

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 Разработка системы электроснабжения группы цехов по ремонту и наладке
оборудования электростанции

Обучающийся

Н.А. Соловьева

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., В.И. Платов

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

Тольятти 2025

Аннотация

Выполнена разработка системы электроснабжения группы цехов по ремонту и наладке оборудования электростанции.

Актуальность темы работы обусловлена увеличением объемов работ по ремонту и наладке оборудования электростанции. Действующая группа цехов по ремонту и наладке уже не в состоянии обеспечивать своевременный и качественный ремонт и наладку нарастающего числа единиц изношенного оборудования электростанции. В связи с этим будет построена и введена в эксплуатацию новая дополнительная группа цехов по ремонту и наладке оборудования электростанции, для которой требуется разработать и реализовать надежную энергоэффективную систему электроснабжения.

Содержание работы включает вопросы: анализ исходных данных по объекту и производственным цехам; определение электрических нагрузок; выбор силовых трансформаторов; выбор типа и марки подстанции; выбор и проверка основного электрооборудования подстанции; расчет схемы распределительной сети, выбор кабелей и аппаратов защиты линий; разработка системы освещения территории; расчет заземления подстанции.

Выпускная квалификационная работа состоит из 49 страниц, 14 рисунков, 6 таблиц, 20 источников.

Содержание

Введение.....	4
1 Подготовка исходных данных для разработки СЭС	7
1.1 Анализ исходных данных по объекту и производственным цехам.....	7
1.2 Определение электрических нагрузок	11
2 Разработка технических предложений по проектированию системы электроснабжения	15
2.1 Выбор силовых трансформаторов.....	15
2.2 Выбор типа и марки подстанции	19
2.3 Выбор и проверка основного электрооборудования подстанции.....	21
2.4 Расчет схемы распределительной сети, выбор кабелей и аппаратов защиты линий	36
3 Обеспечение безопасности и надежности	40
3.1 Разработка системы освещения территории	40
3.2 Расчет заземления подстанции	42
Заключение	47
Список используемой литературы и используемых источников.....	48

Введение

Электростанции играют ключевую роль в обеспечении энергией как промышленных, так и бытовых потребителей. Эффективность и надежность их работы напрямую зависят от состояния оборудования, что делает ремонт и наладку критически важными процессами. Своевременно проводя различные виды ремонта, можно поддерживать надлежащую надежность его функционирования. Эти мероприятия не только способствуют поддержанию работоспособности электростанций, но и обеспечивают безопасность, экономическую эффективность и устойчивость энергетической системы в целом. Регулярное выполнение ремонтов способствует обеспечению безопасности, экономической эффективности и устойчивости всей энергосистемы страны. Различают три основных вида ремонта электрооборудования: текущий, капитальный и аварийный. В рамках текущего обслуживания выполняются профилактические осмотры, техобслуживание и мелкие починки, направленные на поддержание рабочего состояния агрегатов и предотвращение крупных повреждений. Своевременная замена комплектующих помогает предотвратить ускоренный износ компонентов. Капитальные ремонтные мероприятия подразумевают масштабную модернизацию и обновление ключевых узлов, способствуя продлению срока службы техники и повышению её производительности.

Аварийный ремонт осуществляется в случае неожиданных поломок, которые могут привести к остановке работы электростанции. Проводя ремонтно-восстановительные работы, ремонтные бригады меняют поврежденные элементы электрической сети. Наладка оборудования – это процесс, который включает в себя настройку и оптимизацию работы различных систем и механизмов электростанции.

Ремонт и наладка оборудования электростанций осуществляется в специализированных цехах, укомплектованных соответствующим ремонтным и диагностическим оборудованием. В данных цехах установлены

металлообрабатывающие и иные станки высокой точности под цифровым электронным управлением, включая станки с частотным программным управлением (ЧПУ). Также в данных цехах установлены специализированные технологические линии по диагностике состояния оборудования и его отдельных элементов. Используются современные методы и способы диагностики, такие как ультразвуковая, вибрационная, термографическая, рентгенографическая, электростатическая и другие. Цеха по ремонту и наладке оборудования объединяются в отдельные группы согласно общему технологическому процессу. По результатам диагностики далее производится требуемый ремонт оборудования, при необходимости изготавливаются необходимые для этого запасные части и другие элементы конструкции. Вместе со вспомогательными производственными участками (такими как склады, административно-бытовые корпуса, хозблоки и т.д.), данные группы цехов образуют крупный промышленный объект, как правило, называемый ремонтной базой. Таким образом, группы цехов по ремонту и наладке оборудования включают в своем составе большое число единиц промышленного и диагностического оборудования, требующего надежного и качественного электроснабжения (ЭСН).

Электроснабжение промышленных цехов является важнейшим элементом современного производства, обеспечивающим функционирование всех технологических процессов и представляет собой сложную инженерную систему, требующую тщательного проектирования и постоянного внимания к безопасности. Сети электроснабжения промышленных объектов предприятий включают как наружные, так и внутренние компоненты. Внешние сети подключаются к магистральным линиям электропередачи и включают высоковольтные линии и трансформаторные подстанции. Внутренние сети подразделяются на распределительные энергоснабжающие линии, обеспечивающие подачу электроэнергии до конечного потребителя.

Система электроснабжения состоит из ключевых элементов, среди которых – трансформаторы, отвечающие за преобразование уровня

напряжения, распределительные панели, управляющие потоками энергии, электрические двигатели и технологическое оборудование, различные средства защиты вроде автоматических выключателей, плавких вставок и реле, кабельная продукция и электропроводка, а также энергоэффективное оснащение. Надёжность энергоснабжения играет важнейшую роль в промышленности, поскольку от правильной организации сети зависят не только производительность машин и механизмов, но и безопасность сотрудников предприятия. Использование дублирующих источников питания и передовых защитных решений помогает снизить вероятность возникновения сбоев и остановки производственного процесса. С ростом запросов к повышению производительности значимость грамотной организации энергообеспечения становится всё более значимой.

Актуальность темы работы обусловлена увеличением объемов работ по ремонту и наладке оборудования электростанции. Действующая группа цехов по ремонту и наладке уже не в состоянии обеспечивать своевременный и качественный ремонт и наладку нарастающего числа единиц изношенного оборудования электростанции. В связи с этим будет построена дополнительная ремонтная база такой же конфигурации и инфраструктуры, как и действующая, с аналогичной по характеристикам и составу производственного и диагностического оборудования группой цехов и вспомогательных производственных участков, для которых требуется разработать надежную энергоэффективную систему электроснабжения (СЭС).

Цель работы: надежное электроснабжение группы цехов по ремонту и наладке оборудования электростанции.

Задачи работы:

- определить расчетные электрические нагрузки;
- рассчитать рабочие и аварийные режимы СЭС;
- провести расчет и выбор электрооборудования СЭС.

1 Подготовка исходных данных для разработки СЭС

1.1 Анализ исходных данных по объекту и производственным цехам

Технологические процессы ремонта и наладки оборудования электростанций можно разделить на несколько ключевых этапов. Первый этап – это диагностика состояния оборудования, включает в себя регулярные проверки и мониторинг работы всех систем и механизмов. Своевременно проводя данные операции, можно эффективно выявлять дефекты на ранней стадии. Использование современных диагностических инструментов и технологий позволяет выявлять потенциальные неисправности, что значительно упрощает процесс ремонта и снижает затраты. Важно, чтобы диагностика проводилась квалифицированным персоналом. Проводя эффективную диагностику современными средствами, можно эффективно выявлять скрытые дефекты. Второй этап – это планирование ремонта, разрабатывается план, который включает в себя определение объема работ, необходимых материалов и сроков выполнения. Далее проводится уже сами работы по ремонту и наладке.

Ключевая особенность работы энергосистемы предприятия состоит в неразрывной связи между производством, передачей и использованием электрической энергии, которые осуществляются фактически синхронно и непрерывно. Еще одна важная характеристика – молниеносность протекающих переходных процессов. Распространение электричества занимает доли секунды, а события вроде коротких замыканий, переключений оборудования и колебаний нагрузки происходят очень быстро. Из-за высокой скорости всех изменений крайне важно использовать автоматизированные защитные устройства, главная цель которых – поддерживать надежность и стабильность всей системы, обеспечивая потребителей непрерывным поступлением качественного энергоснабжения.

Действующая группа цехов по ремонту и наладке уже не в состоянии обеспечивать своевременный и качественный ремонт и наладку нарастающего числа единиц изношенного оборудования электростанции. В связи с этим будет построена дополнительная ремонтная база такой же конфигурации и инфраструктуры, как и действующая, с аналогичной по характеристикам и составу производственного и диагностического оборудования группой цехов и вспомогательных производственных участков. Генеральный план объекта показан на рисунке 1.

