

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

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

(наименование)

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки/ специальности)

Электроснабжение

(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Реконструкция ПС 35 кВ в Самарской области с заменой электрооборудования в ОРУ 35 кВ и КРУН 6 кВ

Обучающийся

А.В. Кудашев

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

д.т.н., профессор В.В. Вахнина

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

Консультант

к.п.н., доцент А.В. Егорова

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

Тольятти 2024

Аннотация

В ВКР выполнена реконструкция ПС 35 кВ с заменой электрооборудования в ОРУ 35 кВ и КРУН 6 кВ для молокозавода «Радужный», расположенного в Сызранском районе Самарской области.

На молокозаводе «Радужный» произошло увеличение выпуска продукции, что привело к увеличению потребления электроэнергии и последующей реконструкции ПС 35 кВ «Молокозавод, поэтому в ВКР была поставлена цель по разработке мероприятий по реконструкции указанной ПС 35 кВ.

Цель ВКР – разработка мероприятий по реконструкции ПС 35 кВ «Молокозавод» в связи с расширением производства на молокозаводе «Радужный»

В ВКР для достижения цели решены следующие задачи:

- анализ технологических характеристик ПС 35 кВ, а также климатических характеристик места расположения ПС 35 кВ «Молокозавод»;
- разработка технических решений по реконструкции ПС 35 кВ, обоснование этапов реконструкции ОРУ 35 кВ, КРУН 6 кВ;
- обоснование принятых решений реконструкции ПС 35 кВ «Молокозавод» по замене электрооборудования в ОРУ 35 кВ и КРУН 6 кВ.

В ВКР также выбраны электрические схемы ОРУ 35 кВ и модульного КРУ 6 кВ, которые выбраны типовыми в соответствии с требованиями стандарта организации ПАО «ФСК ЕЭС», выполнен расчет сопротивления заземляющего устройства ПС 35 кВ.

Объем пояснительной записки составил 48 страниц, графической части – 6 листов.

Abstract

A 35 kV substation was reconstructed with the replacement of electrical equipment in an open 35 kV switchgear and a complete 6 kV switchgear for the Raduzhny dairy plant, located in the Syzran district of the Samara region.

At the Raduzhny dairy plant, there was an increase in product output, which led to an increase in electricity consumption and the subsequent reconstruction of the 35 kV «Molokozavod». The purpose of the work is to develop measures for the reconstruction of the 35 kV substation «Molokozavod».

The following tasks were solved in this work:

- analysis of the technological characteristics of the 35 kV substation, as well as the climatic characteristics of the location of the 35 kV substation «Molokozavod»;

- development of technical solutions for the reconstruction of a 35 kV substation, justification of the stages of reconstruction of 35 kV and 6 kV switchgears;

- justification of the decisions made for the reconstruction of the 35 kV substation «Molokozavod».

The work also selected the electrical circuits of a 35 kV open switchgear and a 6 kV modular switchgear, which were selected as typical. The resistance of the grounding device of a 35 kV substation was calculated.

The volume of the explanatory note was 48 pages, the graphic part – 6 sheets.

Содержание

| | |
|--|----|
| Введение | 5 |
| 1 Описание ПС 35 кВ Самарской области..... | 7 |
| 2 Предлагаемые технические решения по реконструкции ПС 35 кВ «Молокозавод»..... | 10 |
| 3 Основные технические требования к реконструкции ПС 35 кВ «Молокозавод»..... | 12 |
| 4 Сведения о потребностях объекта..... | 14 |
| 5 Разработка технических решений по реконструкции ПС 35 кВ «Молокозавод»..... | 15 |
| 5.1 Планирование места расположения ПС 35 кВ | 15 |
| 5.2 Решения по изменению архитектуры объекта ПС 35 кВ «Молокозавод»..... | 17 |
| 5.3 Конструктивные решения по ОРУ 35 кВ и КРУМ 6 кВ | 18 |
| 5.4 Рекомендации к системе АИИС КУЭ ПС 35 кВ..... | 20 |
| 5.5 Система оперативного тока..... | 21 |
| 5.6 Обеспечение требований электромагнитной совместимости для микропроцессорной аппаратуры (МП) и изоляции вторичных цепей ПС 35 кВ..... | 22 |
| 5.7 Этапы реконструкции ПС 35 кВ..... | 24 |
| 6 Обоснование замены силовых трансформаторов Т1 и Т2 на ПС 35 кВ..... | 26 |
| 7 Токи короткого замыкания и обоснование устанавливаемого оборудования на ПС 35 кВ..... | 28 |
| 8 ОПН для ОРУ 35 кВ и КРУМ 6 кВ..... | 35 |
| 9 Разработанные решения по АИИС КУЭ..... | 37 |
| 10 Расчет сопротивления заземляющего устройства ПС 35 кВ..... | 39 |
| 11 Расчет молниезащиты ПС 35 кВ..... | 42 |
| Заключение | 43 |
| Список используемой литературы и используемых источников | 45 |

Введение

В рамках Государственной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия актуальным является внедрение в агропромышленном комплексе (АПК) энергоэффективной техники и технологий, позволяющих не только снизить энергозатраты, но и повысить производительность труда. Это способствует увеличению индекса производства продукции сельского хозяйства в хозяйствах, росту объема инвестиций, рентабельности сельского хозяйства, производству мяса и молока [2].

Выбор животноводства как объекта Государственной программы определил внимание к малым формам хозяйствования, поскольку их доля в этой отрасли весьма внушительная. Основными направлениями Государственной программы являются прежде всего:

- ускоренное развитие животноводства;
- стимулирование развития малых форм хозяйствования в АПК;
- обеспечение жильем молодых специалистов на селе.

Развитие молочной промышленности сдерживалось низкой рентабельностью, длительным производственным циклом, насыщением рынка импортной дешевой продукцией, недостаточным количеством кормов и пастбищ для животноводства. Однако снижение ввоза импортной продукции, возросший интерес населения и инвесторов к «здоровой животноводческой продукции» привело к развитию животноводства, что способствовало развитию предприятий по выработке молока и молочных продуктов. Увеличение производства молока в 2022 году произошло на 7%. Предоставление льготных кредитов и инвестиций способствовало росту и расширению компаний производителей молока, в том числе и в Самарской области.

Индекс сельхозпроизводства в Самарской области в 2022 году составил 119%, выше, чем в среднем по России. На поддержку АПК Самарской области

было направлено более 3 миллиардов рублей, что способствовало росту всех направлений АПК, а также животноводства, хотя на него приходится всего 35% от общего объема сельскохозяйственной продукции. Малым формам хозяйствования – фермерам уделяется все больше внимания, что привело к росту как ферм, так и их расширению, и, соответственно, росту продукции животноводства – мяса и молочной промышленности.

Цель ВКР – разработка мероприятий по реконструкции ПС 35 кВ «Молокозавод» в связи с расширением производства на молокозаводе «Радужный» Сызранского района Самарской области.

В ВКР для достижения цели решаются следующие задачи:

- анализ технологических характеристик ПС 35 кВ, а также климатических характеристик места расположения ПС 35 кВ «Молокозавод»;
- разработка технических решений по реконструкции ПС 35 кВ, обоснование этапов реконструкции ОРУ 35 кВ, КРУН 6 кВ;
- обоснование принятых решений реконструкции ПС 35 кВ по замене электрооборудования в ОРУ 35 кВ и КРУН 6 кВ.

1 Описание ПС 35 кВ Самарской области

Подстанция (ПС) 35 кВ «Молокозавод» предназначена для электроснабжения молокозавода «Радужный», расположенного в Сызранском районе Самарской области.

На ПС 35 кВ «Молокозавод» расположено открытое распределительное устройство ОРУ 35 кВ, через которое ПС подключена ячейкам ГПП-1 «СЗТМ» через воздушные линии 35 кВ «Ивашевка-1» и «Ивашевка-2» длиной 15 км. Схема ОРУ 35 кВ - «два блока с выключателями и не автоматической перемычкой со стороны линий» [26].

Потребители молокозавода «Радужный» получают питание через КРУН 6 кВ. Схема КРУН 6 кВ - «одна секционированная выключателем система шин» [26]. На территории подстанции также расположен общестанционный пункт управления ОПУ1.

На ПС 35 кВ «Молокозавод» в настоящее время установлены трансформаторы мощностью 4 МВА типа ТМ-4000/35/6.

В таблице 1 приведены технологические характеристики ПС 35 кВ «Молокозавод» до реконструкции.

Таблица 1 – Технологические характеристики ПС 35 кВ «Молокозавод» до реконструкции

| Тип показателя | Наименование | Технологическая характеристика | Значение |
|----------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------|
| Конструктивный | Тип подстанции | Открытая | - |
| | РУ 35 кВ | Открытое | 35 кВ |
| | РУ 6 кВ | Наружное | 6 кВ |
| | Количество трансформаторов, n | T1, T2 | 2 |
| | Тип трансформаторов | Трехфазный, масляный | ТМ-4000/35/6 |
| | Мощности, $S_{\text{ном T}}$ | T1 | 4 000 кВА |
| | | T2 | 4 000 кВА |
| | Номинальное напряжение | $U_{\text{ном ВН}}$ | 35 кВ |
| | | $U_{\text{ном НН}}$ | 6 кВ |
| | Вид ввода | Воздушный | ОРУ 35 кВ |
| РУ 6 кВ | | | |

Продолжение таблицы 1

| Тип показателя | Наименование | Технологическая характеристика | Значение |
|--|--|---|-------------------------------|
| Конструктивный | Количество линий, подключаемых к подстанции, по каждому РУ | Количество питающих ВЛ 35 кВ | 2 |
| | | Количество фидеров 6 кВ | 6 |
| | Резервирование | Количество резервных ячеек по РУ 6 кВ | 4 |
| | Возможность расширения | Не предусматривается | - |
| Эксплуатационный | Обслуживание | Электромонтёр по обслуживанию подстанции | - |
| | Энергетическая эффективность | Класс энергетической эффективности | - |
| Климатический Загрязнение атмосферы | Ветровая нагрузка | «Ветровой район по давлению - III» [23] | 0,38 кПА [23] |
| | | «Абсолютно минимальная температура» [22] | -45,8°С |
| | Температура воздуха | Самой холодной пятидневки | -33,2°С |
| | | «Абсолютная максимальная температура» [22] | +42,7°С |
| | | «Средняя максимальная температура наиболее теплого месяца» [22] | +25,3°С |
| | | Гололедная нагрузка | «Район по гололеду – IV» [23] |
| | «Толщина стенки гололеда 1 раз в 25 лет» [23] | | 23 мм |
| | Снеговая нагрузка | «Район по весу снегового покрова – IV» [23] | 2,0 кН/м ² [23] |
| | Грозовая нагрузка | «Количество грозовых часов в году» [23] | 60 – 80 часов [23] |
| | Градация показателя загрязнения атмосферы | Степень загрязнения атмосферы - П* [17] | 1 СЗА [17] |

Следует отметить особенности ПС 35 кВ «Молокозавод»:

- ПС 35 кВ оборудована шинами плавки гололеда 6 кВ,
- на ПС кВ отсутствует пожарная и охранная сигнализации,
- оформление на ПС кВ должно соответствовать Положению о корпоративном стиле оформления производственных объектов ПАО «МРСК Волги». Отклонения от принятого Положения не допускаются.

