче информации предъявляются следующие требования:

- время передачи телеметрической информации - не более 1 секунды;
- цикл передачи команды телеуправления (управление коммутационными аппаратами, управление устройствами РЗ) – не более 1 секунды;
- время исполнения команды телеуправления от момента ее выдачи до завершения исполнения не должно превышать 10 секунд;
- скорость информационных каналов для обеспечения требуемого времени передачи оперативной телеинформации, должна быть не менее 64 кбит/с (для обеспечения функции АСДУ) или 2 Мбит/с (для обеспечения удаленного АРМ);
- скорость информационных каналов для передачи неоперативной информации должна быть не менее 512 кбит/с (оптимально 2 Мбит/с);
- протокол передачи данных должен соответствовать стандартам МЭК 870-5-104, ТСР/ІР;

- «все присоединения должны быть оснащены цифровыми датчиками с классом точности не хуже 0,5, подключенных к клеммам измерительных трансформаторов класса точности не хуже 0,5;
- должны быть предусмотрены мероприятия по защите информации от несанкционированного вмешательства, согласованные с СО;
- телеизмерения (ТИ), телесигнализация (ТС) и телеуправления (ТУ) при передаче должны содержать метки единого астрономического времени» [8];
- оборудование систем связи и телемеханики должно быть выполнено с применением цифровой аппаратуры по модульному принципу с возможностью удаленного управления и диагностики.

«Состав технических и программных средств телемеханики, связи, регистраторов, приборов контроля качества и т.д., а также вид и объем информации, протоколы передачи данных должны быть согласованы с СО при разработке рабочего проекта» [7].

Выводы по разделу.

В работе предусмотрено расширение ССПИ для сбора информации и управления оборудованием проектируемого ЗРУ 10 кВ. Данная система ССПИ будет входить в состав проектируемой АСУ ТП. Определен состав контролируемого и управляемого основного электротехнического оборудования на ЗРУ 10 кВ, в него входят: КЛ 10 кВ; выключатель, тележка ячейки 10 кВ; ЗН 10 кВ; ТН-10 кВ; секционный разъединитель.

В проектируемой ССПИ выделены полевой уровень, уровень присоединения, подстанционный уровень.

К полемому уровню относятся:

- многофункциональные измерительные преобразователи.

К уровню присоединения относятся:

- контроллеры присоединений.

Подстанционный уровень образуют устройства концентрации, обработки и передачи информации.

Определены технические решения по размещению аппаратуры ССПИ и условия ее эксплуатации. ССПИ ЗРУ 10 кВ будет включать в себя шкаф контроллеров присоединений 10 кВ и шкаф ЛВС.

Питание устройств ССПИ будет организовано от ЩПТ первой и второй секции.

Предусматривается установка устройств АВР в устанавливаемые шкафы АСУ ТП.

Разработаны решения по составу информации, объему и способам ее организации.

Проведена предварительная оценка количества входных и выходных сигналов ССПИ (аналоговых, дискретных и сигналов телеуправления).

Определены основные требования по передаче информации.

Заключение

В ходе технического перевооружения, предусматривается реконструкция существующего здания ОПУ, строительство нового кирпичного здания закрытого распределительного устройства (ЗРУ-10 кВ).

Решения по электротехническому оборудованию.

В здании ЗРУ-10 кВ планируется к установке два ряда шкафов ячеек КРУ-10 кВ с целью организации 1-ой и 2-ой секции шин РУ-10 кВ (с общим количеством 28 шт.) и в следующем составе.

Для эффективного использования, в том числе в целях дистанционного управления (ДУ), а также размещения и использования в релейных отсеках микропроцессорной аппаратуры (МП) РЗА, АСУ ТП, АИИС КУЭ и РАС, предполагается установка новых современных шкафов ячеек 10 кВ с вакуумными выключателями на выкатных элементах, которые позволяют осуществлять диспетчерское телеуправление (ТУ) выключателями, выкатными тележками выключателей и заземляющих ножей. Также предусматривается возможность управления выключателями 10 кВ шкафов ячеек, (кроме местного) с помощью отдельной панели управления на входе в ЗРУ-10 кВ, а также с АРМ оперативного персонала (ОП) при реализации дистанционного управления выключателями.

Решения по кабельному хозяйству.