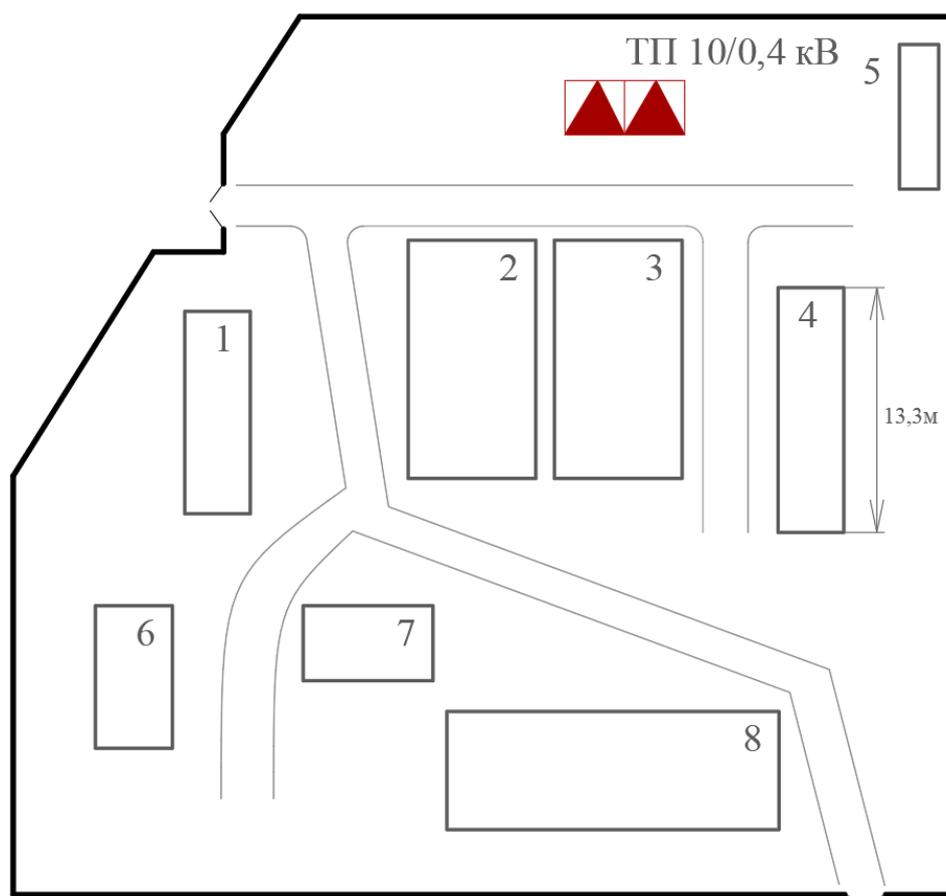


Рисунок 1 – Генеральный план объекта с расположением цехов

Территория ремонтной базы будет огорожена железобетонным забором, всего на ней будет расположено 8 производственных участков, включая группу цехов по ремонту и наладке оборудования электростанции, обеспечивающий главные технологические процессы.

Перечень производственных участков приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Перечень производственных участков

Участки	№ на плане	Рном, кВт	Категор. надежн. ЭСН	Кс	cosφ
Цех наладки оборудования	1	29,1	2	0,61	0,79
Ремонтный цех	2	129,8	1	0,78	0,83
Ремонтный цех	3	129,8	1	0,78	0,83
АБК	4	23,1	2	0,6	0,91
Насосная	5	30,6	1	0,77	0,82
Испытательный цех	6	79,4	2	0,57	0,78
Компрессорная	7	139,5	1	0,69	0,79
Ремонтный цех	8	182,1	1	0,8	0,83

Несмотря на свою относительно простую структуру по сравнению с общей энергосистемой страны (низкое напряжение, небольшая мощность и длина линий, отсутствие замкнутых контуров), СЭС предприятия является достаточно сложной в отношении эффективного использования и трансформации электрической энергии для нужд технологического процесса промышленного производства. Приёмники электроэнергии являются неотъемлемой частью технических комплексов оборудования и существенно влияют на характеристики работы всей системы электроснабжения предприятия.

Одним из основных типов электроприемников, используемых в цехах по ремонту и наладке, являются электродвигатели (ЭД). Они служат для привода различных механизмов, таких как насосы, компрессоры, вентиляторы и конвейеры. Электромоторы бывают двух видов – постоянного и переменного тока, причем тип выбирается исходя из необходимых характеристик и особенностей технологических процессов. Применение энергоэффективных электромоторов позволяет значительно снизить расходы

предприятий на оплату электричества. Грамотный подбор и монтаж моторов гарантирует высокий уровень эффективности производственных машин и уменьшает потребление энергии. Помимо электродвигателей, производственные помещения оснащаются разнообразными электрическими инструментами вроде сверлильного инструмента, шлифмашинок, сварочного оборудования и прочих устройств, которым необходима стабильная подача электропитания.

Ремонтные цеха относятся к первой категории надежности электроснабжения (КНЭ), что обусловлено большим числом оборудования под сложным электронным управлением, перерывы ЭСН которых приведут к браку изготавливаемых деталей, порче дорогостоящих элементов оборудования и потенциальным авариям на электростанции. Насосная обеспечивает централизованное водоснабжение участков, она также относится к первой КНЭ. Компрессорная обеспечивает централизованное снабжение участков сжатым воздухом, необходимым для значительной части технологических процессов, она также относится к первой КНЭ. Перерывы электроснабжения остальных участков допустимы на период оперативных переключений на резервный источник питания, они относятся ко второй категории надежности электроснабжения.

Действующая силовая распределительная сеть выполнена по радиальной схеме, с независимым индивидуальным питанием распределительных пунктов участков. Данное решение обеспечивает следующие преимущества:

- повышенную надежность;
- селективную точную работу аппаратов защиты линий электрической сети;
- возможность индивидуального независимого отключения участков электрической сети при проведении работ по ремонту и обслуживанию;
- удобство и повышенную безопасность эксплуатации.

Действующая силовая распределительная сеть структурно соответствует всем технико-эксплуатационным требованиям, ее структура будет оставлена без изменений.

1.2 Определение электрических нагрузок

Определение электрических нагрузок предприятия – это один из ключевых этапов проектирования и эксплуатации систем электроснабжения. Это процесс вычисления и прогнозирования потребляемой предприятием электроэнергии, необходимой для корректного выбора мощности источников питания, оборудования и распределительных сетей. Электрические нагрузки предприятия – это показатель, отображающий потребность предприятия в электроэнергии для обеспечения его нормальной работы [20]. Включает активную и реактивную мощность, потребляемую всеми видами оборудования и систем (производственного, осветительного, коммуникационного и иного назначения). Электрические нагрузки определяют уровень нагрузки на систему электроснабжения и влияют на выбор мощности оборудования, трансформаторов, кабелей и прочих элементов сети.

Точное вычисление электрической нагрузки обладает рядом существенных достоинств:

- расчетная нагрузка служит основой для выбора подходящего оборудования и компонентов сети, обеспечивающих требуемую мощность;
- неверный подбор устройств либо нехватка мощности в сети способны вызвать перегрузки, короткие замыкания и поломки;
- учет реальных потребностей помогает предотвратить лишние расходы на избыточную мощность и снизить издержки;

– грамотно спроектированная сеть минимизирует потери электричества и повышает энергоэффективность системы электроснабжения.

«Формулы для расчета среднесменных активных, реактивных и полных нагрузок участков:

$$P_c = K_c \cdot P_{ном}, \quad (1)$$

где K_c – коэффициент спроса нагрузки;

$P_{ном}$ – номинальная нагрузка, кВт.

$$Q_c = P_c \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (2)$$

$$S_c = \sqrt{P_c^2 + Q_c^2}. \quad (3)$$

Расчетный коэффициент мощности (тангенс угла φ):

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \varphi}}{\cos \varphi}. \quad (4)$$

Нагрузки цеха №1, по (1-4):

$$P_c = 0,61 \cdot 29,1 = 17,75 \text{ кВт},$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\sqrt{1 - 0,79^2}}{0,79} = 0,776,$$

$$Q_c = 17,75 \cdot 0,776 = 13,78 \text{ квар},$$

$$S_c = \sqrt{17,75^2 + 13,78^2} = 22,47 \text{ кВА}.$$

Нагрузки участков рассчитаны в таблице 2» [7].

Таблица 2 – Расчет нагрузок участков

Участки	tgφ	Расчетные нагрузки		
		Pc, кВт	Qc, квар	Sc, кВА
Цех наладки оборудования	0,776	17,75	13,78	22,47
Ремонтный цех	0,672	101,24	68,04	121,98
Ремонтный цех	0,672	101,24	68,04	121,98
АБК	0,456	13,86	6,31	15,23
Насосная	0,698	23,56	16,45	28,73
Испытательный цех	0,802	45,26	36,31	58,02
Компрессорная	0,776	96,26	74,70	121,84
Ремонтный цех	0,672	145,68	97,90	175,52
Σ	0,700	544,85	381,52	665,15

«К основным нагрузкам участков также необходимо прибавить нагрузку освещения (будет выполнено светодиодными светильниками).

Нагрузки внутреннего освещения зданий:

$$P_{po} = P_0 \cdot K_{co} \cdot F, \quad (5)$$

где P_0 – удельная мощность, Вт/м²;

K_{co} – коэффициент спроса освещения;

F – площадь здания, м².

$$Q_{po} = P_{po} \cdot tg\varphi \quad (6)$$

Для цеха №1 по (5,6):

$$P_{po} = 3,8 \cdot 0,85 \cdot 55,3 = 0,2 \text{ кВт},$$

$$Q_{po} = 0,2 \cdot 0,33 = 0,07 \text{ квар}.$$

Итого нагрузки цеха №1:

$$P_p' = 17,75 + 0,2 = 17,95 \text{ кВт},$$

$$Q_p' = 13,78 + 0,07 = 13,84 \text{ квар},$$

$$S_p' = \sqrt{17,95^2 + 13,84^2} = 22,67 \text{ кВА}.$$

Расчеты итоговых нагрузок участков приведены в таблице 3» [8].