Выводы по разделу. Определено местоположение ПС 35 кВ «Молокозавод», что позволило определить климатические характеристики района расположения подстанции (Самарская область, Сызранский район) – температуру окружающего воздуха, ветровую нагрузку, гололедную нагрузку, снеговую нагрузку, а также грозовую нагрузку. Определена степень загрязнения атмосферы района расположения ПС 35 кВ. Установлены основные конструктивные характеристики ПС 35 кВ – количество и тип установленных трансформаторов, количество и тип РУ 35 кВ и 6 кВ, количество питающих ВЛ 35 кВ и отходящих фидеров 6 кВ, количество резервных ячеек РУ 6 кВ. Определены эксплуатационные характеристики ПС 35 кВ «Молокозавод».

2 Предлагаемые технические решения по реконструкции ПС 35 кВ «Молокозавод»

В соответствии с техническим заданием на проектирование необходимо произвести:

- замену существующих трансформаторов Т1 и Т2 мощностью 4 МВА на силовые трансформаторы мощностью 10 МВА,
- замену КРУН 6 кВ на модульное типа КРУМ 6 кВ,
- установку нового трансформатора напряжения ТН-35 на 2-ой секции 35 кВ ОРУ 35 кВ для питания цепей переменного напряжения АЧР и контроля напряжения на 2-ой секции 35кВ,
- установку трансформаторов собственных нужд ТСН1 и ТСН2 мощностью 63 кВА каждый,
- установку в КРУМ 6 кВ микропроцессорных защит,
- замену заземляющего устройства ПС 35 кВ.

Замена Т1 и Т2 на трансформаторы большей мощности потребует:

- реконструкцию фундаментов под трансформаторы Т1 и Т2,
- реконструкцию маслоприемников,
- устройство маслоотвода, маслоборника.

Так как на ПС 35 кВ предполагается полная автоматизация всех процессов, то ПС 35 кВ будет функционировать без постоянного дежурного персонала.

Ситуационный план размещения существующих (черный цвет) и проектируемых (красный цвет) объектов на ПС 35 кВ «Молокозавод» приведен на рисунке 1.

На ситуационном плане ПС 35 кВ «Молокозавод» красным цветом показаны объекты, которые будут заменены в ходе реконструкции – силовые трансформаторы Т1 и Т2, РУН 6 кВ, заземляющие устройства 35 кВ.

3 Основные технические требования к реконструкции ПС 35 кВ «Молокозавод»

В соответствии с требованиями постановления Правительства Российской Федерации от 16.02.2008 № 87 «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию» [14] трансформаторы, устанавливаемые на ПС 35 кВ в ходе реконструкции, должны быть энергосберегающие, со сниженными характеристиками потерь холостого хода и короткого замыкания.

На выбранное оборудование необходимо произвести расчёт эксплуатационных издержек.

Устройства релейной защиты и автоматики (РЗА) ПС 35 кВ должны быть селективными, чувствительными и быстродействующими. Необходимо выполнить реконструкцию РЗА силовых трансформаторов Т1 и Т2, рассчитать уставки РЗА Т1 и Т2.

В КРУМ 6 кВ необходимо установить вакуумные выключатели 6 кВ.

Необходимо предусмотреть реализацию АЧР на базе микропроцессорных устройств с возможностью отключения любого из присоединений 6 кВ. Устройство АЧР следует выполнить в виде отдельного шкафа.

На секционных выключателях КРУМ 6 кВ должно быть предусмотрено АРВ с защитой минимального напряжения (ЗМН) 6 кВ, контролем положения вводных выключателей 6 кВ и блокировкой на включение секционного выключателя при срабатывании максимальной токовой защиты Т1 или Т2.

На ПС 35 кВ необходимо предусмотреть организацию автоматизированного сбора данных с приборов учёта электроэнергии, включая собственные и хозяйственные нужды ПС 35 кВ, в соответствии со следующими нормативными документами: РД 34.09.101-94 [20], ПУЭ [16], ПТЭЭП [15], Стандартом СТО 34.01-5.1-008-2018 [24].

Измерительные трансформаторы тока в ячейках КРУМ 6 кВ должны иметь класс точности не ниже 0,5S. Класс точности измерительных трансформаторов напряжения должен быть не ниже 0,5.

Для обоснования выбора типа и характеристик коммутационных аппаратов необходимо выполнить расчет токов КЗ во всех цепях ПС 35.

Все реализуемые технические мероприятия должны обеспечивать соответствие параметров существующего и вновь устанавливаемого оборудования ПС 35 «Молокозавод» и прилегающей сети 6 кВ расчетным токам нагрузки и КЗ.

При реконструкции ПС 35 кВ должны быть обеспечены требования электромагнитной совместимости согласно СО 34.35.311-2004 [21] и СТО 56947007-29.240.043-2010 [25].

Выводы по разделу. Определены основные технические требования к реконструкции ПС 35 кВ «Молокозавод». Определен перечень необходимых технических характеристик на силовые трансформаторы, оборудование ОРУ 35 кВ и КРУМ 6 кВ, классы точности измерительных трансформаторов тока и напряжения. Определены требования к расчету уставок и типам релейной защиты и автоматики силовых трансформаторов Т1 и Т2, ОРУ 35 кВ и КРУМ 6 кВ. Определены условия организации учета электроэнергии, в том числе и на собственные нужды ПС 35 кВ.

4 Сведения о потребностях объекта

На ПС 35 кВ «Молокозавод» предполагается установка двух трансформаторов собственных нужд. ТСН устанавливаются в ячейках КРУМ 6 кВ [27]. Мощность трансформаторов собственных нужд ТСН1 и ТСН2 рассчитывается по нагрузке собственных нужд ПС 35 кВ [11], которая сведена в таблицу 2.

Таблица 2 – Нагрузка собственных нужд ПС 35 кВ

| Тип нагрузки | $P_{уст}, \text{кВт}$ | K_C | $P_{расч}, \text{кВт}$ |
|--------------------------|-----------------------|-------|------------------------|
| Освещение ОРУ | 0,9 | 0,7 | 0,63 |
| Освещение КРУМ 6 кВ | 0,58 | 0,7 | 0,41 |
| Вентиляция КРУМ 6 кВ | 4,5 | 0,8 | 3,6 |
| Обогрев КРУМ 6 кВ | 9,6 | 1 | 9,6 |
| Обогрев шкафов ОРУ | 6 | 1 | 6 |
| Питание шкафов ШОВ 35 кВ | 3 | 1 | 3 |
| Охлаждение Т1 | 4,8 | 0,8 | 3,84 |
| Охлаждение Т2 | 4,8 | 0,8 | 3,84 |
| Питание РПН Т1, Т2 | 2 | 0,8 | 1,6 |
| Питание ЩПТ | 12 | 1 | 12 |
| Итого | 48,2 | - | 44,5 |

Нагрузка собственных нужд ПС 35 кВ определяется по каждому вновь вводимому силовому трансформатору Т1 и Т2. При расчете нагрузки учтены освещение территории подстанции и КРУМ 6 кВ, обогрев шкафов ОРУ 35 кВ и КРУМ 6 кВ в зимнее время, а также питание щитков собственных нужд.

Выводы по разделу. Исходя из нагрузки собственных нужд на ПС 35 кВ «Молокозавод» предлагается установить два трансформатора собственных нужд в ячейках КРУМ 6 кВ.

5 Разработка технических решений по реконструкции ПС 35 кВ «Молокозавод»

5.1 Планирование места расположения ПС 35 кВ

ПС 35 кВ «Молокозавод» расположена в Самарской обл. в Сызранском районе вблизи с. Ивашевка.

Самарская область находится в поясе континентального климата умеренных широт с характерными вторжениями арктического и тропического воздуха. В географическом отношении площадка ПС 35 кВ расположена на правом берегу реки Тишерек. Рельеф поверхности ее относительно ровный, с небольшим уклоном на северо-восток.

По строительно-климатическому районированию согласно СП 131.13330.2020 «СНиП 23-01-99* Строительная климатология» [22] Самарская область относится:

- климатический район – ПВ;
- расчетная температура самой холодной пятидневки -30°C ;
- «средняя многолетняя температура воздуха $+5,4^{\circ}\text{C}$;
- самый холодный месяц, как правило, январь, наиболее низкая температура $-45,8^{\circ}\text{C}$;
- самый теплый месяц, как правило июль, максимальная температура $+42,7^{\circ}\text{C}$;
- среднегодовое количество осадков 400 – 450 мм, наибольшее количество их приходится на теплый период года (апрель - октябрь);
- устойчивый снежный покров образуется в конце ноября, разрушается он, как правило, в первых числах апреля, продолжительность безморозного периода - 150 суток;
- ветровой район по давлению – III, преобладающее направление ветра в течении холодного периода, в основном, юго-восточное, в теплый

период года – северное и северо-западное, наибольшая скорость ветра может достигать 25 м/сек;

- район по весу снегового покрова – IV, толщина стенки гололеда 1 раз в 25 лет – 20 мм» [22].

Устойчивый снежный покров образуется в конце ноября, разрушается он, как правило, в первых числах апреля. Продолжительность безморозного периода - 150 суток.

Нормативная глубина сезонного промерзания грунта равна 154 см.

Почвенный грунт в районе расположения ПС 35 кВ чернозем, мощностью 0,4 – 0,5 м. Под почвенным грунтом залегает суглинок светло-бурый, твердый, с примазками солей карбонатов, максимальная вскрытая мощность – 9,4 м. Подземные воды скважинами, пройденными до глубины 10,0 м, не вскрыты. Территория по критериям типизации по подтопляемости - III-А(неподтопляемая). Таким образом, гидрогеологические условия участка благоприятны для строительства.