Электропитание ЗРУ - 10 кВ предполагается выполнить от трансформаторов Т-3, Т-4 с сохранением дополнительного резервного питания от АТ-2 до окончания реконструкции ОРУ 220 кВ. Так же предполагается перезавод существующих кабельных линий КЛ-10 кВ потребителей в новое здание ЗРУ-10 кВ, существующие кабели потребителей 10 кВ с бумажно-масляной изоляцией предлагается заменить по всей длине в связи с их устаревшим типом. Необходимо предусмотреть и прокладку дополнительных кабельных коммуникаций в виде кабельных лотков и кабельных каналов по ОРУ ПС 220 кВ Белогорская, а также в здании ОПУ и

нового ЗРУ-10 кВ как по существующим, так и вновь проектируемым кабельным эстакадам, и заглублённым коробам.

Решения по собственным нуждам, системам переменного и постоянного тока.

На ПС 220 кВ Белогорская предполагается реконструкция системы электроснабжения собственных нужд с подключением питания ЩСН-1 от ТСН-3(4), а нового ЩСН-2 от ТСН-1(2). ЩСН-1 получает питание непосредственно от ТСН-3(4), минуя шкафы ввода, установленные вблизи ТСН, данные шкафы демонтируются, нагрузки от них переводятся на ЩСН-1. В данной работе электропитание СН ЗРУ-10 кВ предполагается также от ЩСН-1. Также предусматривается перенос места расположения существующих трансформаторов собственных нужд ТСН-3, ТСН-4 (наименование изменяется на ТСН-1 и ТСН-2 соответственно) с их заменой на трансформаторы с воздушной изоляцией в защитном кожухе с подключением к новому ЗРУ-10 кВ кабелем для обеспечения современных противопожарных расстояний от зданий до маслонаполненного оборудования.

Решения по освещению на подстанции.

Предполагается система освещения нового здания ЗРУ-10 кВ со светодиодными рабочими и аварийными светильниками, а также освещением входов в здание.

Решения по изоляции, защите от перенапряжений, заземлению.

Предполагается подключение ЗУ нового кирпичного здания ЗРУ-10 кВ к существующему ЗУ ПС Белогорская не менее чем в четырёх точках. Также предполагается заземление трасс вновь прокладываемых по ОРУ кабельных линий с подключением к существующему ЗУ.

Решения по установке нового силового оборудования.

В связи с тем, что нагрузка на стороне 10 кВ не возрастает, новое дополнительное силовое оборудование не предусматривается. Однако, для увеличения надёжности электроснабжения потребителей, предусматриваются

дополнительные ячейки в ЗРУ-10 кВ для подключения по кольцевой схеме потребителей, не имеющих резерва в данный момент.

Решения по оборудованию и аппаратуре РЗА и ПА.

Состав оборудования защит и автоматики шкафов ячеек ЗРУ-10 кВ выполнить на микроэлектронной базе, по требованиям СТО 56947007-29.240.10.248-2017.

Количество трансформаторов тока и их вторичных цепей должно обеспечивать отдельное подключение средств РЗА, АИИС КУЭ и других измерений. Подключение устройств РЗА к вторичным обмоткам класса «Р» (для вводных ячеек устройства РЗА подключить к разным вторичным обмоткам с целью обеспечения надежности резервирования и точности измерений), измерительных приборов к вторичным обмоткам класса «0,5» и АИИС КУЭ к вторичным обмоткам класса «0,5S».

Оснастить устройства релейной защиты и автоматики с поддержкой стандартных протоколов обмена (МЭК 61850), совместимых с АСУ ТП (ССПИ). Устройства РЗА должны иметь русифицированные интерфейсы и программируемую логику как между различными функциями защиты, управления и контроля, входящими в состав устройств РЗА, так и между этими функциями и внешними устройствами защиты, управления и контроля.

Для предотвращения неправильных действий с разъединителями, заземляющими ножами при переключении, предусмотреть электромагнитную блокировку ЗРУ-10 кВ с интеграцией в существующую систему оперативной блокировки.

Для отключения выключателей 10 кВ от АЧР (ОН) необходимо предусмотреть шинки отключения, с обязательной установкой ключа на всех присоединениях для оперативного вывода АЧР (ОН).

Решения по оборудованию и аппаратуре ССПИ, АСУ ТП, ССПТИ.

В связи с тем, что реализация реконструкции ОРУ 220 кВ предполагается позже данных работ, для ЗРУ-10 кВ предусматривается установка «автономных» шкафов ССПИ в составе шкафа объектных

контроллеров и шкафа сетевых интерфейсов (ШСИ) для расширения локальной вычислительной сети (ЛВС) АСУ ТП, а также установка многофункциональных измерительных преобразователей во все шкафы ячеек ЗРУ-10 кВ для организации сбора телеинформации в общеподстанционную АСУ ТП.