Таблица 3 – Расчеты нагрузок участков с освещением

Участок	F, м ²	P _{ро} , кВт	P'p, кВт	Q'p, квар	S'p, кВА
Цех наладки оборудования	55,3	0,20	17,95	13,84	22,67
Ремонтный цех	126,8	0,46	101,70	68,19	122,44
Ремонтный цех	126,8	0,46	101,70	68,19	122,44
АБК	67,0	0,24	14,10	6,39	15,48
Насосная	23,6	0,08	23,64	16,47	28,82
Испытательный цех	45,7	0,17	45,42	36,36	58,19
Компрессорная	40,5	0,14	96,39	74,75	121,98
Ремонтный цех	163,4	0,59	146,27	98,09	176,12
Территория	-	-	0,36	0,12	0,38
Σ	-	-	547,54	382,41	667,87

Выводы.

Систематизированы исходные данные для разработки системы электроснабжения группы цехов по ремонту и наладке оборудования электростанции. Согласно проектной документации составлен генеральный план объекта с расположением цехов и вспомогательных участков. Согласно исходным данным по электропотреблению определены расчетные нагрузки производственных участков и по объекту в целом.

2 Разработка технических предложений по проектированию системы электроснабжения

2.1 Выбор силовых трансформаторов

«Компенсация реактивной мощности (КРМ) – это важный аспект управления электроэнергией, позволяющий повысить эффективность и надежность работы электрических систем» [4]. Реактивная мощность – это дополнительная составляющая общей мощности, циркулирующая между источником и нагрузкой, не участвующая в совершении полезной работы, однако нагружающая сеть и приводящая к потерям энергии. Компенсация реактивной мощности – это процесс уменьшения или устранения влияния реактивной составляющей на сеть [12]. Цель КРМ – повысить коэффициент мощности, что позволяет сократить потери энергии и увеличить пропускную способность электрической сети.

Компенсация реактивной энергии имеет большое значение благодаря следующим факторам:

- снижаются потери электрической энергии – увеличение тока из-за реактивности вызывает дополнительные затраты на обогрев кабелей и трансформаторное оборудование;
- улучшается качество электроснабжения – стабилизируется напряжение, уменьшается риск возникновения высших гармоник и несимметрии фаз;
- повышается производительность энергосистемы – уменьшение доли реактивной составляющей позволяет передавать большее количество полезной (активной) мощности при неизменных технических характеристиках линий электропередач;
- экономится оплата за электроэнергию – предприятия, использующие значительные объемы реактивной энергии,

вынуждены дополнительно оплачивать эту составляющую своего потребления [12].

«Необходимая для компенсации РМ:

$$Q_{к.у.} = 0,9 \cdot P_p \cdot (tg\varphi - tg\varphi_k), \quad (7)$$

где P_p – нагрузка, кВт;

$tg\varphi$, $tg\varphi_k$ – тангенс угла φ до КРМ и его нормативное значение.

$$Q_{к.у.} = 0,9 \cdot 547,54 \cdot (0,7 - 0,33) = 182 \text{ квар.}$$

На шинах 0,4 кВ ТП будут установлены две установки АУКРМ-0,4-92,5, внешний вид показан на рисунке 2.



Рисунок 2 – Установка АУКРМ

Реактивная нагрузка после КРМ:

$$Q_{сКРМ} = Q_c - Q_{КУ}, \quad (8)$$

где Q_{KV} – мощность АУКРМ, квар.

$$Q_{cKPM} = 382,41 - 2 \cdot 92,5 = 197,41 \text{ квар.}$$

Полная нагрузка ТП после КРМ, по (3):

$$S_{cKPM} = \sqrt{547,54^2 + 197,41^2} = 582,04 \text{ кВА.}$$

Потери в трансформаторах:

$$\Delta P_m \approx 0,02 \cdot S_{cKPM}, \quad (9)$$

$$\Delta P_m \approx 0,02 \cdot 582,04 = 11,64 \text{ кВт,}$$

$$\Delta Q_m \approx 0,1 \cdot S_{cKPM}, \quad (10)$$

$$\Delta Q_m \approx 0,1 \cdot 582,04 = 58,2 \text{ квар.}$$

Нагрузка линии 10 кВ до ТП, по (3)» [13]:

$$S'_p = \sqrt{(547,54 + 11,64)^2 + (382,41 - 2 \cdot 92,5 + 58,2)^2} = 614,83 \text{ кВА.}$$

«Требуемая мощность трансформаторов:

$$S_m \geq K_{з.н.} \cdot S_{p.к.}, \quad (11)$$

где $K_{з.н.}$ – нормативный коэффициент загрузки;

$S_{p.к.}$ – нагрузка после КРМ, кВА» [6].

$$S_m \geq 0,7 \cdot 582,04 = 407 \text{ кВА.}$$

«Ввиду наличия потребителей первой и второй категории, на ТП будет

установлено два силовых трансформатора» [6]. Это требование Правил устройства электроустановок по обеспечению второго резервного источника питания на подстанции.

«Будет установлено два трансформатора ТМГ12-630-10/0,4, внешний вид показан на рисунке 3.



Рисунок 3 – Силовой трансформатор ТМГ12

Аварийная загрузка:

$$K_{з.ав.} = \frac{S_{п.к.}}{S_m} \cdot 100 \%, \quad (12)$$

где S_m – номинальная мощность, кВА

$$K_{з.ав.} = \frac{582,04}{630} \cdot 100 \% = 92,4 \% \leq 140 \%$$

Трансформатор не будет перегружен. Будет иметься достаточный резерв мощности для подключения дополнительных потребителей на

перспективу» [9].

Энергосберегающие силовые трансформаторы представляют собой новейший тип устройств, характеризующийся низким энергопотреблением и высоким коэффициентом полезного действия (КПД). Применение таких трансформаторов диктуется растущими потребностями в электричестве и международными инициативами по сокращению углеродных выбросов. Эти инновационные устройства предназначены специально для минимизации энергетических потерь во время передачи и преобразования электрической энергии. В отличие от традиционных моделей, где энергия теряется в виде выделяемого тепла внутри катушек и магнитопровода, энергоэффективные трансформаторы позволяют существенно сократить такие утечки, повышая эффективность энергопереработки до максимума. Преимущества энергосберегающих трансформаторов

- снижение потерь энергии, используют материалы с минимальной потерей на магнитные поля и вихревые токи, что позволяет снизить потери на 50–70%;
- снижение потерь энергии приводит к существенной экономии на счетах за электроэнергию;
- экологичность, поскольку большая часть потерянной энергии идет на нагрев окружающей среды, экономия энергии снижает количество выбрасываемого углекислого газа;
- увеличение срока службы, лучшая изоляция и меньшие потери тепла продлевают срок службы трансформатора.

2.2 Выбор типа и марки подстанции

Принимается к установке комплектная подстанция марки 2КТПН-ПК-630. Это высокотехнологичная современная ТП в цельнометаллическом корпусе, устойчивом к коррозии, который обеспечивает изоляцию установленного электрооборудования от

атмосферных осадков и другого негативного воздействия окружающей среды. Подстанция изначально укомплектована высококачественным электрооборудованием отечественного производства, при этом силовые трансформаторы устанавливаются отдельно на месте конечного расположения ТП в системе электроснабжения, что облегчает и упрощает транспортировку и установку ТП [10].

Компоновка подстанции приведена на рисунке 4.

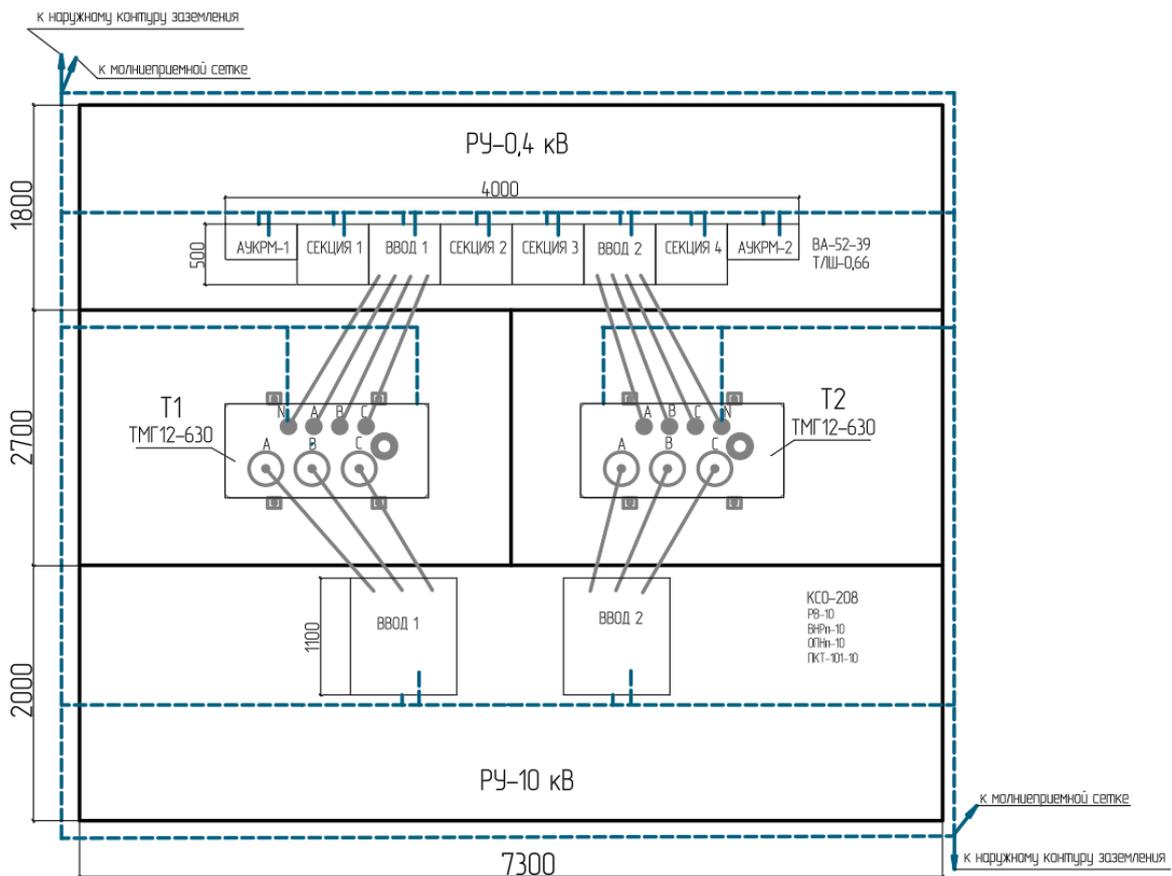


Рисунок 4 – Компоновка подстанции

Далее выбирается основное ЭО подстанции, его технические параметры проверяются по местам установки по рабочим и аварийным режимам.