В соответствии с ГОСТ 25100-95 [3] в инженерно-геологическом разрезе участка выделено 2 инженерно-геологических элемента (ИГЗ):

- ИГЗ 1 - почвенно-растительный грунт,
- ИГЗ 2 -суглинок твердый, непросадочный.

По данным химического анализа грунты территории ПС 35 кВ неагрессивны к конструкциям из бетона и железобетона, коррозионная агрессивность к стали почвы - средняя (УЗС 21-31 Ом·м), суглинка - высокая (УЗС 11-19 Ом·м).

По относительной деформации морозного пучения в зоне промерзания суглинка ИГЗ 2- среднепучинистые, почвенный грунт – слабопучинистый [3].

Реконструкция ПС 35 кВ «Молокозавод» проводится без расширения ее территории. Поэтому вопрос изменения границ санитарно-защитных зон данным проектом не предусматривается. Все принимаемые технические решения обеспечивают выполнение всех экологических требований и не

вливают на общую электромагнитную обстановку прилегающих территорий к ПС 35 кВ.

Все реконструируемые объекты расположены на территории действующей подстанции 35 кВ «Молокозавод» и не нарушают предусмотренную схему генерального плана района.

При реконструкции необходимо дополнительное благоустройство площадки строительства: освещение территории ПС, восстановление нарушенного покрытия.

5.2 Решения по изменению архитектуры объекта ПС 35 кВ «Молокозавод»

На территории реконструируемой ПС 35 кВ «Молокозавод» расположены ОРУ 35 кВ, КРУ 6 кВ и помещение ОПУ.

В ходе реконструкции на подстанции на первом этапе выполнена замена трансформатора Т2 мощностью 4 МВ А на трансформатор 10 МВ А, на втором этапе установка трансформатора Т1 мощностью 10 МВ А, замена КРУ наружной установки на модульный КРУМ 6 кВ производства группы компаний «Электрощит» [7].

Установка силовых трансформаторов, КРУМ 6 кВ произведена на ранее отведенные для этого оборудования места. Поэтому планировочная схема территории подстанции остается прежняя и расширение территории ПС 35 кВ не производится.

Размещение оборудования управления, защиты, сигнализации и учета произведено во вновь устанавливаемом здании КРУМ 6 кВ с коридором обслуживания. В здании также расположены системы собственных нужд и постоянного оперативного тока ПС 35 кВ.

Внутренние размеры КРУМ 6 кВ приняты с учетом размеров и размещения оборудования в соответствии с ПУЭ [16]. Здание КРУМ – модульное, состоящее из сэндвичпанелей. Модульное здание отличается

простотой монтажа, низкими монтажными и эксплуатационными затратами, высокой теплоизолирующей способностью. В здание КРУМ 6 кВ предусмотрен два входа в здание. У каждого входа выполнена металлическая лестница с площадкой заводской поставки.

Двери в КРУМ 6 кВ выполнены одностворчатыми из стального листа с утеплением. Все дверные проемы обеспечены двухконтурным уплотнением. Для защиты корпуса от атмосферных осадков применено порошковое лакокрасочное покрытие. Крыша КРУМ 6 кВ выполнена двухскатной. Помещения с постоянным прибыванием людей на ПС 35 кВ отсутствуют. В здании КРУМ предусмотрено искусственное освещение.

5.3 Конструктивные решения по ОРУ 35 кВ и КРУМ 6 кВ

Конструктивные решения по ОРУ 35 кВ и КРУМ 6 кВ заключаются в следующем:

- произведена замена существующего трансформатора мощностью 4 МВА на силовой трансформатор 10 МВА (первый этап) и установка второго трансформатора мощностью 10 МВА (второй этап);
- выполнена замена КРУ 6 кВ на КРУМ 6 кВ,
- выполнена установка нового ТН-35,
- выполнена установка ТСН;
- устройство подвесных металлических кабельных лотков для кабельных линий 6 кВ,
- монтаж металлических рам под оборудование 35 кВ,
- устройство фундаментов под оборудование ОРУ 35 кВ,
- замена маслоприемников трансформаторов Т1 и Т2;
- устройство маслоотвода и маслосборника,
- замена заземляющего устройства ПС 35 кВ,
- выполнена установка ТН-6,
- выполнена установка микропроцессорных защит в КРУМ 6 кВ,

- устройство фундаментов и рам под КРУМ 6 кВ.

Электрическая схема ОРУ 35 кВ принята «Мостик с выключателями в цепях линий и ремонтной перемычкой со стороны линии» [26] (рисунок 2).

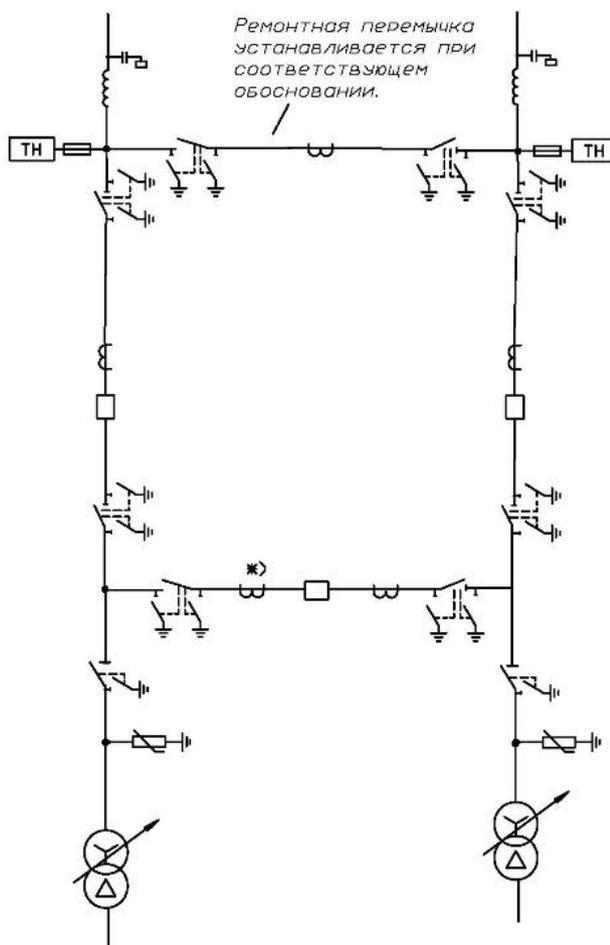


Рисунок 2 – Принятая схема ОРУ 35 кВ ПС 35 кВ «Молокозавод» после реконструкции

В КРУМ 6 кВ принята «одна секционированная выключателем система шин» [26]. В КРУМ 6 кВ применены ячейки «КТПМ 35/6» типа К-ХV с выкатными элементами. В ячейках КРУМ 6 кВ используются выключатели ВВУ СЭЩ 10 производства группы компаний «Электрощит» [7].

На всех присоединениях 6 кВ предусмотрена возможность определения места повреждения на ВЛ-6 кВ. Данная функция реализована в устройствах защиты отходящих линий Сириус-2Л.

Ячейки КРУМ 6 кВ установлены на блочный фундамент со стальной рамой. Ячейки отходящих линий КРУМ 6 кВ применяются с воздушными выводами.

В КРУМ 6 кВ располагаются:

- ячейки «КТПМ 35/6» типа К-ХV с выкатными элементами;
- шкафы с ТСН1 и ТСН2,
- шкафы СОПТ,
- шкаф АИИС КУЭ;
- шкаф учета электроэнергии Т1, Т2 на стороне 35 кВ.

На ПС 35 кВ используется гибкая ошиновка. В качестве шин 35 кВ применяется провод АС-95.

Прокладка силовых и контрольных кабелей на территории подстанции организована в надземных металлических лотках. Кабели оборудования по ОРУ-35 кВ проложены по разным трассам. В кабельных лотках контрольные и силовые кабели разделены.

5.4 Рекомендации к системе АИИС КУЭ ПС 35 кВ

При реконструкции ПС 35 кВ предусмотрено создание автоматизированной информационно-измерительной системы коммерческого учета электроэнергии (АИИС КУЭ). Для этого предусмотрен учет электроэнергии всех входящих и отходящих линий, а также учёт электроэнергии на ТСН.

Счетчики электрической энергии необходимо расположить в ячейках КРУМ 6 кВ (1, 2 с.ш.), а счетчики учета стороны 35 кВ в отдельном шкафу в помещении КРУМ 6 кВ.

В качестве счетчиков электроэнергии рекомендовано выбрать счетчики производства ФГУП «Нижегородский завод им. М. В. Фрунзе» [10]:

- СЗТ-4ТМ.03М на номинальное напряжение 3 (57,7-115)/(100-200) В, номинальный (максимальный) ток 5(10) А, класс точности при измерении активной/реактивной энергии 0,2S/0,5 для присоединений 35 кВ (Т1, Т2);

- СЗТ-4ТМ.03М.01 на номинальное напряжение 3 (57,7-115)/(100-200) В, номинальный (максимальный) ток 5(10) А, класс точности при измерении активной/реактивной энергии класс точности 0,55/1,0 для присоединений 6 кВ.

Счетчики СЗТ-4ТМ необходимо объединить магистралями RS-485 по одному двухпарному кабелю и подключаются к УСПД, расположенному в помещении КРУМ 6 кВ в шкафу СКУ.

Данные АИИС КУЭ должны передаваться в Центр сбора информации АИИС КУЭ филиала ПАО «МРСК Волги»-«Самарские распределительные сети» по каналу OSM связи с помощью роутера IRZ RUN3 и модема IRZ ATM2.

5.5 Система оперативного тока

На ПС 35 кВ «Молокозавод» в качестве источников постоянного оперативного тока приняты выпрямительные устройства шкафа ШОТЭ совмещённые со шкафами распределения оперативного тока (ШРОТ). Номинальный ток устройств ПНЗП - 50 А. Система оперативного тока (СОПТ) имеет две секции 220 В, каждая из которых располагается в шкафу ввода и распределения ШРОТ, производства НПП «ЭКРА» [9].

При пропадании или выходе за допустимые пределы напряжения питания любого из двух зарядно-подзарядных устройств, питание потребителей постоянного тока производится от второго устройства.

В настоящее время идет интенсивное развитие технологий накопления энергии. К аккумуляторам предъявляются требования не только к техническим характеристикам (например, емкость, габариты), но и экономическим (КПД, быстродействие) [32]. Современные

быстродействующие системы накопления энергии позволяют полностью управлять энергообменом для организации желаемого жизненного цикла [30]. Позитивный опыт применения таких накопителей позволяет их все шире интегрировать для применения на энергообъектах – электростанциях и подстанциях [33].