Решения по оборудованию и аппаратуре АИИС КУЭ.

На ПС 220 кВ Белогорская предполагается установка счётчиков электроэнергии в шкафах вводных ячеек от «силового» трансформаторного оборудования и по всем фидерам отходящих линий ЗРУ-10 кВ.

Автоматизированные информационно-измерительные системы коммерческого учета электрической энергии и мощности должны соответствовать требованиям Федерального Закона «Об обеспечении единства измерений». Метрологические характеристики АИИС КУЭ должны подтверждаться Свидетельством об утверждении типа средства измерений на основании проведенных испытаний уполномоченными органами Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии (в соответствии с действующими нормативными документами).

Сбор, обработка, хранение и передача информации об электроэнергии на объектах должна осуществляться с помощью метрологически аттестованных, защищенных от несанкционированного доступа и сертифицированных для коммерческих расчетов УСПД.

Структура построения АИИС КУЭ и состав примененных технических средств, должны обеспечивать автоматический информационный обмен на электронном уровне между субъектами в согласованных форматах и в соответствии с техническими требованиями, предусмотренными Договором о присоединении к торговой системе ОРЭ.

Решения по оборудованию и аппаратуре СМиУКЭ.

На ПС 220 кВ Белогорская предполагается установка приборов контроля качества электроэнергии (ПКЭ) в шкафы ячеек вводов 10 кВ от «силового»

трансформаторного оборудования с подключением к приборам ПКЭ измерительных цепей ТН-10 кВ для 1 и 2 секции шин ЗРУ-10 кВ.

Решения по оборудованию и аппаратуре систем связи.

В рамках технического перевооружения оборудования ЗРУ-10 кВ ПС 220 кВ Белогорская изменение инфраструктуры оборудования систем связи не планируется.

В рамках реконструкции предусматривается демонтаж шинных аппаратов (выключателей и части ошиновки), установленных на стороне 10 кВ трансформаторов Т-3, Т-4 на открытой части подстанции. Также предусматривается перенос места расположения существующих трансформаторов собственных нужд ТСН-3, ТСН-4 (наименование изменяется на ТСН-1 и ТСН-2 соответственно) с их заменой на трансформаторы с воздушной изоляцией в защитном кожухе с подключением к новому ЗРУ-10 кВ кабелем. Решение о замене существующих масляных трансформаторов аналогами с воздушной изоляцией принято на основании необходимости соблюдения современных норм противопожарной безопасности.

Выполнен расчет нагрузок от вновь устанавливаемых ЭП собственных нужд. С учётом отключения нагрузок демонтируемого ЗРУ-10 кВ и мастерской РЗА, увеличение нагрузки на систему собственных нужд составит 30,7 кВт. Таким образом, после реконструкции, нагрузка на оставшийся в работе ТСН-3 или 4 составит 233,6 кВт, а загрузка 37%, увеличение мощности трансформаторов собственных нужд не требуется.

Реконструкция системы электроснабжения собственных нужд в следующем объёме:

- строительство нового здания ОПУ-2 с собственным ЩСН-2, который будет получать питание от ТСН-1,2, которые, в свою очередь, получают питание от АТ-1,2;
- существующий ЩСН-1 предполагается оставить в существующем ОПУ-1, часть нагрузок при этом переводится на ЩСН-2.

Оборудование 10 кВ выбрано по номинальному напряжению присоединений, максимальному длительному току, по отключающей способности и стойкости к токам короткого замыкания, учтена температура наружного воздуха, степень загрязнения атмосферы и сейсмичность площадки.

Ошиновка выбрана по максимальному длительному току присоединений, по стойкости к токам трехфазного короткого замыкания.

При выборе оборудования и ошиновки учтены нормальные эксплуатационные, аварийные режимы, а также перегрузочная способность оборудования.

При выборе трансформаторов собственных нужд учитывалась в том числе возможность параллельной работы с остающимся в эксплуатации ТСН-2.

Произведен выбор автоматических выключателей в сети СН по номинальным параметрам, выполнена проверка на термическую и динамическую стойкость в соответствии со значениями токов короткого замыкания. Выбранные автоматические выключатели обеспечивают требования по селективности при срабатывании.

В соответствии с СТО все кабели 0,4 кВ предусмотрены с изоляцией, не распространяющей горение, с индексом «нг(A)- FRLS».