2.3 Выбор и проверка основного электрооборудования подстанции

Выбор ЭО подстанции проводится по допустимым параметрам, с учетом аварийных режимов короткого замыкания (КЗ) в сети.

«Определяются токи КЗ, расчетные схемы – на рисунке 5.

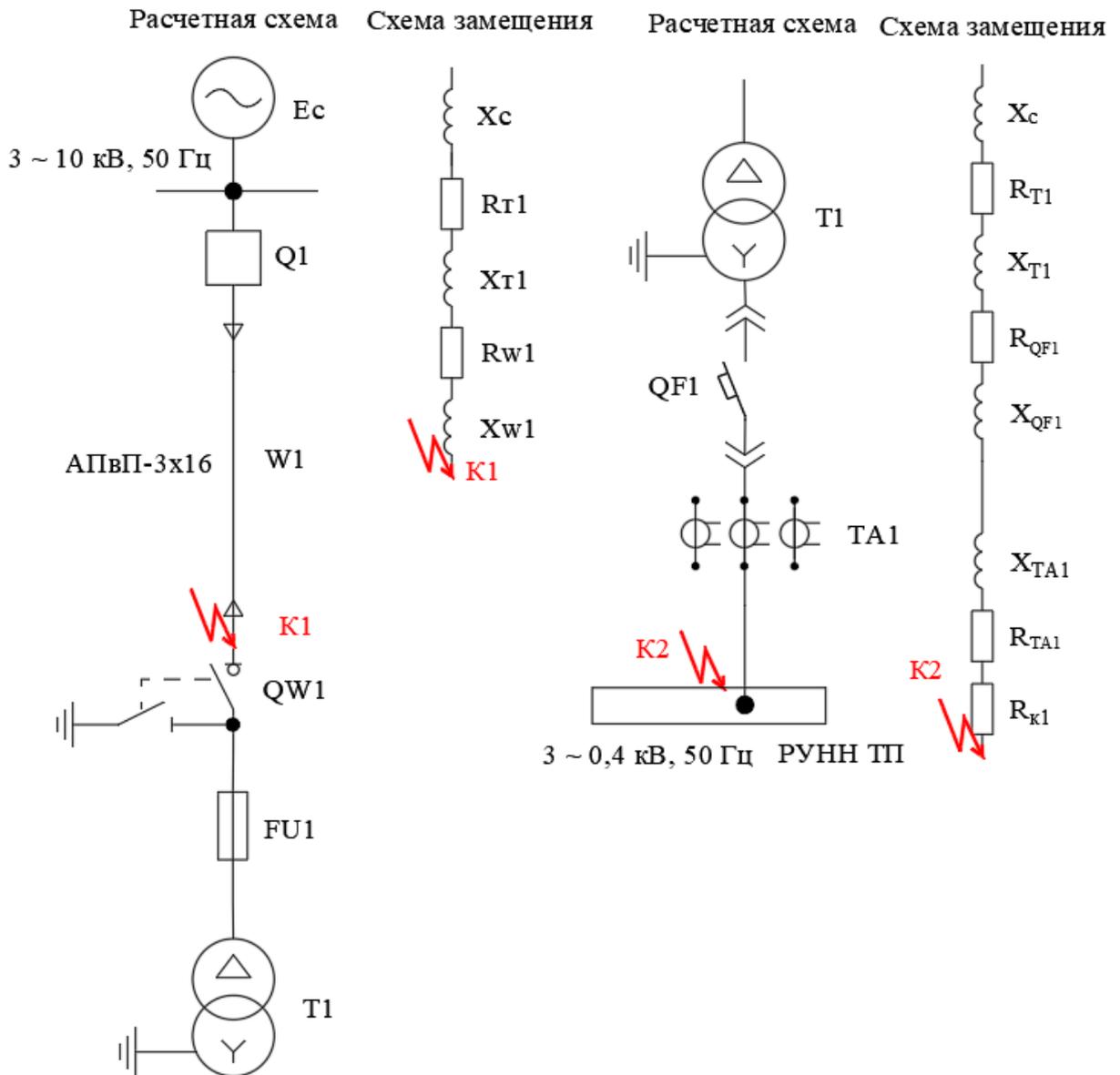


Рисунок 5 – Расчетные схемы

Расчет на шинах 10 кВ ТП, точка К1.

Находятся сопротивления участков.

Трехфазный ток КЗ в начале КЛ 10 кВ (фидер 10 кВ РУ энергосистемы): $I_{к.з.ФИД}^{(3)} = 11,1$ кА.

Сопротивление системы:

$$X_c = \frac{U_k}{\sqrt{3} \cdot I_{к.з.ФИД}^{(3)}}, \quad (13)$$

где U_k – напряжение КЗ, кВ» [17].

$$X_c = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 11,1} = 0,546 \text{ Ом.}$$

«Сопротивления КЛ 10 кВ:

$$X_{w1} = x_0 \cdot L_{w1}, \quad (14)$$

где L_{w1} – длина КЛ, км.

$$X_{w1} = 0,102 \cdot 0,565 = 0,058 \text{ Ом,}$$

$$R_{w1} = r_0 \cdot L_{w1}, \quad (15)$$

$$R'_{w1} = 1,94 \cdot 0,565 = 1,096 \text{ Ом.}$$

Полное сопротивление до точки К1:

$$Z_{к0} = \sqrt{R_{к0}^2 + X_{к0}^2}, \quad (16)$$

$$Z_{к0} = \sqrt{1,096^2 + (0,546 + 0,058)^2} = 1,251 \text{ Ом.}$$

Трехфазный ток КЗ:

$$I_k^{(3)} = \frac{U_k}{\sqrt{3} \cdot Z_k}, \quad (17)$$

где U_k – напряжение КЗ, кВ;

Z_k – полное сопротивление цепи, Ом.

$$I_{k0}^{(3)} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 1,251} = 4,84 \text{ кА.}$$

Ударный ток КЗ:

$$i_y = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_k^{(3)}, \quad (18)$$

где K_y – ударный коэффициент» [17].

$$i_y = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 4,84 = 12,33 \text{ кА.}$$

«Двухфазный ток КЗ:

$$I_k^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_k^{(3)}, \quad (19)$$

$$I_k^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 4,84 = 3,25 \text{ кА.}$$

Расчет на шинах 0,4 кВ ТП, точка К2.

Сопротивление системы:

$$X'_c = \frac{U_k}{\sqrt{3} \cdot I_{k.з.К0}^{(3)}}, \quad (20)$$

где U_k – напряжение КЗ, кВ;

$I_{k.з.К0}^{(3)}$ – трехфазный ток КЗ на стороне 10 кВ ТП, кА.

$$X'_c = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 4,84} = 1,251 \text{ Ом.}$$

Сопротивление приводится к 0,4 кВ:

$$X_c = X'_c \cdot \frac{U_{\text{ин}}}{U_{\text{вн}}}, \quad (21)$$

$$X_c = 1251 \cdot \frac{0,4}{10,5} = 47,672 \text{ мОм.}$$

Переходное сопротивление: $R_{\text{к1}} = 0,0034 \text{ мОм}$ [17].

«Эквивалентные сопротивления участка:

$$R_{\text{э1}} = R_{T1} + R_{QF1} + R_{TA1} + R_{\text{к1}}, \quad (22)$$

$$R_{\text{э1}} = 3,1 + 0,13 + 0,07 + 0,0034 = 3,4 \text{ мОм,}$$

$$X_{\text{э1}} = X_m + X_{QF1} + X_{TA1}, \quad (23)$$

$$X_{\text{э1}} = 13,6 + 0,12 + 0,07 = 13,8 \text{ мОм.}$$

Сопротивления до точки КЗ:

$$R_{\text{к1}} = R_{\text{э1}}, \quad (24)$$

$$R_{\text{к1}} = 3,4 \text{ мОм,}$$

$$X_{\text{к1}} = X_c + X_{\text{э1}}, \quad (25)$$

$$X_{\text{к1}} = 47,672 + 13,8 = 61,472 \text{ мОм,}$$

$$Z_{\text{к1}} = \sqrt{3,4^2 + 61,472^2} = 61,566 \text{ мОм.}$$

Трехфазный и ударный токи КЗ в точке К1, по (17,18):

$$I_{\kappa 1}^{(3)} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 61,566} = 3,75 \text{ кА},$$

$$i_y = \sqrt{2} \cdot 1,3 \cdot 3,75 = 6,9 \text{ кА}.$$

Результаты расчетов – в таблице 4» [17].