Проектом предусмотрена установка аккумулятора GF 06 180 компании «Ghibli-wirbel» [6]. Срок службы аккумуляторов GF серии 06 составляет 15 лет при температуре окружающей среды 20°C. Емкость устанавливаемого аккумулятора 280 Ач, номинальное напряжение отдельных моноблоков 6 В. Аккумуляторы на территории КРУМ 6 кВ устанавливаются в аккумуляторных шкафах.

5.6 Обеспечение требований электромагнитной совместимости для микропроцессорной аппаратуры (МП) и изоляции вторичных цепей ПС 35 кВ

Важнейшим фактором обеспечения электромагнитной совместимости на подстанциях является сопротивление сети заземления и системы уравнивания потенциалов, которая должна быть построена с подсистемами и подключена к системе заземления. Кроме того, на подстанциях необходимо принять соответствующие меры (экранирование и компенсацию) для уменьшения воздействия на микропроцессорную аппаратуру и их передачи на вторичные системы [28].

Реконструируемая ПС 35 кВ имеет небольшие размеры (37 м в ширину и 37 м в длину), что способствует в случае КЗ возникновению разности потенциалов, не представляющих опасности для микропроцессорной аппаратуры (МП) и изоляции вторичных цепей, которые подходят к этой аппаратуре.

Небольшие размеры ПС 35 кВ так же обуславливают наличие импульсных магнитных полей, не представляющих опасности для устанавливаемой МП аппаратуры.

Для обеспечения требований электромагнитной совместимости согласно СО 34.35.311-2004 [21], СТО 56947007-29.240.043-2010 [25] предусмотрены следующие мероприятия:

- силовые и контрольные кабели прокладываются отдельно с максимальным удалением от источников импульсных помех;
- кабели 0,4 кВ по территории ОРУ 35 кВ прокладываются по разным трассам.

Для защиты МП РЗА от импульсных помех проектом предусмотрено:

- применение экранированных кабелей (КВВГЭнг-LS) с двусторонним заземлением экрана;
- применение экранирующих шкафов для аппаратуры с толщиной стенки не менее 2 мм;
- силовые и контрольные кабели прокладываются отдельно друг от друга.

При совместной прокладке силовых кабелей и вторичных кабелей с цепями измерения, управления и сигнализации по одной трассе, расстояние между ними в свету должно быть не менее:

- 0,45 м – для кабелей с цепями 220 В,
- 0,6 м – для кабелей с цепями 380 В,
- 1,2 м – для кабелей 6, 10 кВ.

Для экранированных цепей указанные расстояния могут быть снижены в 2 раза.

По территории ОРУ 35 кВ «контрольные кабели прокладываются в металлических кабельных лотках, которые дополнительно экранируют кабели от воздействия электромагнитных полей со стороны ошиновки, высоковольтного оборудования, при ударе молнии, а также при различных видах коротких замыканий и коммутационных перенапряжениях.

Металлические кабельные конструкции и высоковольтное оборудование заземляются» [28].

МП аппаратура устанавливается внутри металлического КРУМ 6 кВ заводского исполнения. КРУМ 6 кВ выполнено из сэндвич-панелей, имеющих две заземляющиеся металлические оболочки, что обеспечивает экранирование, устанавливаемого внутри оборудования от электромагнитных помех и импульсных перенапряжений.

Дополнительной защитой так же является металлическая оболочка ячеек и шкафов КРУМ 6 кВ, в которых размещается оборудование.

В целях снижения помех импульсных перенапряжений предусмотрены следующие мероприятия при строительстве заземляющего устройства ПС 35 кВ:

- «спуски полос заземления от оборудования к заземляющим устройствам выполнены по кратчайшему расстоянию;
- разработка систем уравнивания потенциалов, экранирование и компенсация возмущений и их передачи во вторичные системы» [31].

Выполнение всех экологических требований при реконструкции ПС 35 кВ не влияют на общую электромагнитную обстановку существующих сооружений и персонал.

5.7 Этапы реконструкции ПС 35 кВ

Реконструкция ПС 35 кВ «Молокозавод» выполняется без перерыва электроснабжения потребителей. Монтажные работы проводятся в несколько этапов. На первом этапе выполняется замена оборудования 1-й секции ТП, в ходе которой выполняется:

- перевод питания всех потребителей от 2-й секции КРУН 6 кВ;
- демонтаж 1-й секции КРУН 6 кВ;
- монтаж нового оборудования 35 кВ 1 секции взамен демонтированного;

- замена заземляющего устройства ПС со стороны 1-й секции;
- демонтаж существующего маслоприемника силового трансформатора Т1;
- устройство нового маслоприемника и фундамента силового трансформатора Т1;
- устройство маслоотвода и маслосборника;
- монтаж силового трансформатора Т1 35/6 кВ мощностью 10 МВА;
- монтаж 1-й секции КРУМ 6 кВ.

После выполнения указанных работ, питание подстанции переводится на первую секцию шин. После перевода питания ПС 35 кВ и потребителей 6 кВ на первую секцию, производятся работы на второй секции:

- демонтаж 2-й секции КРУН 6 кВ;
- монтаж нового оборудования 35 кВ 2 секции взамен демонтированного;
- замена заземляющего устройства ПС со стороны 2-й секции;
- демонтаж существующего маслоприемника силового трансформатора Т2;
- устройство нового маслоприемника и фундамента силового трансформатора Т2;
- устройство маслоотвода и маслосборника;
- монтаж силового трансформатора Т2 35/6 кВ мощностью 10 МВА;
- монтаж 2-й секции КРУМ 6 кВ.

Выводы по разделу. Разработаны технические решения по реконструкции ПС 35 кВ. Показано, что разработанные технические решения не повлияют на общую электромагнитную обстановку существующих решений. Разработаны этапы проведения реконструкции ПС 35 кВ «Молокозавод».

6 Обоснование замены силовых трансформаторов Т1 и Т2 на ПС 35 кВ

На молокозаводе «Радужный» из-за увеличения поголовья крупного рогатого скота и увеличения объема сырого молока увеличилось количество электроприемников (ЭП), технологические характеристики которых приведены в таблице 3. На молокозаводе «Радужный» сейчас ведется не только прием молока, его сепарирование, но и поставлено новое технологическое оборудование – автоматизированные технологические ленты по производству сметаны и творога. Поэтому потребовалось увеличение другого технологического оборудования – холодильников, компрессоров. На предприятии появились новые помещения – наряду корпусом цельного молока – корпус по переработке молочной продукции и гараж.

Таблица 3 – Технологические характеристики существующих и вновь введенных электроприемников молокозавода «Радужный»

| Тип ЭП | $U_{\text{ном}}$, кВ | $P_{\text{уст}}$, кВА | n |
|--|-----------------------|------------------------|-----|
| Существующие ЭП | | | |
| Доильная установка | 0,4 | 30 | 8 |
| Вакуумные насосы | 0,4 | 4 | 10 |
| Технологическая линия приготовления и раздачи корма | 0,4 | 328,5 | 2 |
| Моечный аппарат | 0,4 | 129 | 5 |
| Холодильная установка | 0,4 | 21,6 | 10 |
| Технологическая линия разлива и упаковки молока | 0,4 | 290,8 | 2 |
| Компрессор | 0,4 | 120 | 2 |
| Освещение | 0,23 | 9,3 | - |
| Вновь введенные ЭП | | | |
| Автоматизированная технологическая лента по производству творога | 0,4 | 259,2 | 2 |
| Автоматизированная технологическая лента по производству сметаны | 0,4 | 325,1 | 2 |
| Доильная установка | 0,4 | 30 | 10 |
| Холодильная установка | 0,4 | 25,8 | 10 |
| Вакуумные насосы | 0,4 | 4 | 10 |
| Компрессор | 0,4 | 150 | 4 |

Продолжение таблицы 3

| Тип ЭП | $U_{\text{ном}}$, кВ | $P_{\text{уст}}$, кВА | n |
|---------------------|-----------------------|------------------------|-----|
| Оборудование гаража | 0,4 | 39 | 13 |
| Освещение | 0,23 | 15,2 | - |

Из таблицы 3 видно, что наиболее энергозатратным оборудованием являются доильные аппараты и охладительные установки, а также автоматизированные технологические линии по производству продукции молочной переработки – сметаны и творога. На молокозаводе «Радужный» планируется в 2025 г. установка автоматизированной технологической ленты по производству творога. Планируется строительство корпуса по производству сухого молока и консервации. Таким образом, рост электропотребления обусловлен установкой нового автоматизированного технологического оборудования, что привело также к введению новых производственных площадей. Ожидается в ближайшем будущем еще ввод дополнительных мощностей.

Вывод по разделу. Из-за установки нового технологического оборудования произошел рост мощностей и количества электроприемников молокозавода «Радужный» на 152%, что способствовало принятию решению по замене силовых трансформаторов Т1 и Т2 на ПС 35 кВ «Молокозавод» с мощности на 4 МВА на мощность 10 МВА.

7 Токи короткого замыкания и обоснование устанавливаемого оборудования на ПС 35 кВ

Расчет токов короткого замыкания выполнен в соответствии с РД-153-34-0-20.527-98 [19] и ГОСТ Р 52735-2007 [4].

Расчет токов КЗ выполняется, так как «любое оборудование должно надежно функционировать не только в условиях нормальной работы, но и в аварийных условиях. Поэтому проверка электрооборудования на термическую и динамическую стойкость при КЗ, а коммутационных аппаратов на отключающую способность, является обязательным условием безотказного действия электрооборудования» [12].

Для расчета токов КЗ необходимо знать длину и тип питающих линий ВЛ 35 кВ. По техническим условиям ПАО «МРСК Волги»-«Самарские распределительные сети» предоставлено ПАО «МРСК Волги»-«Самарские распределительные сети», что ОРУ 35 кВ ПС 35 кВ «Молокозавод» через воздушные линии 35 кВ «Ивашевка-1» и «Ивашевка-2» длиной 15 км получает питание от ГПП-1 «СЗТМ» (принимаем за систему). Расчетная схема токов КЗ сети 35 кВ в максимальном и минимальном режиме на шинах ПС 35 кВ представлена на рисунке 2.