Внутреннее освещение помещений здания ЗРУ-10 кВ выполнено светильниками с энергосберегающими светодиодными лампами. Исполнение осветительных приборов принято с учетом их светораспределения, условий эксплуатации, высоты установки освещаемого оборудования и обеспечения нормируемой освещенности на рабочих местах 200 лк. Расчет освещения ПС выполнен в программном комплексе DIALux.

Существующая АБ не требует замены, так как нагрузка на СОПТ в ЗРУ-10 кВ не увеличится (существующее оборудование на электромеханических реле меняется на современное микропроцессорное). Выбранные новые кабели

до ячеек ввода для питания РЗА и ССПИ были проверены по потери напряжения, которая составила 1,5%.

Релейную защиту и автоматику в ЗРУ-10 кВ предлагается предусмотреть на микропроцессорных устройствах.

В одном микропроцессорном терминале наряду с функциями РЗА возможно выполнение дополнительных функций (функций осциллографа, регистрация событий, изменение групп уставок и др.), а также вывода из МП РЗА необходимого объема информации для анализа правильного действия РЗА и для создания координированных систем контроля и управления или использования в АСУ ТП.

Несомненным достоинством микропроцессорных устройств являются низкие значения потребляемой мощности по цепям переменного тока и напряжения, что обуславливает снижение нагрузки на измерительные трансформаторы и повышение точности их работы.

В работе были определены реализуемые функции терминалами вводов, секционного выключателя, терминалами КЛ 10 кВ, терминалами линий к ТСН, на секциях шин 10 кВ.

Распределение устройств РЗА по ТТ и ТН производилось с учетом необходимости разнесения основных и резервных защит по разным кернам трансформаторов тока.

Произведен расчет нагрузки вторичных обмоток измерительного трансформатора напряжения и выбраны сечения жил кабелей во вторичных цепях. Для трансформаторов тока так же были определены мощности обмоток и сечения жил кабелей для цепей измерения.

В работе предусмотрено расширение ССПИ для сбора информации и управления оборудованием проектируемого ЗРУ 10 кВ. Данная система ССПИ будет входить в состав проектируемой АСУ ТП. Определен состав контролируемого и управляемого основного электротехнического оборудования на ЗРУ 10 кВ, в него входят: КЛ 10 кВ; выключатель, тележка ячейки 10 кВ; ЗН 10 кВ; ТН-10 кВ; секционный разъединитель.

В проектируемой ССПИ выделены полевой уровень, уровень присоединения, подстанционный уровень.

К полемому уровню относятся:

- многофункциональные измерительные преобразователи.

К уровню присоединения относятся:

- контроллеры присоединений.

Подстанционный уровень образуют устройства концентрации, обработки и передачи информации.

Определены технические решения по размещению аппаратуры ССПИ и условия ее эксплуатации. ССПИ ЗРУ 10 кВ будет включать в себя шкаф контроллеров присоединений 10 кВ и шкаф ЛВС.

Питание устройств ССПИ будет организовано от ЩПТ первой и второй секции.

Предусматривается установка устройств АВР в устанавливаемые шкафы АСУ ТП.

Разработаны решения по составу информации, объему и способам ее организации.

Проведена предварительная оценка количества входных и выходных сигналов ССПИ (аналоговых, дискретных и сигналов телеуправления).

Определены основные требования по передаче информации.

Список используемой литературы

1. Айзенфельд А. И. Показатели работы устройств релейной защиты и автоматики в энергосистемах. Электрические станции. 2003. № 1. С.48-52.
2. Беляев А. В. Выбор аппаратуры, защит и кабелей в сетях 0,4 кВ. М.: Энергоатомиздат. 2008. 172 с.
3. Биллinton Р., Аллан Р. Оценка надежности электроэнергетических систем. М.: Энергоатомиздат. 2008. 288с.
4. Васильев А. А. Электрическая часть станций и подстанций. М.: Энергия. 2000. 608 с.
5. ГОСТ 31565-2012 Кабельные изделия. Требования пожарной безопасности. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200101754> (дата обращения: 02.11.2023).
6. ГОСТ 9920-89 Электроустановки переменного тока на напряжение от 3 до 750 кВ. Длина пути утечки внешней изоляции. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/19448/> (дата обращения: 02.11.2023).
7. Грунтович Н.В. Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования: учеб. пособие. Минск: Новое знание ; М. : ИНФРА-М, 2017. 271 с.
8. Ершов Ю.А. Электроэнергетика. Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем: учебное пособие. Красноярск: СФУ, 2014. 68 с.
9. Ковалев И.Н. Электроэнергетические системы и сети: учебник. М.: Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2015. 363 с.
10. Кулеева Л.И., Митрофанов С.В., Семенова Л.А. Проектирование подстанции: учебное пособие. Оренбург: Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2016. 111 с.
11. Марков В.С. Главные электрические схемы и схемы питания собственных нужд электростанций и подстанций: учебное пособие. Москва;

Вологда: Инфра-Инженерия, 2020. 192 с. ISBN 978-5-9729-0403-7. URL: <https://znanium.com/catalog/product/1167711> (дата обращения: 02.11.2023).