Таблица 4 – Токи КЗ, результаты расчетов

Точка КЗ	$I_{\kappa}^{(3)}$, кА	i_y , кА
К1	4,84	12,33
К2	3,75	6,9

Выключатели нагрузки – это особые аппараты, используемые для подключения и отключения цепей питания и силовых трансформаторов, функционирующих при стандартных уровнях напряжения [14]. Основная задача таких приборов заключается во включении и последующем разрыве дополнительной нагрузки в электрических распределительных системах. Следует подчеркнуть, что эти устройства не предназначены для прерывания больших токов коротких замыканий, для защиты от которых применяются отдельные высоковольтные плавкие вставки (предохранители). В конструкцию высоковольтного выключателя входят закреплённые на рамной конструкции поворотные контакторы дугообразной формы, управление которыми обеспечивается разнообразными механизмами привода – начиная от простых механических рычагов и заканчивая автоматизированными устройствами полупроводникового типа [16].

К основным преимуществам выключателей нагрузки можно отнести:

- относительно невысокую себестоимость;
- надежное включение и отключение номинальных токов;
- возможность использования недорогих плавких предохранителей;
- наличие видимого разрыва контактов у высоковольтных моделей.

Среди недостатков стоит отметить:

- ограниченный ресурс эксплуатации;
- возможность разрыва цепи только для номинальных токов.

Несмотря на определенные ограничения, эти устройства обеспечивают необходимую коммутацию в распределительных сетях, защищая оборудование и обеспечивая бесперебойную подачу электроэнергии потребителям. «Критерии выбора выключателей нагрузки (ВН):

$$U_{ном} \geq U_{раб}, \text{ кВ}, \quad (26)$$

$$I_{ном} \geq I_{раб}, \text{ кВ}, \quad (27)$$

$$i_{пр.с} \geq i_y, \text{ кА}, \quad (28)$$

где $i_{пр.с}$ – предельный сквозной ток, кА.

$$I_m^2 \cdot t_m \geq B_k, \text{ кА}^2 \cdot \text{с}, \quad (29)$$

где I_m – ток термической стойкости, кА;

t_m – время протекания тока, с;

B_k – тепловой импульс, $\text{кА}^2 \cdot \text{с}$.

$$B_k = I_k^2 \cdot (t_{откл} + T_a), \text{ кА}^2 \cdot \text{с}, \quad (30)$$

где $t_{откл}$ – время КЗ, с.

$$t_{откл} = t_{р.з.} + t_{откл.В}, \text{ с}, \quad (31)$$

где $t_{р.з.}$ – время срабатывания РЗ, с;

$t_{откл.В}$ – время отключения выключателя, с» [14].

$$t_{откл} = 0,025 + 0,1 = 0,125 \text{ с},$$

$$B_k = 4,84^2 \cdot (0,125 + 0,07) = 4,6 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Наибольший ток на РУ 10 кВ:

$$I_{\text{макс}} = \frac{S_{\text{н.т.}} \cdot 1,4}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}}, \quad (32)$$

$$I_{\text{макс}} = \frac{630 \cdot 1,4}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 48,5 \text{ А.}$$

«Выбираются выключатели нагрузки ВНРп-10/400-10з, внешний вид показан на рисунке 6.

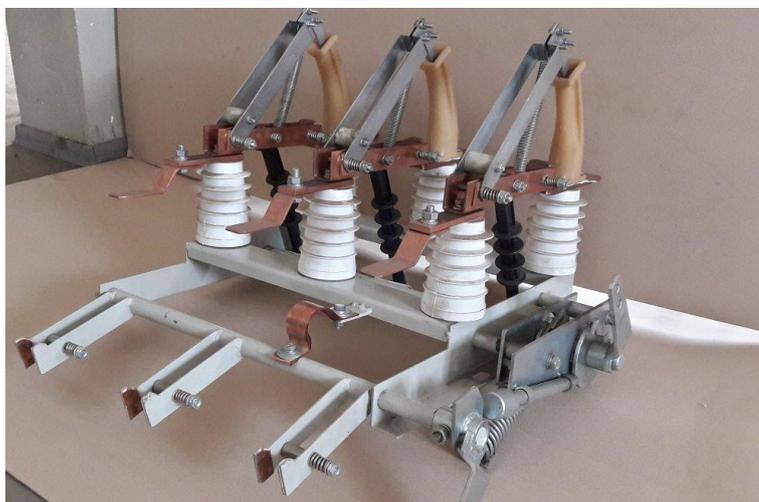


Рисунок 6 – Выключатель нагрузки

Проверка ВН по условиям выбора:

$$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ} \geq U_{\text{раб}} = 10 \text{ кВ},$$

$$I_{\text{ном}} = 400 \text{ А} \geq I_{\text{раб}} = 48,5 \text{ А},$$

$$i_{\text{нр.с}} = 31,5 \text{ кА} \geq i_{\text{у}} = 12,33 \text{ кА},$$

$$I_{\text{т}}^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \geq B_{\text{к}} = 4,6 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

ВН подходят по всем условиям» [14].

Для гарантированного видимого разрыва цепей питания вводов 10 кВ также устанавливаются разъединители со стороны высоковольтной питающей линии. Они будут использоваться при проведении ремонтных работ, а также при обслуживании ЭО.

«Критерии выбора разъединителей:

$$U_{ном} \geq U_{раб}, \text{ кВ}, \quad (33)$$

$$I_{ном} \geq I_{раб}, \text{ кВ}, \quad (34)$$

$$i_{пр.с} \geq i_y, \text{ кА}, \quad (35)$$

где $i_{пр.с}$ – предельный сквозной ток, кА.

$$I_m^2 \cdot t_m \geq B_k, \text{ кА}^2 \cdot \text{с}, \quad (36)$$

где I_m – ток термической стойкости, кА;

t_m – время протекания тока, с;

B_k – тепловой импульс, кА²·с.

$$B_k = I_k^2 \cdot (t_{откл} + T_a), \text{ кА}^2 \cdot \text{с}, \quad (37)$$

где $t_{откл}$ – время КЗ, с.

$$t_{откл} = t_{р.з.} + t_{откл.В}, \text{ с}, \quad (38)$$

где $t_{р.з.}$ – время срабатывания РЗ, с;

$t_{откл.В}$ – время отключения выключателя, с.

$$t_{откл} = 0,025 + 0,1 = 0,125 \text{ с},$$

$$B_k = 4,84^2 \cdot (0,125 + 0,07) = 4,6 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Выбираются разъединители РВ-10/400, внешний вид – на рисунке 7.



Рисунок 7 – Разъединитель РВ-10

Проверка разъединителей» [14]:

$$U_{н.ант.} = 10 \text{ кВ} \geq U_{н.уст.} = 10 \text{ кВ},$$

$$I_{н.ант.} = 400 \text{ А} \geq I_{раб.мах.} = 48,5 \text{ А},$$

$$I_{тер.}^2 \cdot t_{тер.} = 3600 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \geq B_k = 4,6 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

$$i_{дин} = 80 \text{ кА} \geq i_{у.} = 12,33 \text{ кА}.$$

«Ограничители перенапряжений (ОПН) – это защитные устройства, используемые для предохранения электротехнического оборудования от опасных скачков напряжения, появляющихся в электросети» [19]. Причины возникновения таких скачков разнообразны: это могут быть природные факторы вроде грозových разрядов, переключение режимов в энергосистемах либо технические неполадки аппаратуры. Основная задача ОПН заключается в снижении риска повреждения техники, повышении её надёжности и увеличении срока службы. Основные компоненты данных устройств:

- варисторы – это нелинейные резисторы, которые обладают способностью изменять свое сопротивление в зависимости от величины напряжения, при нормальном напряжении варисторы обладают высоким сопротивлением, не мешая прохождению тока, но при высоком напряжении сопротивление резко падает;

- контактные соединения, обеспечивают надежное присоединение ОПН к сети и оборудованию;
- изоляция и оболочка, предназначены для защиты варисторов и контактов от внешних воздействий и механических повреждений.

Функционирование ограничителей основано на специфическом поведении варисторов, обладающих нелинейной зависимостью сопротивления от приложенного напряжения. В штатном режиме эксплуатации, когда напряжение находится в пределах нормы, варистор имеет большое сопротивление и практически не влияет на работу электрической цепи. Но при резком возрастании напряжения сопротивление варистора мгновенно уменьшается, позволяя эффективно поглощать избыточную энергию импульса перенапряжения [14].

Принимаются ОПНп-10, внешний вид – на рисунке 8.



Рисунок 8 – Ограничитель ОПН

«Выбор трансформаторов тока.

Наибольший ток на РУ 0,4 кВ подстанции, по (38):

$$I_{\text{макс}} = \frac{630 \cdot 1,4}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 1273 \text{ А.}$$

Условия выбора ТТ:

$$U_{н.анн.} \geq U_{н.уст.}, \quad (39)$$

$$I_{1н.} \geq I_{раб.мах.}, \quad (40)$$

$$Z_{н.} \geq Z_{2\Sigma}. \quad (41)$$

Проверка на термическую и динамическую стойкость:

$$(\kappa_{тер.} \cdot I_{1н.})^2 \cdot t_{тер.} \geq B_{\kappa}, \quad (42)$$

$$i_{дин.} = \kappa_{эд} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{1н.} \geq i_{y}. \quad (43)$$

где $\kappa_{тер.}$, $\kappa_{эд}$ – кратности стойкости;

$I_{1н.}$ – номинальный ток ТТ, кА.

На шинах 0,4 кВ принимаются ТТ марки ТШЛ-0,66/1500; на фидерах – Т-0,66/50...400, внешний вид ТТ показан на рисунке 9.