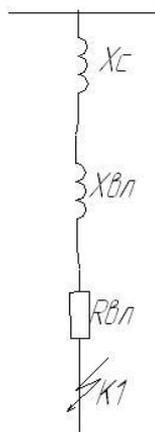


Рисунок 2 – Расчетная схема токов короткого замыкания сети в максимальном и минимальном режиме на шинах ПС 35 кВ, приведенная для Т1

Характеристики ВЛ 35 кВ [1] для расчета токов КЗ в максимальном и минимальном режиме на шинах ПС 35 кВ «Молокозавод» приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Характеристики ВЛ 35 кВ для расчета токов КЗ в максимальном и минимальном режиме на шинах ПС 35 кВ «Молокозавод»

| Наименование ВЛ | Марка провода | Допустимый ток линии $I_{\text{доп}}$, А при $t=-5^0/+25^0$ | Аварийно допустимый ток линии $I_{\text{ав.доп}}$, А при $t=-5^0/+25^0$ | Протяженность линии l , км | $\frac{R_0}{X_0'}$, Ом/км |
|-----------------|---------------|--|--|------------------------------|----------------------------|
| «Ивашевка -1» | АС-150 | 440/366 | 440/400 | 15 | 0,210/0,420 |
| «Ивашевка -2» | АС-150 | 440/366 | 440/400 | 15 | 0,210/0,420 |

На основании данных таблицы 4 рассчитаны сопротивления ВЛ 35 кВ «Ивашевка -1» и «Ивашевка -2»:

$$X_{\text{ВЛ}} = X_0 \cdot l, X_{\text{ВЛ}} = 6,3 \text{ Ом}, \quad (1)$$

$$R_{\text{ВЛ}} = R_0 \cdot l, R_{\text{ВЛ}} = 3,15 \text{ Ом}. \quad (2)$$

Представленные данные филиалом ПАО «МРСК Волги»-«Самарские распределительные сети» для максимального и минимального режимов на шинах 35 кВ и 6 кВ ПС 35 кВ «Молокозавод» в точке К1 представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Токи короткого замыкания сети в максимальном и минимальном режиме на шинах ПС 35 кВ

| Наименование ПС | $U_{\text{ном}}$, кВ | $I_{k(3)}$, А | $I_{k(2)}$, А | $i_{\text{уд}}$, А |
|--------------------|-----------------------|----------------|----------------|---------------------|
| Максимальный режим | | | | |
| «Молокозавод» | 35 | 1440 | 1240 | 3654 |
| «Молокозавод» | 6 | 5800 | 4988 | 15129 |
| Минимальный режим | | | | |
| «Молокозавод» | 35 | 940 | 890 | 2385 |
| «Молокозавод» | 6 | 3700 | 3182 | 8300 |

От КРУМ 6 кВ от 1-й секции 1 запитаны четыре ВЛ 6 кВ, от 2-й секции – пять ВЛ 6 кВ.

Характеристики ВЛ 6 кВ «Молокозавод -1» – «Молокозавод -9» [1] для расчета сопротивлений по (1) и (2) и токов КЗ на шинах ПС 35 кВ «Молокозавод» приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Характеристики ВЛ 6 кВ для расчета токов КЗ на шинах ПС 35 кВ «Молокозавод»

| Наименование ВЛ | Марка провода | Допустимый ток линии $I_{доп}$, А при $t=-5^0/+25^0$ | Аварийно допустимый ток линии $I_{ав.доп}$, А при $t=-5^0/+25^0$ | Протяженность линии l , м | $\frac{R_0}{X'_0}$ Ом/км |
|------------------|---------------|---|---|-----------------------------|-----------------------------|
| «Молокозавод -1» | АС-50 | 210/175 | 210/190 | 2500 | 0,592/0,382 |
| «Молокозавод -2» | АС-50 | 210/175 | 210/190 | 2100 | 0,592/0,382 |
| «Молокозавод -3» | АС-50 | 210/175 | 210/190 | 950 | 0,592/0,382 |
| «Молокозавод -4» | АС-95 | 330/275 | 330/300 | 2780 | 0,420/0,371 |
| «Молокозавод -5» | АС-50 | 210/175 | 210/190 | 1900 | 0,592/0,382 |
| «Молокозавод -6» | АС-50 | 210/175 | 210/190 | 2350 | 0,592/0,382 |
| «Молокозавод -7» | АС-50 | 210/175 | 210/190 | 2070 | 0,592/0,382 |
| «Молокозавод -8» | АС-50 | 210/175 | 210/190 | 870 | 0,592/0,382 |
| «Молокозавод -9» | АС-95 | 330/275 | 330/300 | 1950 | 0,420/0,371 |

Расчетные значения токов КЗ по присоединениям на стороне 35 кВ и 6 кВ и данные для коммутирующего оборудования ПС 35 кВ по Т1 сведены в таблицу 7.

Таблица 7 – Расчетные значения токов КЗ по присоединениям на стороне 35 кВ и 6 кВ и данные для коммутирующего оборудования по Т1 ПС 35 кВ

| Присоединение | Расчетные данные | | | | | Данные оборудования | | | | |
|-----------------------|------------------|-----------|-----------------|---------------|----------------------------|---------------------|---------------|---------------------|----------------|--------------------------------------|
| | $U_{ном}$, кВ | I_p , А | $I_{k(3)}$, кА | $i_{уд}$, кА | B_k , кА ² ·с | $U_{ном}$, кВ | $I_{ном}$, А | $I_{откл}/I_T$, кА | $i_{дин}$, кА | $I_T \cdot t_T$, кА ² ·с |
| ОРУ 35, ВВ1 35 | 35 | 231 | 1,44 | 3,65 | 3,5 | 40,5 | 630 | 12,5 | 31 | 625 |
| ОРУ 35, ВВ1 35, ТТ 35 | 35 | 231 | 1,44 | 3,65 | 3,5 | 40,5 | 300 | 31,5 | 78,8 | 992,25 |
| КРУМ 6, ВВ2 6 | 6 | 1348 | 5,8 | 15,3 | 43,73 | 12 | 1600 | 25 | 80 | 1875 |

Продолжение таблицы 7

| Присоединение | Расчетные данные | | | | | Данные оборудования | | | | |
|------------------------------------|-------------------------|-------------|-------------------|------------------------|------------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------------|-------------------------|--|
| | $U_{\text{ном}},$ кВ | $I_p,$ А | $I_{k(3)},$ кА | $i_{\text{уд}},$ кА | $B_k,$ кА ² ·с | $U_{\text{ном}},$ кВ | $I_{\text{ном}},$ А | $I_{\text{откл}}/I_T,$ кА | $i_{\text{дин}},$ кА | $I_T \cdot t_T,$ кА ² ·с |
| КРУМ 6, яч. ВВ2 6, ТТ 6 | 6 | 1348 | 5,8 | 15,3 | 43,73 | 12 | 1500 | 40 | 100 | 1600 |
| КРУМ 6, СВ 6 | 6 | 1348 | 5,8 | 15,3 | 43,73 | 12 | 1600 | 25 | 80 | 1875 |
| КРУМ 6, яч. СВ 6, ТТ 6 | 6 | 1348 | 5,8 | 15,3 | 43,73 | 12 | 1500 | 40 | 100 | 1600 |
| КРУМ 6, яч. 1-2, ВЛ 6 | 6 | 200 | 0,88 | 2,3 | 0,03 | 12 | 1000 | 20 | 51 | 1200 |
| КРУМ 6, яч. 1-2, ВЛ 6, ТТ 6 | 6 | 200 | 0,88 | 2,3 | 0,03 | 12 | 200 | 31,5 | 78,8 | 902,25 |
| КРУМ 6, яч. 1-3, ВЛ 6 | 6 | 200 | 1,9 | 15,3 | 0,15 | 12 | 1000 | 20 | 51 | 1200 |
| КРУМ 6, яч. 1-3, ВЛ 6, ТТ 6 | 6 | 200 | 1,9 | 15,3 | 0,15 | 12 | 200 | 31,5 | 78,8 | 902,25 |
| КРУМ 6, яч. 1-4, ТСН1 | 6 | 6 | 0,4 | 0,84 | 0,06 | 12 | 1000 | 20 | 51 | 1200 |
| КРУМ 6, яч. 1-4, ТСН1 ТТ 6 | 6 | 6 | 0,4 | 0,84 | 0,06 | 12 | 50 | 8 | 20 | 64 |
| КРУМ 6, яч. 1-7, ВЛ 6 | 6 | 200 | 3,6 | 9,4 | 0,52 | 12 | 1000 | 20 | 51 | 1200 |
| КРУМ 6, яч. 1-7, ВЛ 6, ТТ 6 | 6 | 200 | 3,6 | 9,4 | 0,52 | 12 | 200 | 31,5 | 78,8 | 902,25 |
| КРУМ 6, яч. 1-9, ВЛ 6 | 6 | 330 | 0,33 | 0,86 | 0,04 | 12 | 1000 | 20 | 51 | 1200 |
| КРУМ 6, яч. 1-9, ВЛ 6, ТТ 6 | 6 | 330 | 0,33 | 0,86 | 0,04 | 12 | 600 | 31,5 | 78,8 | 902,25 |
| КРУМ 6, яч. 1-10, ВЛ 6 | 6 | 200 | 1,8 | 4,7 | 0,13 | 12 | 1000 | 20 | 51 | 1200 |
| КРУМ 6, яч. 1-10, ВЛ 6, ТТ 6 | 6 | 200 | 1,8 | 4,7 | 0,13 | 12 | 400 | 31,5 | 78,8 | 902,25 |

Расчетные значения токов КЗ по присоединениям на стороне 35 кВ и 6 кВ и данные для коммутирующего оборудования ПС 35 кВ по Т2 сведены в таблицу 8.