12. Правила устройства электроустановок: действующие разделы 6-го и 7-го изданий. Москва: ИНФРА-М, 2023. 832 с. ISBN 978-5-16-018172-1. URL: <https://znanium.com/catalog/product/1910868> (дата обращения: 02.11.2023).

13. СНиП 2.01.01-82 Строительная климатология и геофизика. URL: <https://docs.cntd.ru/document/9053801> (дата обращения: 02.11.2023).

14. СП 52.13330.2011 Естественное и искусственное освещение. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200084092> (дата обращения: 02.11.2023).

15. СТО 34.01-27.3-002-2014 (ВНПБ 29-14) Проектирование противопожарной защиты объектов электросетевого комплекса ОАО «Россети». Общие технические требования. URL: https://old.rosseti.ru/investment/standart/corp_standart/doc/34.01-27.3-001-2014.pdf (дата обращения: 02.11.2023).

16. СТО 56947007-29.120.70.241-2017 Технические требования к микропроцессорным устройствам РЗА. URL: https://www.fsk-ees.ru/upload/docs/STO_56947007-29.120.70.241-2017_izm_11122019.pdf (дата обращения: 02.11.2023).

17. СТО 56947007-29.130.15.114-2012 Руководящие указания по проектированию заземляющих устройств подстанций напряжением 6-750 кВ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200094403> (дата обращения: 02.11.2023).

18. СТО 56947007-29.240.044-2010 Методические указания по обеспечению электромагнитной совместимости на объектах электросетевого хозяйства URL: <https://www.fsk-ees.ru/upload/docs/56947007-29.240.044-2010.pdf> (дата обращения: 02.11.2023).

19. СТО 56947007-29.240.10.248-2017 Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ (НТП ПС). URL: https://www.fsk-ees.ru/upload/docs/STO_56947007-29.240.10.248-2017_.pdf (дата обращения: 02.11.2023).

20. СТО 56947007-29.240.30.010-2008 Схемы принципиальные электрические распределительных устройств подстанций 35-750 КВ. Типовые решения. URL: <https://www.fsk-ees.ru/upload/docs/56947007-29.240.30.010-2008.pdf> (дата обращения: 02.11.2023).
21. СТО-56947007-29.240.043-2010 Руководство по обеспечению электромагнитной совместимости вторичного оборудования и систем связи электросетевых объектов. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200088409> (дата обращения: 02.11.2023).
22. Федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 21.07.1997 N 116-ФЗ URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_15234/ (дата обращения: 02.11.2023).
23. Ц-02-98 (Э) Циркуляр о проверке кабелей на не возгорание при воздействии тока короткого замыкания. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293828/4293828958.pdf> (дата обращения: 02.11.2023).
24. Шеховцов В.П. Расчет и проектирование ОУ и электроустановок промышленных механизмов [Электронный ресурс]: Учебное пособие. 2-е изд. М.: Форум, НИЦ ИНФРА-М, 2015. 352 с. URL: <http://znanium.com/catalog/product/494251> (дата обращения 02.11.2023).
25. Щербаков Е.Ф., Александров Д.С., Дубов А.Л. Электроснабжение и электропотребление на предприятиях: учебное пособие. М.: Форум, 2019. 496 с.
26. Brando G., Cervone A., Del Pizzo A., Dannier A., Vova B. A Distribution Power Electronic Transformer with MMC // Applied Sciences. 2018 PP. 1-12.
27. Hase Y. Handbook of Power System Engineering. England: John Wiley & Sons, 2011. 401 p.
28. Hickey R.B., Robert B. Electrical Engineer's Portable Handbook. USA: McGraw-Hill Companies, 2012. 575 p.

29. Whitaker J.C. AC power systems. 4rd ed. California: CRC Press is an imprint of Taylor & Francis Group, 2014. 428 p.
30. Zamboti M., Fortes M.Z., Fernandes H.S., Moura M.B., Guadelupe P., Fernandes N.C. Software to manage transformers using intelligent electronic device // Ingenieria e Investigacion. 2016. V 36. N 1. PP. 85-89.