Рисунок 9 – ТТ марки ТШЛ-0,66

Проверка ТТ по условиям выбора:

$$U_{н.анн.} = 0,66 \text{ кВ} \geq U_{н.уст.} = 0,4 \text{ кВ},$$

$$I_{1н.} = 1500(50...400) \text{ А} \geq I_{раб.маx.} = 1273(36,5...303,5) \text{ А},$$

$$(110 \cdot 0,05)^2 \cdot 3 = 90,75 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} > 2,1 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

$$375 \cdot \sqrt{2} \cdot 0,05 = 26,5 \text{ кА} > 6,9 \text{ кА}.$$

ТТ подходят» [14].

«Сопротивление нагрузки:

$$Z_{2\Sigma} = Z_{приб.} + Z_{пров.} + Z_{конт.}, \quad (44)$$

где $Z_{приб.}$, $Z_{пров.}$, $Z_{конт.}$ – сопротивление приборов, проводов и контактов, Ом.

$$Z_{пров.} = \frac{l_{пров.} \cdot \rho}{S_{пров.}}, \quad (45)$$

где $l_{пров.}$ – длина проводов, м;

ρ – удельное сопротивление, Ом·мм²/м;

$S_{пров.}$ – сечение, мм².

$$Z_{приб.} = \frac{S_{приб.}}{I_{н.приб}^2}, \quad (46)$$

где $S_{приб.}$, $I_{н.приб}$ – мощность, В·А, и рабочий ток прибора, А.

$$S_{приб.} = \frac{1}{5^2} = 0,04 \text{ Ом},$$

$$Z_{пров.} = \frac{5,1 \cdot 0,0175}{4} = 0,022 \text{ Ом},$$

$$Z_{2\Sigma} = 0,04 + 0,022 + 0,1 = 0,162 \text{ Ом}.$$

Погрешность ТТ составит менее 10%» [14].

Оборудование будет установлено в камерах КСО, что обеспечит удобство и безопасность эксплуатации.

«Выбираются камеры секционные односторонние (КСО) марки КСО-208/630А, внешний вид показан на рисунке 10.



Рисунок 10 – Камера КСО-208

Выбор терминалов РЗА.

На питающем фидере 10 кВ будет установлен комплект РЗ с терминалом ЭКРА 247, внешний вид – на рисунке 11.



Рисунок 11 – Терминал ЭКРА 247

АВР на шинах 0,4 кВ подстанции выполняется на терминале ЭКРА 217 0701, внешний вид терминала – на рисунке 12» [2].



Рисунок 12 – Терминал ЭКРА 217 0701

Терминалы выполнены в эргономичном современном корпусе, обеспечивающем удобное управление с лицевой панели или дистанционно через порты связи.

Важнейшим аспектом эффективности релейной защиты становится информационная составляющая, включающая обмен данными между элементами защиты и системами мониторинга. Современные модели терминалов РЗ базируются на опыте предшественников, отличаются низким энергопотреблением и продвинутыми средствами обмена данными. Принятая к установке микропроцессорная релейная защита (МПРЗ) – это передовая технология, используемая для защиты и управления сложными энергетическими системами. В отличие от классических электромеханических и статических релейных защит, МПРЗ основана на цифровых микросхемах и микроконтроллерах, что позволяет значительно расширить функционал и повысить надежность работы [3]. Микропроцессорная релейная защита использует современные цифровые алгоритмы и высококачественные сенсоры, что позволяет ей более точно и быстро реагировать на изменение параметров сети. Это снижает вероятность ложных срабатываний и повышает общую надежность системы [5]. Одно такое устройство способно одновременно обеспечивать защиту, измерение параметров, сигнализацию, мониторинг состояния оборудования и диагностику неполадок. Хотя использование цифровой обработки сигналов и современных технологий производства не меняет базовых принципов организации релейной защиты, оно заметно повышает эффективность, надежность и доступность устройств. МПРЗ отличается высоким уровнем надежности, безопасности, универсальности и функциональности, значительно снижая вероятность отказа питания и повреждения энергоустановок.

Применение микропроцессорных устройств защиты обеспечивает быстрое обнаружение неисправностей, регистрацию и фиксацию происшествий, сбор и сохранение сведений о характеристиках электросети. Это существенно уменьшает продолжительность ремонтно-профилактических работ и повышает оперативность и результативность оперативного управления объектом.

2.4 Расчет схемы распределительной сети, выбор кабелей и аппаратов защиты линий

Существующая силовая распределительная сеть выполнена по радиальной схеме, с независимым индивидуальным питанием распределительных пунктов участков. Данное решение обеспечивает следующие преимущества: повышенную надежность; селективную точную работу аппаратов защиты линий электрической сети; возможность индивидуального независимого отключения участков электрической сети при проведении работ по ремонту и обслуживанию; удобство и повышенную безопасность эксплуатации.

«Действующая силовая распределительная сеть структурно соответствует всем технико-эксплуатационным требованиям, ее структура будет оставлена без изменений. Питание участков будет выполнено кабельными линиями от трансформаторной подстанции (ТП)» [7].

Выбор кабеля до участка №1.

«Наибольший ток линии:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n}, \quad (47)$$

где S_p – нагрузка, кВА;

U_n – напряжение, кВ.

$$I_p = \frac{36,84}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 56,0 \text{ А.}$$

Выбирается кабель АВБШВ-5×10, $I_{\text{доп}} = 65 \text{ А}$.

Потери напряжения в КЛ:

$$\Delta U_{л} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_p \cdot L \cdot 100}{U_n} (r_0 \cdot \cos \varphi + x_0 \cdot \sin \varphi), \quad (48)$$

где I_p – максимальный ток КЛ, А;

L – длина КЛ, км;

r_0, x_0 – удельные сопротивления кабеля, Ом/км.

$$\Delta U_{л} = \frac{\sqrt{3} \cdot 56 \cdot 0,0358 \cdot 100}{10} (3,1 \cdot 0,79 + 0 \cdot 0,32) = 1,12 \% < 5 \%$$

Потери менее предельно допустимых» [15].

Выбор кабелей – в таблице 5.

Таблица 5 – Выбор кабелей

Участок, № на генплане	I_p , А	АВБШв, сечение, мм ²	Идоп, А	ΔU , %
1	56,0	5×10	65	1,12
2	237,6	4×95+1×50	255	0,18
3				0,11
4	38,6	5×6	42	0,46
5	56,7	5×10	65	0,45
6	154,7	4×50+1×25	165	0,76
7	268,3	4×120+1×70	270	0,42
8	333,3	4×185+1×95	380	0,29

«Кабели марки АВБШв – это силовые кабели с алюминиевыми жилами, поливинилхлоридной изоляцией и бронепокровом из ленточной брони» [8]. Использование таких кабелей имеет ряд преимуществ:

- кабели устойчивы к коррозии, влажности и механическим повреждениям, что обеспечивает длительный срок службы;

- ленточная броня защищает кабель от механических воздействий, таких как сдавливание и изгиб;
- свинцовая оболочка предотвращает проникновение влаги внутрь кабеля, что важно для подземной прокладки;
- использование алюминиевых жил и недорогой брони делает кабели АВБШВ относительно экономичным вариантом.

План кабельных трасс электрической сети показан на листе 1 графической части. В качестве аппаратов защиты линий сети от ТП до РП участков принимаются автоматические выключатели, которые очень быстро надежно отключают цепи при токовой перегрузке, а также коротких замыканиях при аварийных ситуациях.

Автоматические выключатели предназначены для автоматического размыкания электрических цепей в случае возникновения короткого замыкания или аварийных ситуаций в электросети (таких как перегрузки или исчезновение напряжения). Эти устройства также позволяют редко вручную подключать и отключать нагрузку. Образующаяся электрическая дуга гасится самостоятельно благодаря воздушному промежутку, без применения специализированных газов или жидких сред. Выпускаются автоматические выключатели с количеством полюсов от одного до четырех, предназначенные для рабочих токов до 6000 А при переменных напряжениях до 660 В и постоянных – до 1000 В. Их предельный разрывной показатель способен достигать величин около 200-300 тыс. ампер. При возникновении неисправности трехполюсной автомат мгновенно прерывает подачу тока сразу во всех трех фазах. Быстродействующие модели разрывают цепь менее чем за 0,01 секунды. Селективные устройства обеспечивают регулировку задержки отключения вплоть до одной секунды.

«Выбор автоматических выключателей (АВ) для защиты КЛ проводится:

- по напряжению:

$$U_{ном} > U_c. \quad (49)$$

– по току теплового расцепителя (ТР):

$$I_{т.р.} > 1,1 \cdot I_p. \quad (50)$$

Для КЛ к участку №1:

$$I_{т.р.} > 1,1 \cdot 55,97 = 61,6 \text{ А.}$$

Устанавливается ВА-51-35 на номинальный ток 63 А. Выбор АВ – в таблице 6» [1].

Таблица 6 – Выбор автоматов

№ участка	$1,1 \cdot I_p, \text{А}$	Авт. выкл.	$I_{ном}, \text{А}$
1	61,6	ВА-51-35	63
2	261,4	ВА-52-39	320
3			
4	42,4	ВА-51-35	50
5	62,4		63
6	170,1	ВА-52-39	250
7	295,1		320
8	366,7		400

Выводы.

Проведена разработка СЭС, с учетом расчетных нагрузок выбрано современное оборудование от отечественных производителей. Проведена проверка параметров оборудования по режиму КЗ электрической сети.

3 Обеспечение безопасности и надежности

3.1 Разработка системы освещения территории

Для безопасной работы и перемещения по территории необходимо обеспечить ее достаточную освещенность в темное время суток. Это является обязательным требованием к современным промышленным объектам всех предприятий.