Таблица 8 – Расчетные значения токов КЗ по присоединениям на стороне 35 кВ и 6 кВ и данные для коммутирующего оборудования по Т2 ПС 35 кВ

| Присоединение | Расчетные данные | | | | | Данные оборудования | | | | |
|------------------------------------|------------------|-------------|-------------------|-----------------|------------------------------|---------------------|-----------------|-----------------------------|------------------|--|
| | $U_{ном},$ кВ | $I_p,$ А | $I_{k(3)},$ кА | $i_{уд},$ кА | $W_k,$ кА ² ·с | $U_{ном},$ кВ | $I_{ном},$ А | $I_{откл}$ $/I_T,$ кА | $i_{дин},$ кА | $I_T \cdot t_T,$ кА ² ·с |
| ОРУ 35, ВВ2 35 | 35 | 231 | 1,44 | 3,65 | 3,5 | 40,5 | 630 | 12,5 | 31 | 625 |
| ОРУ 35, ВВ2 35, ТТ 35 | 35 | 231 | 1,44 | 3,65 | 3,5 | 40,5 | 300 | 31,5 | 78,8 | 992,25 |
| КРУМ 6, ВВ2 6 | 6 | 1348 | 5,8 | 15,3 | 43,73 | 12 | 1600 | 25 | 80 | 1875 |
| КРУМ 6, яч. ВВ2 6, ТТ 6 | 6 | 1348 | 5,8 | 15,3 | 43,73 | 12 | 1500 | 40 | 100 | 1600 |
| КРУМ 6, СВ 6 | 6 | 1348 | 5,8 | 15,3 | 43,73 | 12 | 1600 | 25 | 80 | 1875 |
| КРУМ 6, яч. СВ 6, ТТ 6 | 6 | 1348 | 5,8 | 15,3 | 43,73 | 12 | 1500 | 40 | 100 | 1600 |
| КРУМ 6, яч. 1-11, ВЛ 6 | 6 | 200 | 0,79 | 2,15 | 0,028 | 12 | 1000 | 20 | 51 | 1200 |
| КРУМ 6, яч. 1-11, ВЛ 6, ТТ 6 | 6 | 200 | 0,88 | 2,15 | 0,028 | 12 | 200 | 31,5 | 78,8 | 902,25 |
| КРУМ 6, яч. 1-12, ВЛ 6 | 6 | 200 | 1,9 | 15,3 | 0,15 | 12 | 1000 | 20 | 51 | 1200 |
| КРУМ 6, яч. 1-12, ВЛ 6, ТТ 6 | 6 | 200 | 1,9 | 15,3 | 0,15 | 12 | 200 | 31,5 | 78,8 | 902,25 |
| КРУМ 6, яч. 1-14, ТСН2 | 6 | 6 | 0,4 | 0,84 | 0,06 | 12 | 1000 | 20 | 51 | 1200 |
| КРУМ 6, яч. 1-14, ТСН2 ТТ 6 | 6 | 6 | 0,4 | 0,84 | 0,06 | 12 | 50 | 8 | 20 | 64 |
| КРУМ 6, яч. 1-15, ВЛ 6 | 6 | 200 | 3,6 | 9,4 | 0,52 | 12 | 1000 | 20 | 51 | 1200 |
| КРУМ 6, яч. 1-15, ВЛ 6, ТТ 6 | 6 | 200 | 3,6 | 9,4 | 0,52 | 12 | 200 | 31,5 | 78,8 | 902,25 |
| КРУМ 6, яч. 1-16, ВЛ 6 | 6 | 200 | 0,43 | 1,15 | 0,06 | 12 | 1000 | 20 | 51 | 1200 |
| КРУМ 6, яч. 1-16, ВЛ 6, ТТ 6 | 6 | 200 | 0,43 | 1,15 | 0,06 | 12 | 200 | 31,5 | 78,8 | 902,25 |
| КРУМ 6, яч. 1-17, ВЛ 6 | 6 | 200 | 1,92 | 5,12 | 0,23 | 12 | 1000 | 20 | 51 | 1200 |
| КРУМ 6, яч. 1-17, ВЛ 6, ТТ 6 | 6 | 200 | 1,92 | 5,12 | 0,23 | 12 | 200 | 31,5 | 78,8 | 902,25 |

Продолжение таблицы 8

| Присоединение | Расчетные данные | | | | | Данные оборудования | | | | |
|------------------------------------|------------------|-------------|-------------------|-----------------|------------------------------|---------------------|-----------------|-----------------------------|------------------|--|
| | $U_{ном},$ кВ | $I_p,$ А | $I_{k(3)},$ кА | $i_{уд},$ кА | $B_k,$ кА ² ·с | $U_{ном},$ кВ | $I_{ном},$ А | $I_{откл}$ $/I_T,$ кА | $i_{дин},$ кА | $I_T \cdot t_T,$ кА ² ·с |
| КРУМ 6, яч. 1-20, ВЛ 6 | 6 | 340 | 3,3 | 9,1 | 0,41 | 12 | 1000 | 20 | 51 | 1200 |
| КРУМ 6, яч. 1-20, ВЛ 6, ТТ 6 | 6 | 340 | 3,3 | 9,1 | 0,41 | 12 | 600 | 31,5 | 78,8 | 902,25 |

По расчетным данным токов КЗ принятое оборудование – коммутирующее и измерительное, по ПС 35 кВ «Молокозавод» сведено в таблицу 9.

Таблица 9 – Выбранные выключатели и трансформаторы тока и напряжения ОРУ 35 кВ и КРУМ 6 кВ ТП 35 кВ

| Т1 ОРУ 35 кВ | | | Т2 ОРУ 35 кВ | | |
|----------------------|--|-------------|----------------------|---|-------------|
| Назначение | | Тип | Назначение | | Тип |
| Ввод 1 | ВВ1 | ВВН СЭЩ 35 | Ввод 2 | ВВ2 | ВВН СЭЩ 35 |
| | ТТ1 | ТОЛ СЭЩ 35 | | ТТ2 | ТОЛ СЭЩ 35 |
| ТН1 | | НОЛ СЭЩ 35 | ТН2 | | НОЛ СЭЩ 35 |
| СВ | | ВВН СЭЩ 35 | СВ | | ВВН СЭЩ 35 |
| ТТ СВ | | ТОЛ СЭЩ 35 | ТТ СВ | | ТОЛ СЭЩ 35 |
| Т1 КРУМ 6 кВ | | | Т2 КРУМ 6 кВ | | |
| Ввод 1 | ВВ1 | ВВУ СЭЩ 10 | Ввод 2 | ВВ1 | ВВУ СЭЩ 10 |
| | ТТ1 | ТПЛ СЭЩ 10 | | ТТ1 | ТПЛ СЭЩ 10 |
| ТН1 | | ЗНОЛ СЭЩ 10 | ТН2 | | ЗНОЛ СЭЩ 10 |
| СВ | | ВВУ СЭЩ 10 | СВ | | ВВУ СЭЩ 10 |
| ТТ СВ | | ТПЛ СЭЩ 10 | ТТ СВ | | ТПЛ СЭЩ 10 |
| Отходящие ВЛ 6 кВ | ВЛ 6 №№ 1-4 (яч. 1-2, 1-3, 1-4, 1-10) | ВВУ СЭЩ 10 | Отходящие ВЛ 6 кВ | ВЛ 6 №№ 5-9 (яч. 1-11, 1-12, 1- 15, 1-16, 1-20) | ВВУ СЭЩ 10 |
| | ТТ ВЛ 6 №№ 1-4 (яч. 1-2, 1-3, 1-4, 1-10) | ТПЛ СЭЩ 10 | | ТТ ВЛ 6 №№ 5-9 (яч. 1-11, 1-12, 1- 15, 1-16, 1-20) | ТПЛ СЭЩ 10 |

Принятый номинальный ток вводных и секционного выключателей в ОРУ 35 кВ – 630 А, вводных и секционного выключателей КРУМ 6 кВ – 1600 А, отходящих ВЛ 6 кВ – 1000 А.

Термическая стойкость, вторичная нагрузка измерительных трансформаторов тока ТОЛ СЭЩ 35, установленных в ОРУ 35 кВ, и ТПЛ СЭЩ 10, установленных в КРУМ 6 кВ, соответствует расчетным значениям тока КЗ, приведенным в таблицах 7 и 8.

Вторичная нагрузка измерительных трансформаторов напряжения НОЛ СЭЩ 35, установленных в ОРУ 35 кВ, и ЗНОЛ СЭЩ 10, установленных в КРУМ 6 кВ, соответствует расчетным значениям, приведенным в таблицах 7 и 8.

Выводы по разделу. Определены токи короткого замыкания сети в максимальном и минимальном режиме на шинах ПС 35 кВ. Расчет токов КЗ для максимального и минимального режимов на шинах 35 кВ и 6 кВ ПС 35 кВ «Молокозавод» выполнен по данным филиала ПАО «МРСК Волги»-«Самарские распределительные сети».

В целях проверки основного оборудования ОРУ 35 кВ и КРУМ 6 кВ ПС 35 кВ «Молокозавод» произведен расчет токов КЗ на всех вводах Т1 и Т2, на всех отходящих ВЛ 6 кВ. Выбранные выключатели соответствуют проверочным критериям. Выбранные трансформаторы тока и напряжения соответствуют проверочным критериям.

Получено, что токоограничивающие реакторы на вводах 6 кВ ПС 35 кВ «Молокозавод» устанавливать не требуется. Полученные токи КЗ позволят определить ОПН в ОРУ 35 кВ и КРУМ 6 кВ, а также сопротивление заземляющего устройства ОРУ 35 кВ.

8 ОПН для ОРУ 35 кВ и КРУМ 6 кВ

Выбор ОПН для ОРУ 35 кВ и КРУМ 6 кВ выполнен по «Методические указания по применению ограничителей в электрических сетях 6 – 35 кВ» [13], которые «определяют применение и выбор основных параметров и типа ограничителей в воздушных, кабельных и смешанных сетях 6 - 35 кВ, а также в сетях собственных нужд с учетом режимов заземления нейтрали, компенсации емкостного тока замыкания на землю, работы релейной защиты и противоаварийной автоматики» [13].

Так как на ПС 35 кВ сеть 35 кВ и 6 кВ с изолированной нейтралью [16], то выбор ОПН выполняется по следующим характеристикам.

Наибольшее длительно допустимое рабочее напряжение ограничителя $U_{НРО}$:

$$U_{\text{наиб}} \leq U_{\text{НРО}}. \quad (3)$$

Номинальный разрядный ток ОПН. Для всех ОПН по [13] $I_{\text{рном}} = 10$ кА.

Защитный уровень ОПН при грозовых $U_{\text{остГ}}$ и коммутационных $U_{\text{остК}}$ перенапряжениях:

$$U_{\text{ост}8/20} \leq U_{\text{остГ}}, \quad (4)$$

$$U_{\text{ост}30/60} \leq U_{\text{остК}}, \quad (5)$$

где $U_{\text{ост}8/20}$ и $U_{\text{ост}30/60}$ – нормируемые формы импульса при расчетном токе грозовых перенапряжений при фронте 8/20 мкс и коммутационных перенапряжений при фронте 30/60 мкс.

Выбранные ОПН для ОРУ 35 кВ и КРУМ 6 кВ ТП 35 кВ по (3) – (5) приведены в таблице 10.

Таблица 10 – Выбранные ОПН для ОРУ 35 кВ и КРУМ 6 кВ ТП 35 кВ

| Присоединение | Расчетные данные | | | | | Данные оборудования | | | | |
|---------------|------------------|-----------------|------------|---------------------|----------------------|---------------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | $U_{ном}$, кВ | $U_{наиб}$, кВ | I_p , кА | $U_{ост 8/20}$, кВ | $U_{ост 30/60}$, кВ | $U_{ном}$, кВ | $U_{нро}$, кВ | $I_{рном}$, кА | $U_{остГ}$, кВ | $U_{остК}$, кВ |
| ОРУ 35, Т1 | 35 | 40,5 | 5 | 121 | 95,7 | 35 | 40,5 | 10 | 130 | 146 |
| ОРУ 35, Т2 | 35 | 40,5 | 5 | 121 | 95,7 | 35 | 40,5 | 10 | 130 | 146 |
| КРУМ 6, Т1 | 6 | 7,2 | 5 | 21,2 | 17,5 | 6 | 8,2 | 10 | 27 | 60,14 |
| КРУМ 6, Т2 | 6 | 7,2 | 5 | 21,2 | 17,5 | 6 | 8,2 | 10 | 27 | 60,14 |

Проверка ОПН 35 и ОПН 6 по длине пути утечки внешней изоляции ограничителя расчетной L_p и допустимой $L_{доп}$ по условию:

$$L_p \leq L_{доп}, \quad (6)$$

показала, что при расчетных данных значениях $L_{p35} = 67$ см и $L_{p6} = 19$ см и допустимых значениях $L_{доп35} = 75$ см и $L_{доп6} = 22$ см, условие (6) соблюдается.

Выводы по разделу. Анализ характеристик и расчетных значений, приведенных в таблице 10, позволяет сделать вывод, что для ОРУ 35 кВ и КРУМ 6 кВ подходят по своим характеристикам ОПН-П-35/40,5/10/1,1-III УХЛ1.

9 Разработанные решения по АИИС КУЭ

На ПС 35 кВ «Молокозавод» разработан учет электроэнергии всех входящих и отходящих линий, а также учёт электроэнергии на ТСН1 и ТСН2.

На ПС 35 кВ для АИИС КУЭ выбраны точки учета:

- сторона 35 кВ: питающие линии «Ивашевка -1» и «Ивашевка -2»;
- сторона 6 кВ: 1 секция шин, 2 секция шин, секционный выключатель 6 кВ;
- сторона 0,4кВ: учет на собственные нужды ПС 35 кВ выполняется на ячейках ТСН1 и ТСН2 6 кВ.

Подключение приборов учета к измерительным цепям предусматривается через переходные испытательные коробки.

АИИС КУЭ выполнена как трехуровневая иерархическая интегрированная автоматизированная система:

- уровень ИИК ТУ – информационно-измерительные комплексы точек учета электроэнергии (проведение измерений).
- уровень ИВКЭ – информационно-вычислительный комплекс электроустановки (сбор и обработка результатов измерений). На уровне ИВКЭ находится УСПД «ЭКОМ-3000», производства ООО «Прософт-Системы» [8]. Информационный обмен между уровнями ИВКЭ и ИИК ТУ осуществляется по цифровому интерфейсу RS-4-85.
- уровень ИВК – информационно-вычислительный комплекс центра сбора информации ПАО «МРСК Волги» - «Самарские распределительные сети».

Уровень ИИК ТУ состоит из счетчиков электрической энергии по каждой точке учета и трансформаторов тока и напряжения, подключенных к счетчикам.

Трансформаторы тока и напряжения расположены в КРУМ 6 кВ (1, 2 с.ш.), на ОРУ-35кВ.

Счетчики электрической энергии расположены в ячейках КРУМ 6 кВ (1, 2 с.ш.) и в отдельном шкафу рядом со шкафом СКУ в помещении КРУМ 6 кВ.

В качестве счетчиков электроэнергии выбраны с учетом разработанных рекомендаций счетчики производства ФГУП «Нижегородский завод им. М. В. Фрунзе» типа СЭТ-4ТМ.03М и СЭТ-4ТМ.03М.01 [10].

Данные АИИС КУЭ передаются на ПТК «Энергосфера» в Центр сбора информации АИИС КУЭ филиала ОАО «МРСК Волги»-«Самарские распределительные сети» по каналу GSM связи. Передача данных осуществляется с помощью роутера IRZ RUN3 и модема IRZ A TM2

На уровне ИВКЭ находится УСПД «ЭКОМ-3000», производства группы компаний «Прософт-Системы» [8]. Информационный обмен между уровнями ИВКЭ и ИИК ТУ осуществляется по цифровому интерфейсу RS-485. Применение оборудования (Эком-3000 и ПТК Энергосфера) одного производителя обеспечивает гарантированную интеграцию данного оборудования.

Выводы по разделу. Для ПС 35 кВ «Молокозавод» выбраны точки учета электроэнергии и разработана трехуровневая АИИС КУЭ. Выбраны типы и места расположения счетчиков электрической энергии.

10 Расчет сопротивления заземляющего устройства ПС 35 кВ

Задачей расчета является определение сопротивления растекания тока КЗ заземляющего устройства ПС 35 кВ, выбор горизонтальных и вертикальных заземлителей [5]. Заземляющие устройства подстанций играют важную роль при выполнении молниезащиты, позволяют правильно рассчитать сопротивления заземления молниезащиты, то есть способность грунта поглощать электрический ток [29].

Исходные данные для расчета защитного заземления ОРУ 35 кВ:

- номинальное напряжение заземленного оборудования $U_{ном} = 35$ кВ;
- площадь территории ОРУ 35 кВ $S = 1429$ м².
- длина вертикальных электродов $L = 5$ м,
- толщина полосы $t_{полосы} = 0,7$ м.

Расчетные удельные сопротивления верхнего и нижнего слоев земли $\rho_{расг.в} = \rho_1 = 31$ Ом · м (глина, увлажненная водой); $\rho_{расг.н} = \rho_2 = 19$ Ом · м (суглинок). Толщина верхнего слоя $H = 0,4 - 0,5$ м.

Степень агрессивного воздействия на арматуру железобетонных конструкций при: постоянном погружении – неагрессивная, при периодическом смачивании – слабоагрессивная. К стали – средне-агрессивная.

По степени морозной пучинистости, глинистые грунты ИГЭ - 1, 2 – среднепучинистые. Нормативная глубина промерзания для глинистых грунтов составляет 1,50 м.

Расчет сопротивления заземляющего устройства ПС 35 кВ выполнен в соответствии с ПУЭ [16].

Удельный расчетный коэффициент сопротивления грунта:

$$\rho = \frac{\rho_1 \cdot k_1 \cdot \rho_2 \cdot L}{(\rho_1 \cdot k_1 (L - H + t_{полосы}) + \rho_2 (H + t_{полосы}))}, \quad (7)$$
$$\rho = \frac{31 \cdot 1,5 \cdot 19 \cdot 5}{(31 \cdot 1,5(5 - 0,5 + 0,7) + 19(0,5 + 0,7))} = 18,7 \text{ Ом} \cdot \text{м},$$

где k_1 – коэффициент поправки на грунт.

Расчет сопротивления вертикальных заземлителей. Сопротивление одного вертикального заземлителя:

$$R_B = \frac{\rho}{2\pi L} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot L}{d} + 0,5 \cdot \ln \frac{4 \cdot t + L}{4 \cdot t - L} \right), \quad (8)$$

$$R_B = \frac{18,7}{2 \cdot 3,14 \cdot 5} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot 5}{0,018} + 0,5 \cdot \ln \frac{4 \cdot 3,2 + 5}{4 \cdot 3,2 - 5} \right) = 4 \text{ Ом},$$

где $t = \frac{L}{2} + t_{\text{полосы}} = \frac{5}{2} + 0,7 = 3,2$ м;

d – диаметр растекания, $d = 0,018$ м.

Предполагаемое количество стержней:

$$n_B = \frac{R_B}{R_h \cdot \eta_B}, \quad (9)$$

$$n_B = \frac{4}{4 \cdot 0,7} = 1,43,$$

где η_B – коэффициент использования вертикальных стержней, $\eta_B = 0,7$ [5];

R_h – нормируемое сопротивление растеканию тока в земле, $R_h = 4$ Ом [16].

Предполагаемая длина горизонтального заземлителя:

$$L_\Gamma = (n_B - 1)h = (2 - 1)12,5 = 12,5 \text{ м}. \quad (10)$$

Сопротивление горизонтального заземлителя

$$R_\Gamma = \frac{0,366 \cdot k_2 \cdot \rho_1}{L_\Gamma \cdot n_\Gamma} \cdot \lg \frac{L_\Gamma^2}{b \cdot t_{\text{полосы}}}, \quad (11)$$

$$R_\Gamma = \frac{0,366 \cdot 2,0 \cdot 31}{12,5 \cdot 0,43} \cdot \lg \frac{12,5^2}{0,28} = 15,3 \text{ Ом},$$

где k_2 – коэффициент поправки на глубину залегания горизонтального заземлителя, $k_2 = 2,0$ [5];

n_Γ – коэффициент использования вертикальных стержней, $\eta_B = 0,43$ [5];

Общее сопротивление заземлителей:

$$R = \frac{R_h \cdot R_\Gamma}{R_\Gamma - R_h}, \quad (12)$$
$$R = \frac{4 \cdot 15,3}{15,3 - 4} = 5,4 \text{ Ом.}$$

Уточненное количество вертикальных заземлителей:

$$n = \frac{R_B}{R^* \cdot \eta_B}, \quad (13)$$
$$n = \frac{4}{5,4 \cdot 0,7} = 1,05 \text{ шт.}$$

Для приведения сопротивления растеканию заземляющего устройства подстанции к нормируемому значению необходимо не менее 2 вертикальных электродов.

Выводы по разделу. Выполнен расчет заземляющего устройства ПС 35 кВ «Молокозавод». На ПС 35 кВ заземляющее устройство выполняется в виде заземляющей сетки, состоящей из продольных и поперечных горизонтальных заземлителей, а также вертикальных стержней.

11 Расчет молниезащиты ПС 35 кВ

Согласно РД 153-34.3-35.125-99 «защита оборудования подстанций от прямых ударов молнии обеспечивается системой стержневых и тросовых молниеотводов. Наиболее простым и дешевым решением является расположение молниеотводов на металлических конструкциях ОРУ» [18]. ПС 35 кВ «Молокозавод» имеет размеры - $a = 37$ м в ширину и $b = 37$ м в длину.

Также для ПС 35 кВ известны:

- высота самой высокой точки подстанции $h_{\text{ПС}} = 4,0$ м,
- высота молниеотводов $h = 15,0$ м.

Активная высота молниеотвода:

$$h_a = h - h_{\text{ПС}} = 15 - 4 = 11,0 \text{ м.} \quad (14)$$

Расстояние от молниеотвода до ограждения - $l_0 = 3,0$ м.