Современные источники света для освещения территории – это высокотехнологичные устройства, созданные для эффективного, комфортного и экономичного освещения различных пространств: территории предприятий, парков, скверов, спортивных площадок, пешеходных зон и автодорог. Используя светодиодные светильники, предприятия получают существенные выгоды. В последние годы освещение претерпело кардинальные изменения благодаря развитию технологий, появлением новых материалов и инновационным решениям. Светодиодные светильники – самый популярный вид освещения на сегодняшний день.

Предприятия значительно экономят на счетах за электроэнергию благодаря использованию светодиодных светильников. Эти источники света характеризуются высоким уровнем энергосбережения, продолжительным ресурсом работы (до 50 тыс. часов), а также возможностью изменять уровень освещённости и направленность луча. Излучаемый ими прохладный бело-светлый поток близок к натуральному солнечному свету, что улучшает визуальное восприятие и уменьшает утомляемость зрения сотрудников. Переход на светодиоды позволяет сократить общие издержки эксплуатации осветительных приборов. Ранее широко распространённые газоразрядные лампочки – ртутные, натриевые, металлогалогенные – хотя и проигрывают современным LED-технологиям по большинству критериев, всё ещё находят применение в местах, где критически важен мощный световой поток (спортивные стадионы, аэродромы).

«Будут использоваться светодиодные светильники SVT-STR-M-24W на опорах ОГКл.

Расчетная активная нагрузка освещения:

$$P'_{po} = P_0 \cdot K_{co} \cdot F, \quad (51)$$

где P_0 – удельная нагрузка, Вт/м²;

K_{co} – коэффициент спроса освещения;

F – площадь территории, м².

$$P'_{po} = 0,2 \cdot 1,0 \cdot 1731,37 = 0,346 \text{ кВт}$$

Требуемое число светильников:

$$N = \frac{P'_{po}}{P_{cv}}, \quad (52)$$

где P_{cv} – паспортная мощность светильника, кВт.

Светильники располагаются на опорах ОГКл-9 высотой 9 м при установке вдоль автотранспортных дорог и на опорах ОГКл-6 высотой 6 м при установке на территории предприятия вдали от автотранспортных дорог.

Согласно требованиям ВСН-41902-2001 и ГОСТ 33176-2014, автотранспортные дороги являются приоритетным объектом при проектировании систем внешнего освещения, следовательно, основная часть светильников располагается вдоль дорог» [18].

$$N = \frac{0,346}{0,024} \approx 15 \text{ шт}$$

План осветительной сети территории показан на рисунке 13.

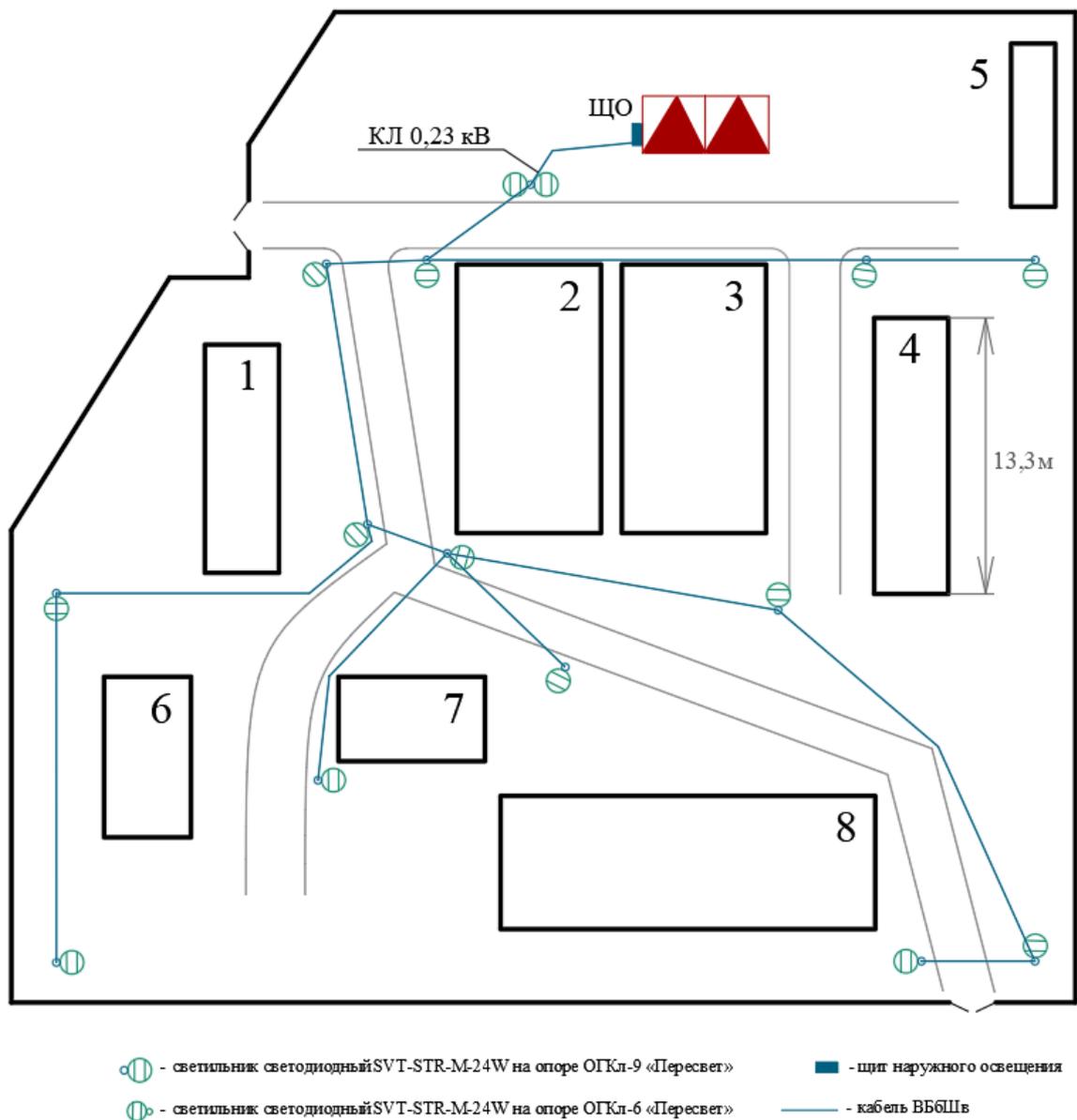


Рисунок 13 – План осветительной сети территории

Для безопасной эксплуатации СЭС и надежной работы ее оборудования на подстанции требуется обеспечить качественное заземление.

3.2 Расчет заземления подстанции

Целесообразно использовать заземляющее устройство (ЗУ) глубинного типа, в котором вертикальные электроды заглубляются на 15-20 метров, доставая до слоев почвы со сниженным электрическим сопротивлением. Это

позволяет сократить общую длину вертикальных электродов, также глубинное ЗУ более долговечно и меньше подвержено коррозии.

Заземление подстанции – это неотъемлемая часть электрической инфраструктуры, «обеспечивающая безопасность и надежность работы подстанций. Главная цель заземления – отводить избыточные токи, возникающие при аварийных ситуациях, в землю. Заземление выполняет несколько важных функций:

- в случае короткого замыкания или попадания молнии заземление отводит ток в землю, предотвращая опасные потенциалы на оборудовании;
- заземление снижает риск поражения электрическим током при соприкосновении с оборудованием под напряжением» [7];
- равномерное распределение потенциала земли предотвращает возникновение опасных разностей потенциалов между различными частями подстанции;
- заземляющая система помогает погасить перенапряжения, возникающие при ударах молнии или коммутационных процессах.

Защитное заземление играет ключевую роль в обеспечении безопасности и стабильности функционирования солнечной электростанции (СЭС):

- защищает персонал от поражения электричеством при непредвиденном касании элементов электрооборудования, находящихся под высоким напряжением;
- снижает вероятность выхода из строя оборудования во время чрезвычайных ситуаций вроде коротких замыканий либо ударов молний;
- обеспечивает защиту от возникновения опасных искр и возможного возгорания вследствие неисправностей;
- способствует бесперебойному функционированию станции, минимизируя риски длительных отключений электроснабжения.

«Эквивалентное сопротивление глубинного ЗУ:

$$R_{\text{ЗУ}} = \frac{R_{\text{оэз}}}{n}, \quad (53)$$

где $R_{\text{оэз}}$ – сопротивление растеканию одного электрода, Ом;

n – число глубинных электродов, 4 шт.

Удельное сопротивление грунта для ВЭ и горизонтального (ГЭ) электродов:

$$\rho_p = \rho \cdot K_c, \quad (54)$$

где ρ – удельное сопротивление грунта, Ом · м;

K_c – коэффициент сезонности.

$$\rho_{p^6} = 500 \cdot 1,1 = 550 \text{ Ом} \cdot \text{м},$$

$$\rho_{p^2} = 500 \cdot 1,4 = 700 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

Принимается 4 глубинных ВЭ (сталь круглая омедненная диаметром 16 мм) длиной 15 м, расстояние от поверхности до верхнего конца ВЭ составляет 0,25 м» [18].