Расстояние между молниеотводами:

$$L = b - l_0 = 37 - 3 = 34,0 \text{ м.} \quad (15)$$

Зона защиты на уровне земли:

$$r_3 = (1,1 - 0,002h) \cdot h = (1,1 - 0,002 \cdot 15) \cdot 15 = 16,1 \text{ м.} \quad (16)$$

Расчетное расстояние между молниеотводами:

$$h_p = 0,85h - (0,17 + 3 \cdot 10^{-4}h)(L - h) = 12,8 - 0,1745 \cdot 19 = 9,48 \text{ м.} \quad (17)$$

Выводы по разделу. Выполнен расчет зоны защиты молниеотводов ПС 35 кВ «Молокозавод» для ОРУ 35 кВ и КРУМ 6 кВ. Получено, что оборудование ПС 35 кВ находится в расчетной зоне защиты.

Заключение

В ВКР выполнена реконструкция ПС 35 кВ «Молокозавод» с заменой электрооборудования в ОРУ 35 кВ и КРУН 6 кВ. Для разработки технических решений по реконструкции ПС 35 кВ выполнен анализ конструкционных, эксплуатационных и климатических характеристик расположения реконструируемой ПС 35 кВ.

При реконструкции ПС 35 кВ в связи с заменой Т1 и Т2 на трансформаторы большей мощности предложено:

- замена КРУН 6 кВ на модульное типа КРУМ 6 кВ,
- установка нового трансформатора напряжения ТН-35 на 2-ой секции 35 кВ ОРУ 35 кВ для питания цепей переменного напряжения АЧР и контроля напряжения на 2-ой секции 35кВ,
- установка трансформаторов собственных нужд ТСН1 и ТСН2 мощностью 63 кВА каждый,
- установку в КРУМ 6 кВ микропроцессорных защит,
- замена заземляющего устройства ПС 35 кВ.

При этом выполнена реконструкция фундаментов всего оборудования ПС 35 кВ, реконструкцию маслоприемников, а также устройство маслоотвода, маслосборника для силовых трансформаторов Т1 и Т2.

Электрическая схема ОРУ 35 кВ принята «Мостик с выключателями в цепях линий и ремонтной перемычкой со стороны линии» [26]. Электрическая схема КРУМ 6 кВ – «одна секционированная выключателем система шин» [26]. В КРУМ 6 кВ применены ячейки «КТПМ 35/6» типа К-ХV с выкатными элементами. В ячейках КРУМ 6 кВ используются выключатели ВВУ СЭЩ 10 производства группы компаний «Электроцит».

Предложено при реконструкции КРУМ 6 также установить:

- шкафы с ТСН1 и ТСН2,
- шкафы СОПТ,
- шкаф АИИС КУЭ.

Выполнено обоснование замены силовых трансформаторов Т1 и Т2 на ПС 35 кВ. Проведен расчет токов короткого замыкания и обоснование устанавливаемого оборудования на ПС 35 кВ. Для этого были определены технологические характеристики всего оборудования ПС 35 кВ – питающих линий ВЛ 35 кВ «Ивашевка -1» и «Ивашевка -12» и отходящих линий ВЛ 6 кВ «Молокозавод-1» - «Молокозавод-9», коммутирующего оборудования выключателей ВВН СЭЩ 35 и ВВУ СЭЩ 10, измерительного – трансформаторов тока ТОЛ СЭЩ 35 и ТПЛ СЭЩ 10, напряжения НОЛ СЭЩ 35 и ЗНОЛ СЭЩ 10. Расчет токов КЗ подтвердил правильность выбора оборудования.

На ПС 35 кВ «Молокозавод» для системы питания оперативного тока предусмотрена установка аккумулятора GF 06 180 компании «Ghibli-wirbel».

Для ПС 35 кВ «Молокозавод» выбраны точки учета электроэнергии и разработана трехуровневая АИИС КУЭ. Выбраны типы и места расположения счетчиков электрической энергии счетчики типа СЭТ-4ТМ.03М и СЭТ-4ТМ.03М.01 производства ФГУП «Нижегородский завод им. М. В. Фрунзе».

Для обеспечения требований электромагнитной совместимости на ПС 35 кВ силовые и контрольные кабели проложены отдельно с максимальным удалением от источников импульсных помех, кабели 0,4 кВ по территории ОРУ 35 кВ проложены по разным трассам.

Также выполнен расчет заземляющего устройства ПС 35 кВ «Молокозавод» по нормам ПУЭ.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Алиев И.И. Кабельные изделия: справочник. М.: Высшая школа, 2014. 230 с.
2. Барсукова С.Ю. Приоритетный национальный проект «Развитие АПК»: идея и реализация // Вестник АГП. 2022. № 4. С. 5-27.
3. ГОСТ 25100-95. Грунты. Классификация. М.: МНТКС, 19 с.
4. ГОСТ Р 52735-2007 Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением свыше 1 кВ. М.: Стандартинформ, 2007. 39 с.
5. Заземляющие устройства электроустановок (требования нормативных документов, расчет, проектирование, конструкции, сооружение): справочник / Р.К. Борисов и др. М.: Издательский дом МЭИ, 2013. 360 с.
6. Каталог аккумуляторных батарей компании «Ghibli-wirbel» [Электронный ресурс]. URL: <https://ghibli-wirbel.ru/products/akkumulyatornaya-batareya.pdf> (дата обращения 10.04.2024).
7. Каталог КРУМ 6-35 кВ группы компаний «Электрощит» [Электронный ресурс]. URL: https://www.electroshield.ru/upload/iblock/_electroshield.ru.pdf (дата обращения 10.04.2024).
8. Каталог продукции группы компаний «Прософт-Системы» [Электронный ресурс]. URL: <https://prosoftsystems.ru/catalog/> (дата обращения 10.04.2024).
9. Каталог продукции НПП «ЭКРА». Шкафы распределения оперативного тока [Электронный ресурс]. URL: <https://ekra.ru/product/nku-kru/sopt/shrot/> (дата обращения 10.02.2024).
10. Каталог продукции ФГУП «Нижегородский завод им. М. В. Фрунзе». Счетчики электроэнергии [Электронный ресурс]. URL: <https://frunze.nt-rt.ru/images/manuals/k1-1.pdf> (дата обращения 10.04.2024).

11. Кокин С.Е., Дмитриев С.А. Проектирование подстанций распределительного электросетевого комплекса. Екатеринбург: Издательство Урал. унив., 2018. 192 с.

12. Короткие замыкания и выбор электрооборудования: учебное пособие для вузов / Под ред. И.П. Крючкова, В.А. Старшинова. М.: Издательский дом МЭИ, 2019. 568 с.

13. Методические указания по применению ограничителей в электрических сетях 6-35 кВ/ ОАО «Институт «Энергосетьпроект», ОАО ВНИИЭ, НТК «ЭЛ-ПРОЕКТ». М.: РАО «ЕЭС России», 2001. 75 с.

14. О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию. Постановление Правительства РФ от 16.02.2008 N 87 (с изменениями на 6 мая 2023 года). [Электронный ресурс]. URL: <https://www.consultant.ru> (дата обращения 20.04.2024).

15. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей электрической энергии. Утверждены приказом Минэнерго России от 12 августа 2022 г. N 811. [Электронный ресурс]. URL: <https://normativ.kontur.ru/document/> (дата обращения 10.04.2024).

16. Правила устройств электроустановок. Утв. приказом Минэнерго РФ от 20 июня 2003 г. N 242. 330 с.

17. РД 52.04.667-2005 Документы о состоянии загрязнения атмосферы в городах для информирования государственных органов, общественности и населения. Общие требования к разработке, построению, изложению и содержанию. М: Метеоагентство Росгидромета, 2006. 60 с.

18. РД 153-34.3-35.125-99 Руководство по защите электрических сетей 6-1150 кВ от грозových и внутренних перенапряжений. С. Пб.: Издательство ПЭИПК, 1999. 227 с.

19. РД-153-34-.0-20.527-98 Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования. М.: «Издательство НЦ ЭНАС», 2002. 249 с.

20. РД 34.09.101-94 Типовая инструкция по учету электроэнергии при ее производстве, передаче и распределении. Утверждена Главгосэнергонадзором России 2 сентября 1994 года.

21. СО 34.35.311-2004 Методические указания по определению электромагнитной обстановки и совместимости на электрических станциях и подстанциях. М.: Издательство МЭИ, 2004. 78 с.

22. СП 131.13330.2020 «СНиП 23-01-99* Строительная климатология». Свод правил. М.: Минстрой России, 2020. 153 с

23. СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85* (с Изменениями № 1, 2). М. : АО «Кодекс», 2016. 165 с.

24. СТО 34.01-5.1-008-2018 Пункты коммерческого учета электроэнергии уровнем напряжения. Общие технические требования. М.: Стандарт организации ОАО «ФСК ЕЭС», 2018. 52 с.

25. СТО 56947007-29.240.043-2010 Руководство по обеспечению электромагнитной совместимости вторичного оборудования и систем связи электросетевых объектов. М.: ОАО «ФСК ЕЭС», 2010. 25 с.

26. СТО 56947007-29.240.30.010-2008. Схемы принципиальные электрические распределительных устройств подстанций 35-750 кВ. Типовые решения. М.: Стандарт организации ОАО «ФСК ЕЭС», 2007. 132 с.

27. Харитонов М.С. Проектирование электроустановок электростанций и подстанций. Калининград: ФГБОУ ВО «КГТУ», 2023. 52 с.

28. Электромагнитная совместимость и молниезащита в электроэнергетике: учебник для вузов / Под ред. А.Ф. Дьякова. М.: Издательский дом МЭИ, 2017. 545 с.

29. Chikarov Y., Lie T.T., Kumar N.C. Modelling and analysis of current and potential distribution paths for grounding devices // IET Generation, Transmission & Distribution/ 2013. V.7, Is.11. P. 1229 – 1243.

30. Dulout J., Jammes B., Seguiet L., Alonso C. Control and design of a hybrid energy storage system. EPE – ECCE Europe. 15 Sept. 2015.

31. Guidelines for electromagnetic compatibility provision in power plants and substations // 2013 International Symposium on Electromagnetic Compatibility, Brugge, Belgium, 2013.

32. Kiryanova N., Baluev D., Prankevich G. Energy storage device application for load oscillations damping in insulated power systems // International Conference AIME 2017. CC-BY-NC 4.0.

33. Li J., Cornelusse B., Vanderbemden P., Ernst D. A AC-battery Hybrid Storage System in the Microgrid // Energy Procedia. 2017. Vol. 142. P. 3697-3702.