«Сопротивление растеканию ВЭ:

$$R_{\text{оэз}} = \frac{\rho_{p^6}}{2 \cdot \pi \cdot l} \left[\ln \left(\frac{2 \cdot l}{d} \right) + 0,5 \cdot \ln \left(\frac{4 \cdot t + l}{4 \cdot t - l} \right) \right], \quad (55)$$

где l – длина, м;

d – диаметр, м;

t – расстояние от поверхности до центра ВЭ, м.

$$t = 15 / 2 + 0,25 = 7,75 \text{ м},$$

$$R_{огз} = \frac{550}{2 \cdot 3,14 \cdot 3} \left[\ln \left(\frac{2 \cdot 15}{0,016} \right) + 0,5 \cdot \ln \left(\frac{4 \cdot 7,75 + 15}{4 \cdot 7,75 - 15} \right) \right] = 14,105 \text{ Ом.}$$

Эквивалентное сопротивление глубинного ЗУ составит, по (53):

$$R_{зз} = \frac{14,105}{4} \approx 3,53 \text{ Ом} \leq 4 \text{ Ом.}$$

Сопротивление не превысит допустимый по ПУЭ предел 4 Ом» [18].

Схема ЗУ показана на рисунке 14.

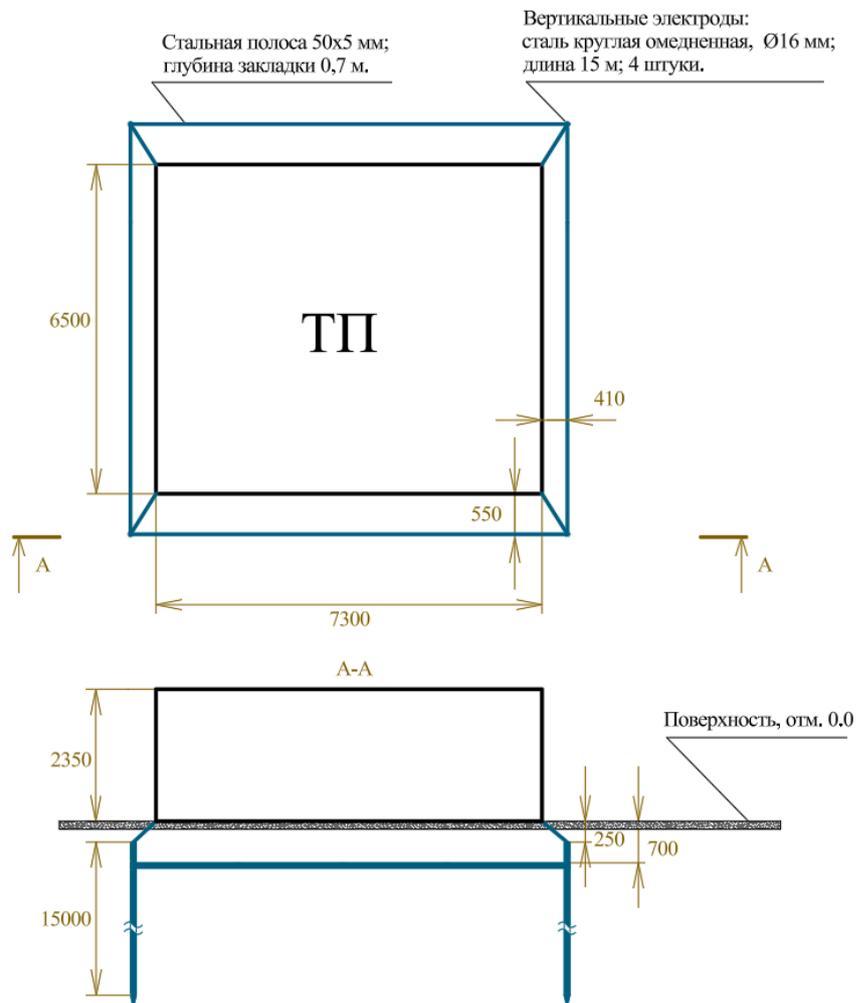


Рисунок 14 – Схема заземляющего устройства ТП

«Дополнительная молниезащита подстанции не требуется, так она изготовлена в цельнометаллическом корпусе, соединяемым с контуром заземления» [7]. Согласно указаниям ПУЭ, в этом случае эффективная и надежная молниезащита обеспечивается без установки дополнительных молниеотводов [11].

Монтаж заземления подстанции – это сложный и ответственный процесс, связанный с обеспечением безопасности и надежности работы подстанций. Заземление выполняет ключевую роль в защите оборудования и персонала от повреждений, вызванных электрическими авариями, перенапряжениями и грозовыми разрядами. Перед началом монтажа необходимо провести подготовительные работы, включая:

- геологическое обследование, определение состава грунта и глубины залегания водоносных слоев для выбора оптимального места расположения заземляющих электродов;
- разметку территории, определение местоположения заземляющего контура и заземляющих электродов в соответствии с проектом;
- подготовку траншей, рытье траншей для укладки заземляющего контура и установки заземляющих электродов.

После подготовки траншей приступают к установке заземляющих электродов. Заземляющие электроды заглубляются в грунт, чтобы обеспечить надежный контакт с землей. Электроды соединяются между собой и с заземляющим контуром с помощью сварных швов или болтовых соединений.

Выводы.

Для безопасной работы и перемещения по территории разработана светодиодная система освещения, имеющая высокую надежность и энергоэффективность. Выбраны марки светильников, их количество, составлен план осветительной сети территории. Для безопасной эксплуатации СЭС и надежной работы ее оборудования рассчитано эффективное заземляющее устройство глубинного типа.

Заключение

Выполнена разработка системы электроснабжения группы цехов по ремонту и наладке оборудования электростанции. Согласно проектной документации составлен генеральный план объекта с расположением цехов и вспомогательных участков, согласно исходным данным по электропотреблению определены расчетные нагрузки производственных участков и по объекту в целом, которые составили 547,54 кВт; 382,41 квар; 667,87 кВА. Принимается к установке комплектная подстанция марки 2КТПН-ПК-630. Это высокотехнологичная современная ТП в цельнометаллическом корпусе, устойчивом к коррозии, который обеспечивает изоляцию установленного электрооборудования от атмосферных осадков и другого негативного воздействия окружающей среды. Подстанция изначально укомплектована высококачественным электрооборудованием отечественного производства, при этом силовые трансформаторы устанавливаются отдельно на месте конечного расположения ТП в системе электроснабжения, что облегчает и упрощает транспортировку и установку ТП. Будет установлено два энергосберегающих трансформатора ТМГ12-630-10/0,4. Проведена разработка СЭС, с учетом расчетных нагрузок выбрано современное оборудование от отечественных производителей. Проведена проверка параметров оборудования по режиму КЗ электрической сети. Разработана светодиодная система освещения, имеющая высокую надежность и энергоэффективность, выбраны марки светильников, их количество, составлен план осветительной сети территории. Рассчитано эффективное заземляющее устройство глубинного типа.

Предложенный проект СЭС обеспечит надежное и энергоэффективное электроснабжения группы цехов по ремонту и наладке оборудования электростанции, проект рекомендован к реализации.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Анчарова Т. В. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений : учебник. – 2-е изд., перераб. и доп. М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2023. 415 с.
2. Бирюлин В.И. Электроснабжение промышленных и гражданских объектов : учебное пособие. М. : Инфра-Инженерия, 2022. 204 с.
3. Бирюлин В.И. Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем : учебное пособие. М. : Инфра-Инженерия, 2022. 164 с.
4. Голов Р. С. Управление энергосбережением на промышленном предприятии : монография. М. : Дашков и К, 2023. 458 с.
5. Горемыкин С. А. Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем : учебное пособие. М. : ИНФРА-М, 2023. 191 с.
6. Иванов С.Н. Надежность электроснабжения : учебное пособие. М. : Инфра-Инженерия, 2022. 164 с.
7. Куксин А.В. Электроснабжение промышленных предприятий : учебное пособие. М. : Инфра-Инженерия, 2021. 156 с.
8. Ополева Г.Н. Электроснабжение промышленных предприятий и городов: Учебное пособие. М. : Форум, 2022. 416 с.
9. Петухов Р.А. Электроснабжение : учебное пособие. Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2022. 328 с.
10. Полуянович Н.К. Монтаж, наладка, эксплуатация и ремонт систем электроснабжения промышленных предприятий. СПб. : Лань, 2023. 396 с.
11. Правила устройства электроустановок: действующие разделы 6-го и 7-го изданий. М. : ИНФРА-М, 2023. 832 с.
12. Сибикин Ю. Д. Технология энергосбережения : учебник. – 4-е изд., перераб. и доп. М. : ИНФРА-М, 2023. 336 с.

13. Сибикин Ю.Д. Электроснабжение : учебное пособие. – 2-е изд., стер. М. : ИНФРА-М, 2023. 328 с.

14. Сибикин Ю. Д. Современные электрические подстанции : учебное пособие. – 2-е изд., доп. М. : ИНФРА-М, 2023. 417 с.

15. Фризен В. Э. Расчет и выбор электрооборудования низковольтных распределительных сетей промышленных предприятий : учебное пособие. – 2-е изд., испр. Екатеринбург : Изд-во Уральского ун-та, 2021. 194 с.

16. Хорольский В.Я. Эксплуатация систем электроснабжения : учебное пособие. М. : ИНФРА-М, 2021. 288 с.

17. Шеховцов В.П. Расчет и проектирование схем электроснабжения. Методическое пособие для курсового проектирования : учебное пособие. – 3-е изд., испр. М. : ИНФРА-М, 2023. 214 с.

18. Шеховцов В. П. Осветительные установки промышленных и гражданских объектов : учебное пособие. М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2022. 158 с.

19. Шеховцов В.П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению : учебное пособие. – 3-е изд. М. : ИНФРА-М, 2023. 136 с.

20. Щербаков Е.Ф. Электроснабжение и электропотребление на предприятиях : учебное пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2023. 495 с.